

## 實驗 (二)

### 雷射二極體(LD)與發光二極體(LED)的發光特性

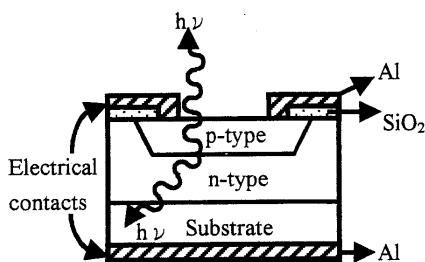
#### (一) 實驗目的：

量測 LED 與 LD 的 I-P curve (即注入電流 vs 發光功率)、L-P curve(即距離 vs 光功率)、與光頻分佈，並觀察邊射型與面射型半導體雷射的出光模態。

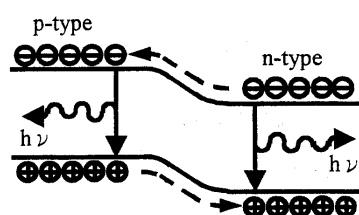
#### (二) 實驗原理：

**發光二極體** 發光二極體的基本結構如圖一(a)所示，它的發光機制是利用一個 p-n 二極體在順向偏壓作用下，會有少數載子注入(minority carrier injection)的現象，這些注入的多餘載子會與原先存在的多數載子再結合而放出光子，如圖一(b)所示。所以不同材料製的發光二極體，因其能階的結構不同，會產生不同的出射光譜分布，舉例來說，圖一(c)即為典型的 GaAs 半導體材料在 Si 和 Zn 的不同摻入雜質下的出射光譜。由圖可知其雖為單一色光源但頻寬頗寬，非唯一理想之單頻光源。

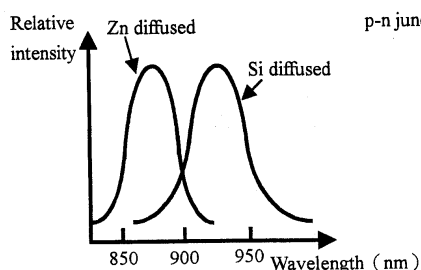
一般市售的發光二極體包裝大致都如圖一(d)。因為若按半導體材料特性方程式推導(詳閱 Wilson 所著"Optoelectronics: An introduction"中 Chap 4)，可知發光二極體具有很高的發光效率，但因 III-V 族材料的高折射率會使得光從材料中出射至空氣中時產生全反射，而使得只會有一部分的光射出至空氣中，因而大大減低其發光效率。而圖一(d)的包裝法可減低其全反射的現象而增加輸出效率，提高使用品質。



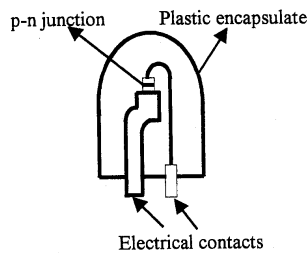
圖一(a)



圖一(b)



圖一(c)



圖一(d)

**半導體雷射** 圖二所示為一半導體雷射之基本結構，它的發光原理大致與發光二極體相同；p-n 介面的結構提供了一發光介質，除此之外兩者之不同在於半導體雷射具有三層不同折射率的材料之結構，一般讓中間層的折射率高於旁邊兩層。這樣的結構將產生一種波導的效應使光局限在中間層行進而不損失，再者因空氣與半導體材料之介面提供一反射的鏡面，所以光線在中間層可往返多次形成共振腔而產生雷射。舉例來說，一般市售的半導體雷射其材料通常是 III-V 族的 Ga-As，結構如圖三(a)所示；上下兩層分別是 p+型的 Ga-Al-As 與 n 型的 Ga-As，而中間為 p 型的 Ga-As，折射率分布如圖三(b)。中間的 p 型 Ga-As 為半導體雷射結構中的增益介質 (active media)，雷射由此側面射出。若假設 Ga-As 與空氣介面的反射率為 R，提供在 p-n 接面的順向偏壓為  $V_f$ ，介質 Ga-As 的損耗為  $r$ ，則半導體雷射輸出效率為：

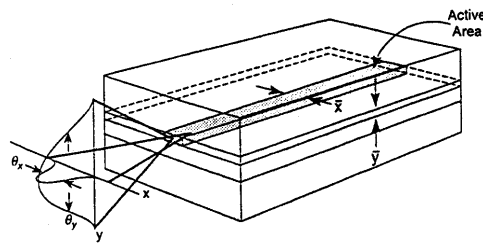
$$\eta = \eta_i \left[ \frac{J - J_{th}}{J} \right] \frac{h\nu}{eV_f} \frac{\ln\left(\frac{1}{R}\right)}{rL + \ln\left(\frac{1}{R}\right)}$$

其中：

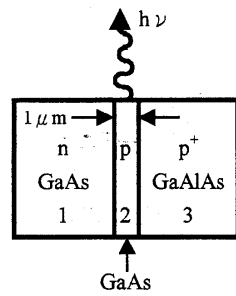
- $J$  為加在 p-n 接面之電流密度
- $J_{th}$  為起始電流(threshold current)
- $\eta_i$  為材料之量子效率
- $L$  為材料之厚度

因此可知半導體雷射的輸出光有下列幾個特性：

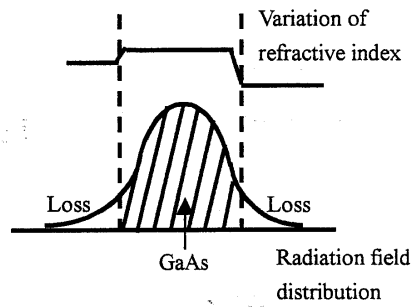
1. 由於半導體雷射的特殊形狀，使其在縱向及橫向的發散情形不同，所以輸出光的橫向分佈為一橢圓形，如圖四(a)，必須經過特殊的擴束裝置方可使其成為一近似圓的分布。
2. 由於共振腔的共振條件會選擇適當的波長產生雷射，所以出射光譜的單頻性會較發光二極體為佳。圖四(b)為一典型的光譜分布。
3. 由以上式子可看出，輸入電流必須大於起始電流方有雷射輸出，且輸出大致與電流成正比。所以半導體雷射的調制可用應特性 3.所述；直接改變電流的大小而改變發光功率，進而產生訊號調制。



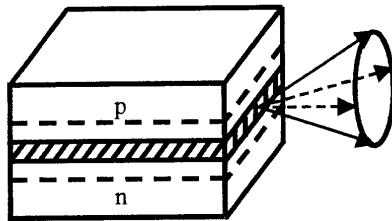
圖二



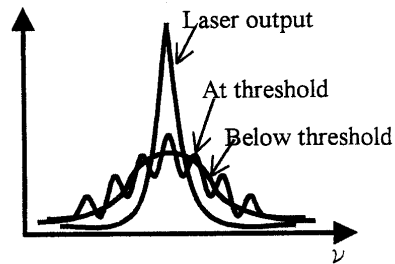
圖三(a)



圖三(b)



圖四(a)



圖四(b)

### (三) 實驗儀器與光電元件：

LED 和 LD 電流驅動器(Newport MODEL 505)、光功率計、(Ophir PD-200)、LED、Edge-Emitting LD、VCSEL、Monochromator、電腦

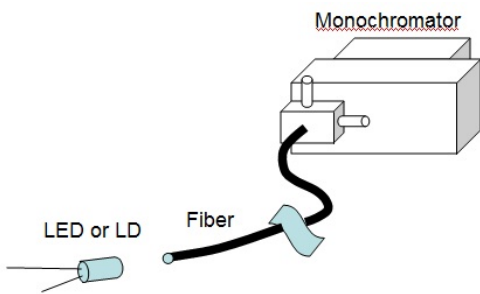
### (四) 實驗步驟：

1. 根據附錄上各個光電元件的 data sheet，將電流驅動器的正負極利用測試鉤正確的接上 LED 與 LD 包裝上的接腳。需先將電流驅動器之電流旋鈕反時針轉至最小，主要電流開關關閉。
2. 用 IR-Card(紅外光偵測卡)找出每個光電元件的發光中心，固定元件中心點到功率計之間的距離為 1cm。
3. 根據附錄上各個光電元件的 data sheet，找出每個 LD 的最大操作電流  $I_{max}$ ，以 2mA 為間隔調整電流，量測電流值由 0— $I_{max}$  的發光功率，並記錄每個元件的 Lasing Current。**(VCSEL 這類元件的最大電流只有 10mA，所以實驗過程請由 0mA~10mA，每 1mA 為一個操作間隔)**。完成各個光電元件的 I-P curve (即注入電流 vs 發光功率)。注意 data sheet 所給的規格，勿注入過大電流造成元件損害。

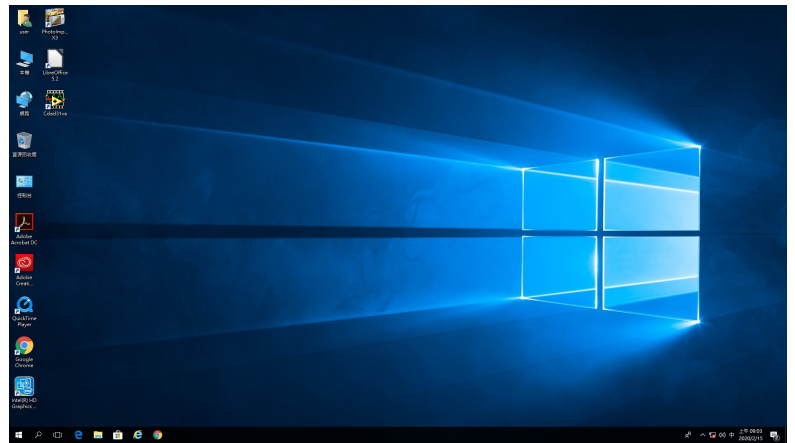
- 將工作電流固定在  $\frac{1}{2}I_{\max}$  的電流值，調整功率計到元件中心的距離，分別放在距離 1cm、2.5cm、5cm、7.5cm、10cm、12.5cm、15cm 處，量測光強度，完成 L-P curve(即距離 vs 接收光功率)以瞭解光發散情形。

### Monochromator 量測

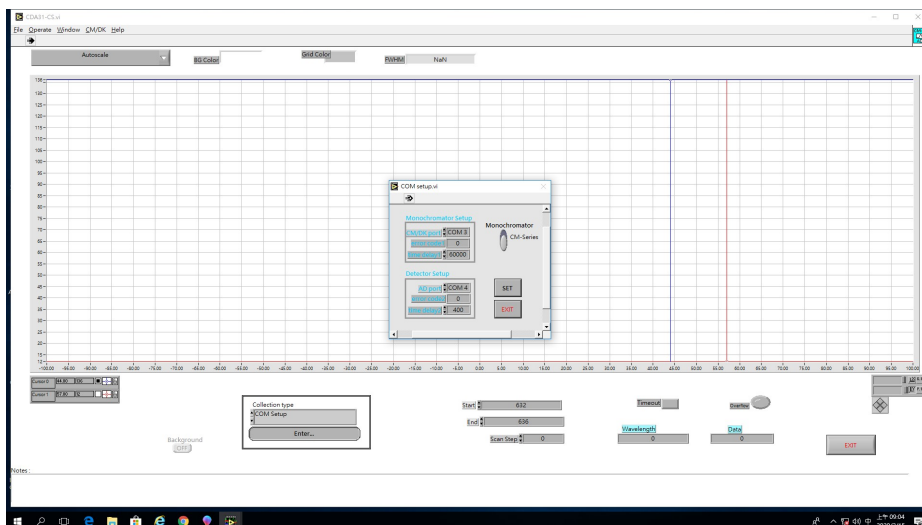
- 固定發光元件(LED or LD)中心點到 Monochromator 的光纖入射端之間的距離 (1cm)，並使光纖入射端對準發光元件，如圖五。
- 開啟電腦，並如圖六完成程式準備工作。
- 對照實驗步驟 3 所得每個發光元件的 Threshold current，觀察各個光電元件在 Lasing 前後的光頻分佈。
- 將工作電流固定在  $I_{\max}$  的電流值，量測並紀錄各發光元件的光頻分佈、中心波長、半高寬。



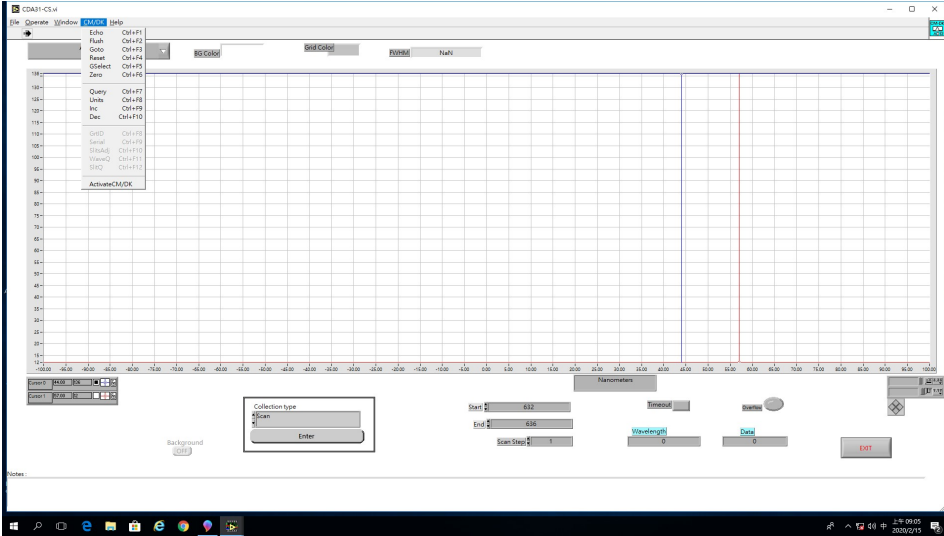
圖五 光頻量測實驗裝置圖



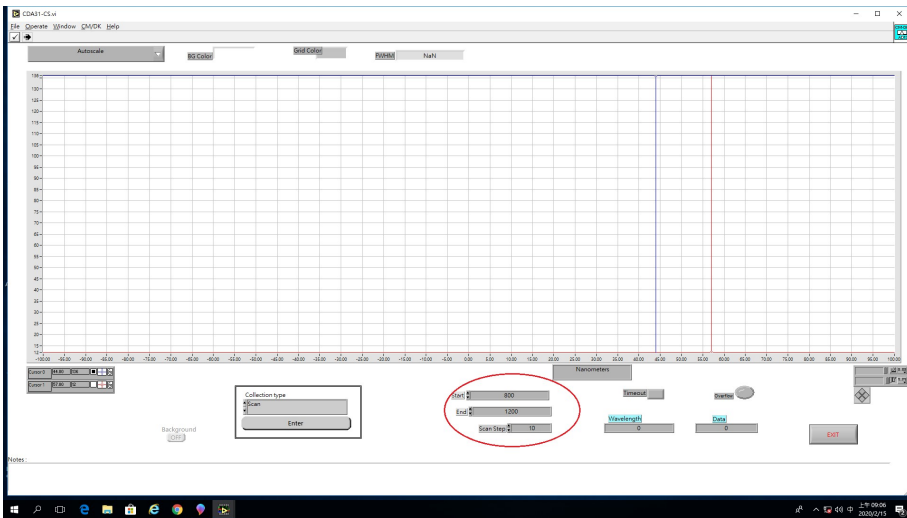
圖六(a) 點擊執行”Cdad31va”



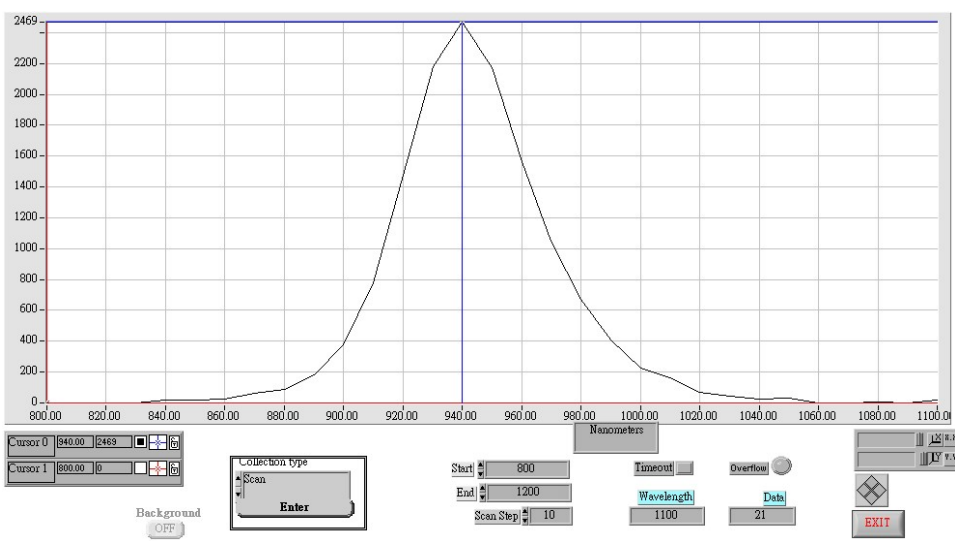
圖六(b) 進入程式後點擊”set”後再點擊”exit”。(其中 Monochromator Setup 與 Detector Setup 已經由 RE232 的傳輸埠設置在電腦的 COM 端，數值請勿更動，若有疑問請詢問助教。)



圖六(c) 至 CM/DK 的工具列中執行“Activate CM/DK”，啟動單光儀。



圖六(d) 視本實驗發光元件出光的波長範圍填入 Start 和 End 的空欄之中。例如量測近紅外光 LD 時，Start 的空欄中填入 800(即 800nm)、End 的空欄中填入 1200(即 1200nm)，Step 的空欄中填入 10(即每 10nm 間隔量測一次)。



圖六(e) 點擊“Enter”，即開始偵測。偵測後光譜圖除了標示出中心波長之外，在圖的正上方也有半高寬(FWHM)的標示。

## (五) 問題與討論：

1. 何為 LED 的閾值？為何會有閾值產生？
2. LD 與 LED 的 I-P curve 有何不同？ L-P curve 有何不同？光譜分佈有何不同？閾值如何？
3. 是不是所有的 LD 的出光分佈都一樣？
4. 什麼是面射型半導體雷射？和邊射型雷射半導體雷射有哪些不同之處？

### 注意事項：

1. 雷射驅動器產品編號為 MODEL 505。首先打開 MODEL 505 電源，此時電流之預設狀態為”PRESET”，**此時請勿壓下光輸出鈕”OUTPUT”**。再來輕壓”DISPLAY”鍵並將指示燈調到”LIMIT”位置，並用小一字起子微調此限制電流到 120mA (這個步驟請助教確定，若原本已經調好，則無須再做此步驟)。
2. 再調回”PRESET”並確定此時螢幕上顯示為 0mA 後，再調到”CURRENT”。選定驅動器在 CONST.CURRENT 模式下工作，將安全鑰匙轉到”ON”，準備驅動雷射。
3. 調整 SETTING ADJ 旋鈕，改變輸入電流慢慢增加到欲輸出的電流值，此時按壓”OUTPUT”鍵，即以此電流值驅動半導體雷射，並利用光功率計測量半導體雷射輸出功率之變化。

實驗中需注意；(a)眼睛勿正視雷射輸出。(b)電流調整需緩慢，勿使發生驟增或驟減的情形。此為測量雷射的輸出電流與輸出功率之特性。(c)二極體雷射之光波長為不可見光，請勿直視。

# Product Specification Sheet

**THORLABS**

## Laser Diode



L650P007



### Description

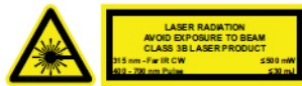
Thorlabs Ø5.6 mm, TO-18 can package discrete laser diode is a compact light source suited to many applications. Our lasers are fully compatible with our entire line of Laser Diode and TEC Controllers as well as our selection of Laser Diode Mounts and Collimation Solutions.

### Specifications

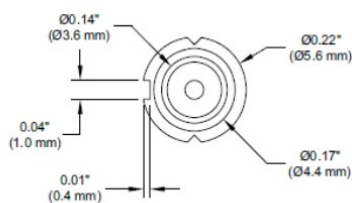
( $P_o = 7 \text{ mW}$ ,  $T_c = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ )

Specification	Symbol	Max
LD Reverse Voltage, V	$V_{R(LD)}$	2
PD Reverse Voltage, V	$V_{R(PD)}$	30
Operation Case Temperature, $^\circ\text{C}$	$T_{op}$	-10 to 70
Storage Temperature, $^\circ\text{C}$	$T_{STG}$	-40 to 85

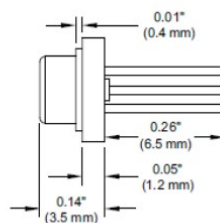
Specification	Symbol	Min	Typ	Max
Wavelength, nm	$\lambda_o$	640	650	660
Output Power, mW	$P_o$	-	7	10
Threshold Current, mA	$I_{th}$	-	20	25
Operation Current, mA	$I_{op}$	-	28	35
Operating Voltage, V	$V_{op}$	-	2.2	2.6
Beam Divergence, deg	$\theta_{//}$	5	9	12
	$\theta_{\perp}$	24	28	32
Slope Efficiency, mW/mA	$\eta$	0.6	1	1.3
Monitor Current, mA	$I_m$	-	0.12	0.3
Astigmatism, $\mu\text{m}$	$A_s$	-	-	15
Beam Angle Deviation, deg	$\theta_{//}$	-3	-	3
	$\theta_{\perp}$	-3	-	3
Emission Point Accuracy, $\mu\text{m}$	$\Delta X$	-80	-	80
	$\Delta Y$	-80	-	80
	$\Delta Z$	-80	-	80



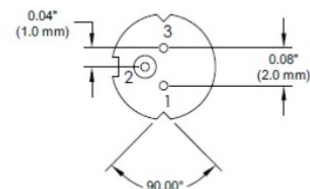
Top View



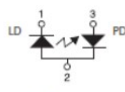
Side View



Bottom View



Pin Code 5A



Pin Description

- 1 Laser Cathode
- 2 Case Common
- 3 Monitor Diode Anode

21024-S01 Rev A - April 1, 2010  
Specifications subject to change without notice.

# L808P010

## Laser Diode Technical Data

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( T<sub>c</sub>=25 °C )

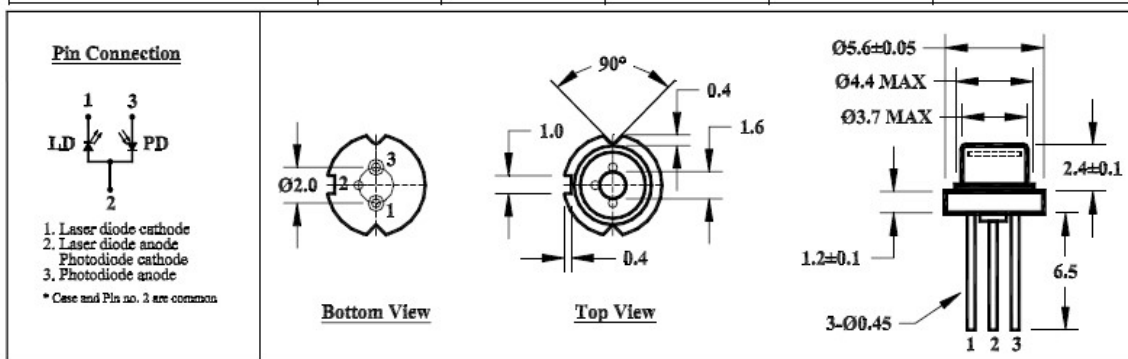
#### Features

- Index Guided MQW Structure
- Wavelength : 808 nm (Typ.)
- Optical Power : 10 mW CW
- Threshold Current : 25 mA ( Typ. )
- Package Style : TO-18 (5.6 mmØ)

DESCRIPTION	SYMBOL	RATED VALUE
Optical Power (mW)	P <sub>o</sub>	10
Operation Temperature (°C)	T <sub>op</sub>	-10 to +50
Storage Temperature (°C)	T <sub>stg</sub>	-40 to +85
LD Reverse Voltage (V)	V <sub>LDR</sub>	2
PD Reverse Voltage (V)	V <sub>PDR</sub>	30

### OPTICAL AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( T<sub>c</sub>=25 °C )

DESCRIPTION	SYMBOL	MIN.	TYPICAL	MAX.	TEST CONDITION
Lasing Wavelength (nm)	λ <sub>p</sub>	795	808	815	P <sub>o</sub> =10mW
Threshold Current (mA)	I <sub>th</sub>	10	25	40	P <sub>o</sub> =10mW
Operating Current (mA)	I <sub>op</sub>	25	50	70	P <sub>o</sub> =10mW
Operating Voltage (V)	V <sub>op</sub>	1.8	2.0	2.5	P <sub>o</sub> =10mW
Monitor Current (mA)	I <sub>m</sub>	0.05	0.3	1.0	P <sub>o</sub> =10mW, V <sub>R</sub> =5V
Slope Efficiency (mW/mA)	η	0.3	0.5	0.7	***
Beam Divergence    (°)	θ <sub>  </sub>	8	10	12	P <sub>o</sub> =10mW
Beam Divergence ⊥ (°)	θ <sub>⊥</sub>	25	30	40	P <sub>o</sub> =10mW
Astigmatism (μm)	A <sub>s</sub>	*	11	*	P <sub>o</sub> =10mW, NA=0.4





## Laser Diode Technical Data

### L850P010

#### Features

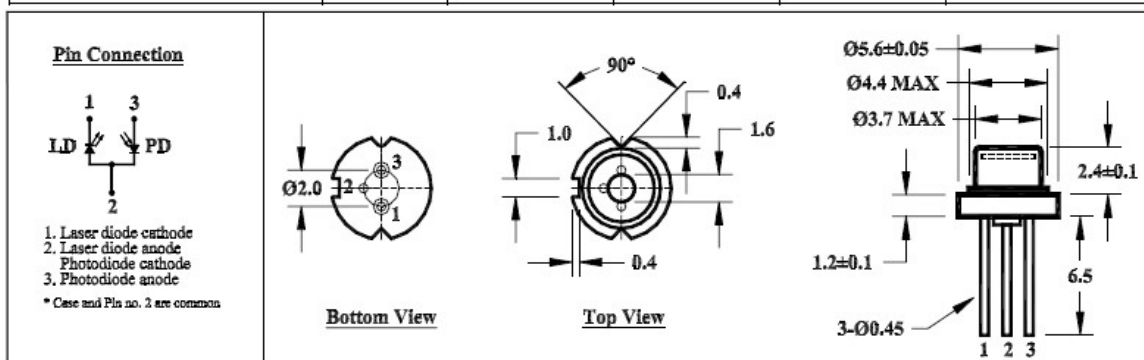
- Index Guided MQW Structure
- Wavelength : 850 nm (Typ.)
- Optical Power : 10 mW CW
- Threshold Current : 25 mA ( Typ. )
- Package Style : TO-18 (5.6 mmØ)

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( Tc=25 °C )

DESCRIPTION	SYMBOL	RATED VALUE
Optical Power (mW)	P <sub>o</sub>	10
Operation Temperature (°C)	T <sub>op</sub>	-10 to +50
Storage Temperature (°C)	T <sub>stg</sub>	-40 to +85
LD Reverse Voltage (V)	V <sub>LDR</sub>	2
PD Reverse Voltage (V)	V <sub>PDR</sub>	30

#### OPTICAL AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( Tc=25 °C )

DESCRIPTION	SYMBOL	MIN.	TYPICAL	MAX.	TEST CONDITION
Lasing Wavelength (nm)	$\lambda_p$	835	850	865	P <sub>o</sub> =10mW
Threshold Current (mA)	I <sub>th</sub>	10	25	40	P <sub>o</sub> =10mW
Operating Current (mA)	I <sub>op</sub>	25	50	70	P <sub>o</sub> =10mW
Operating Voltage (V)	V <sub>op</sub>	1.8	2.0	2.5	P <sub>o</sub> =10mW
Monitor Current (mA)	I <sub>m</sub>	0.05	0.3	1.0	P <sub>o</sub> =10mW, V <sub>R</sub> =5V
Slope Efficiency (mW/mA)	$\eta$	0.3	0.5	0.7	***
Beam Divergence    (°)	$\theta_{  }$	8	10	12	P <sub>o</sub> =10mW
Beam Divergence ⊥ (°)	$\theta_{\perp}$	25	30	40	P <sub>o</sub> =10mW
Astigmatism (μm)	A <sub>s</sub>	*	11	*	P <sub>o</sub> =10mW, NA=0.4



11910-S01 REV.C 11/9/05

## VCSEL-850

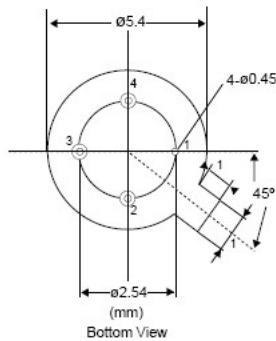
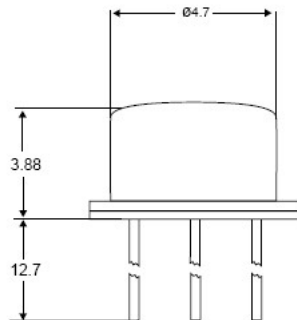
### 850nm VCSEL Laser Diode in TO-46 Package

#### 1. Feature

- Oxidation process
- Flat window
- Monitor Photodiode
- High speed 2.5Gbps

#### 2. Application:

- High-speed data communications and telecommunications applications
- Gigabit Ethernet
- Fiber Channel
- ATM transceiver modules and system



- Case
- VCSEL Anode
- VCSEL Cathode/Photodiode Anode
- Photodiode Cathode

#### 3. Optical and Electrical Characteristics

Parameter	Symbol	Min.	TYP.	Max.	Unit	Test Condition
Peak Wavelength	$\lambda_p$	830	845	860	nm	$I_f = 8\text{mA@RT}$
Spectral Width (RMS)	$\Delta\lambda$	-	-	0.85	nm	$I_f = 8\text{mA@RT}$
Beam Divergence	$\Theta$	-	25	30	Deg	Full width at $1/e^2$ , $I_f = 8\text{mA@RT}$
Forward Voltage	$V_f$	1.7	1.9	2.2	V	$I_f = 8\text{mA@RT}$
Threshold Current	$I_{th}$	-	2.2	3	mA	-
Slope Efficiency	$dP/dI$	0.12	0.32	0.4	W/A	$I_f = 8\text{mA@RT}$
Optical Output Power	$P_{out}$	-	1.85	-	mW	$I_f = 8\text{mA@RT}$
Dynamic Resistance	$dV/dI$	20	40	65	$\Omega$	$I_f = 8\text{mA@RT}$
Rise / Fall Time	$t_r / t_f$	-	50	100	ps	20%-80%
Jitter p-p	$t_j$	-	35	-	ps	-
$\lambda_p$ Temperature Coefficient	$\delta\lambda_p/\delta T$	-	0.06	-	nm/°C	$T_A = 0\sim 70^\circ\text{C}$ , $I_f = 8\text{mA}$
Operating Temperature Range	$T_{op}$	-5	25	80	°C	-
Monitor Current	$I_m$	100	-	-	$\mu\text{A}$	$I_f = 8\text{mA@RT}$

#### 2. Maximum Ratings

Parameter	min.	Max.	Unit	Condition
Storage Temperature	-40	100	°C	-
Operating Temperature	0	85	°C	-
Continuous Forward Current	-	10	mA	-
Continuous Reverse Voltage	-	5	V	@10 $\mu\text{A}$

#### 3. Monitoring PIN Specs

Parameter	Symbol	Min.	TYP.	Max.	Unit	Test Condition
Dark Current	$I_r$	-	0.2	1	nA	$V_r = 10\text{V}$
Shunt Resistance	$P_p$	100	200	-	G $\Omega$	-
Breakdown Voltage	$V_{br}$	-	50	-	V	-
Junction Capacitance	$C_p$	-	40	-	pF	@ $V_r = 10\text{V}$ , 10KHz