

文章编号: 1001-5078 (2006) 07-0558-03

## 980nm 半导体激光二极管的温度特性

韦文生

(温州大学物理与电子信息学院, 浙江 温州 325025)

**摘要:**测试并分析了 980nm 半导体激光二极管 (SLD) 模块的输出光功率、光谱和消光比与注入电流及温度的变化关系。结果反映:在测试范围内,温度不变时该模块的输出光功率随注入电流的增大而增加,经历了自发辐射和受激放大过程;电流不变时该输出光功率随管芯温度的变化基本保持稳定。温度不变的情况下,当注入电流小于阈值电流时,峰值波长、3dB 带宽和消光比随注入电流的增大而较快增加,当注入电流大于阈值电流时,峰值波长、3dB 带宽和消光比随注入电流的增大而缓慢增加;电流不变时峰值波长、3dB 带宽和消光比随温度升高而有所增大。

**关键词:**半导体激光二极管;光谱;输出功率;消光比

**中图分类号:** TN248.4 **文献标识码:** A

## Temperature Characteristics of 980nm Semiconductor Laser Diode

WEI Wen-sheng

(School of Physics & Electronic Information, Wenzhou University, Wenzhou 325000, China)

**Abstract:** The output optical power, spectra and extinction ratio of a 980 nm semiconductor laser diode (SLD) module were measured and analyzed when the SLD was operated with different current at different temperature. The results show that the SLD is a threshold device, its output optical power increases with the operation current and does weakly change with temperature. The peak wavelength, 3dB bandwidth and extinction ratio increase sharply with the operation current when it is lower than threshold current, while they increase slowly with the operation current when it is higher than threshold current at same temperature. The peak wavelength, 3dB bandwidth and extinction ratio increase with rising the temperature at same operation current.

**Key words:** semiconductor laser diode; optical spectrum; output optical power; extinction ratio

### 1 引言

波长为 980nm 的半导体激光二极管是超荧光光纤激光器和掺铒光纤放大器<sup>[1-3]</sup>的泵浦源。半导体激光器的光谱、输出光功率和偏振态等性能参数对温度的变化十分敏感。已有的文献 [4-5] 或者产品使用说明书中,只提供某个固定温度的性能参数,没有反映温度的变化对性能的影响。少量文献 [6] 提到了变温的输出光功率—工作电流的关系,而没有研究温度改变时光谱和偏振态等性能参数随着工作电流的变化。在实际应用此 SLD 模块的精密系统中,必须准确掌握这些参数随温度变化的规律,作为了解其性能特点以及设计模块的温控电路和光控电路的参考,并根据应用系统的实际需要设置该 SLD 的工作点,调试系统达到最佳性能。一般地,980nm SLD 是在室温 (25 ) 下工作的。本文

中,在室温附近不同温度下测试了该 SLD 模块的光谱、输出功率和消光比,发现这些参数随工作电流和温度的变化而漂移,分析了引起这些漂移的物理本质,可以作为实际应用的参考。

### 2 980nm LD 泵浦源模块的性能测试

本测试所用的 SLD 模块中,管芯为 InGaAs/GaAs 单量子阱 (QW) 结构,设计峰值波长约为 980nm。在管芯的出光端面蒸镀了保护膜,减小光损伤,提高器件的可靠性并延长寿命。980nm 的 SLD 模块是采用标准工艺在 8 针蝶型金属管壳中封

基金项目:本课题得到高校博士点基金 (200220006037);北京航空航天大学博士生基础性研究基金的资助。

作者简介:韦文生 (1966 - ),副教授,博士,主要研究方向是低维半导体材料及其器件,光电集成。

收稿日期:2005-11-15

装的。管壳内装配了半导体热电制冷器、热沉、SLD管芯、热敏电阻等部件。用熊猫型保偏光纤与SLD管芯耦合输出激光,支撑光纤的金属支架用激光焊接固定。模块外型如图1所示。

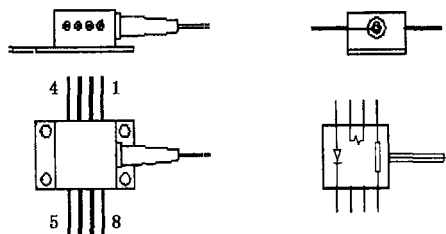


图1 8针蝶型封装 SLD 模块的结构

Fig 1 diagram of SLD module with 8-pin butterfly package

测试过程中,模块在恒流驱动+温控条件下工作,恒流精度优于0.1%,温度漂移0.1,因此可以忽略测试过程中管芯与光纤头之间的相对位移。用温控电路实现了本测试所需的变温环境;光谱是用Agilent 86142B型光谱分析仪测试的;输出光功率是用LX Lightwave EPM8200型光功率计测试的;消光比是用ER-100型消光比仪测试的。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 SLD的输出光功率与工作电流和温度的关系

图2是不同温度下SLD的输出光功率(P)与注入电流(I)的P-I关系图。图中显示了明显的阈值特性,这是因为有源区的前后端的谐振腔共振放大所致。注入电流I小于I<sub>th</sub>时,SLD有源区的导带电子自发跃迁与价带空穴复合而发光,因此输出光功率很低。随着注入电流的增大,载流子浓度增加,这种自发辐射有所增强,所以光功率缓慢增加。而I大于阈值电流后,受激辐射产生,输出光功率P随I线性增加。

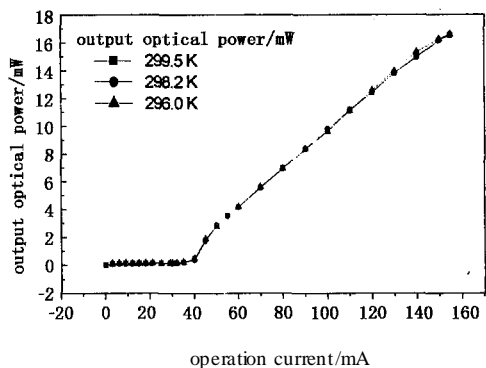


图2 不同温度下 SLD 的 P - I 关系

Fig 2 P - I curve for SLD at different temperature

随管芯温度变化,受激辐射 SLD 的 P - I 曲线的斜率效率 (dP/dI) 基本不变,阈值电流随温度的变化不明显,因为 QW 的二维电子气系统中,台阶状的态密度分布受温度的影响不敏感<sup>[7]</sup>。

#### 3.2 SLD 的光谱与工作电流和温度的关系

图3与图4分别是不同温度下 SLD 的峰值波

长 (λ<sub>p</sub>) 和光谱的 3dB 带宽与工作电流 I 的关系图。图3明显地表明了峰值波长随注入电流的增加而增大。载流子浓度随着电流增加而增大,因此导带谷下降,能隙变窄,这是载流子效应。根据 λ<sub>p</sub> = 1.24/E<sub>g</sub> (μm), 激发光谱的峰值波长变大。注入电流小于 I<sub>th</sub> 时,载流子浓度低,载流子效应占优,电流的热效应可以忽略,所以峰值波长增加很快。当注入电流大于 I<sub>th</sub> 后,SLD 出现受激辐射,有源层的载流子浓度不再变化,载流子效应可忽略。随着电流增加,电子进入导带的高能带,称为带填充效应,将导致峰值波长变小。但随着工作电流的增加,管芯有源区的有效温度升高。结区的温度高出热沉的温度差 ΔT 可表示为<sup>[8]</sup>:

$$T = (I^2 R_s + M_j) \phi (1 - \eta) D \quad (1)$$

式中, I 是注入电流; R<sub>s</sub> 是 SLD 的电阻; V<sub>j</sub> 是它的结电压; φ 是热阻; η 是注入电流转换为激光的效率; D 是占空比 (对于连续工作而言 D = 1)。可见 I 越大, ΔT 越大。对 InGaAs/GaAs 的 SLD 而言,结区温度升高引起峰值波长的变化 Δλ<sub>p</sub> 可表示为<sup>[9]</sup>:

$$\Delta \lambda_p / \lambda_p \approx 0.07 \text{ nm/K} \quad (2)$$

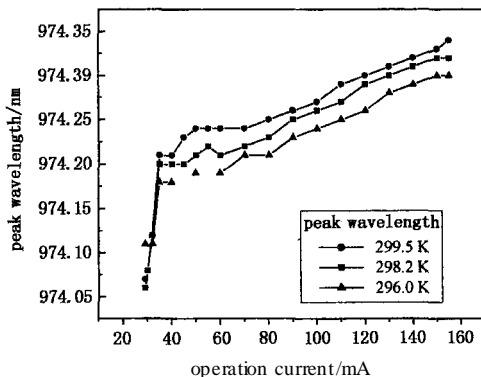


图3 不同温度下的峰值波长 (λ<sub>p</sub>) 与工作电流的关系

Fig 3 relation between peak wavelength and operation current at different temperature

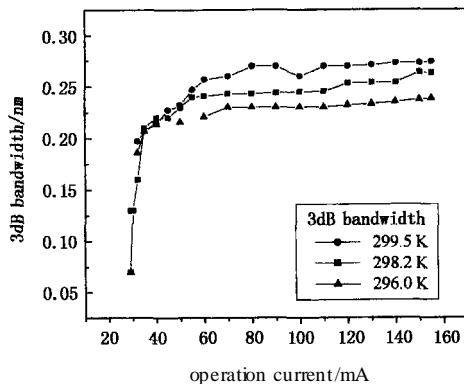


图4 不同温度下的 3dB 带宽与工作电流的关系

Fig 4 relation between 3dB bandwidth and operation current at different temperature

因此,如图3所示,注入电流 I > I<sub>th</sub> 时,带填充效应与电流热效应竞争,使得受激辐射的峰值波长略微向长波方向移动。根据(2)式,相同电流时,SLD

的峰值波长随温度升高而增大。

温度不变,注入电流  $I$  时,3dB 带宽随注入电流的增加而明显增大。这是载流子浓度随注入电流的增加而增大,载流子在导带和价带中的分布更广,导致辐射光谱的带宽增大。当注入电流  $I$  时,随  $I$  的增大,流过有源层两侧光限制层的载流子浓度升高,由于等离子体效应<sup>[9]</sup>,使光限制层的折射率变小。但 SLD 激射时有源层的载流子浓度不再变化,致使光限制层与有源层的折射率差变小,限制了光谱加宽,所以 3dB 带宽随  $I$  的增加几乎不变。电流不变时,3dB 带宽随管芯温度的升高略有增大,这是载流子在高温下有更宽的能量分布引起的,如图 4 所示。

### 3.3 SLD 的消光比与工作电流和温度的关系

图 5 是不同温度下 SLD 的消光比与注入电流  $I$  的关系图。其中显示:注入电流  $I$  时,消光比较小,这是因为 SLD 处于自发辐射状态,光子的振动方向是随机的;消光比随着  $I$  的增大而较快地增加,是由于自发辐射向受激辐射转化,辐射光子受相干激发朝着某些方向振动,其它方向的振动被抑制,因此消光比增大。达到  $I$  时,受激发光的横电模与横磁模之间虽有竞争,但在测试的电流范围内,两种模式的增益同步增加<sup>[10-11]</sup>,因此消光比趋于稳定。注入电流相同时,因为电流方向固定,温度升高引起某些方向的振动模式的增益得到加强,而另一些振动方向的模式的增益被限制,所以 SLD 的消光比随温度升高而增大。

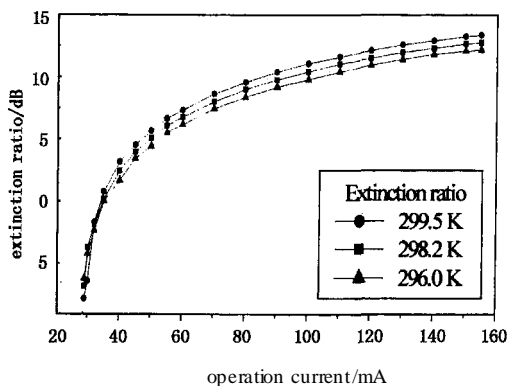


图 5 不同温度下 SLD 的消光比与工作电流的关系图

Fig 5 Relation between extinction ratio and operation current at different temperature

## 4 结论

(1) 温度不变时 980nm 的 SLD 经历了自发辐射、受激辐射的过程,模块的输出功率随注入电流的增大而增大;但它随管芯温度的变化不灵敏;

(2) 温度不变,注入电流  $I$  时,峰值波长  $\lambda_p$  随注入电流的增加而明显增大;当注入电流  $I$  时,  $\lambda_p$  随  $I$  的增大略有增大。电流不变时,峰值波长

值随管芯温度的升高略有增大;

(3) 温度不变,注入电流  $I$  时,峰值波长 3dB 带宽随注入电流的增加而明显增大;当注入电流  $I$  时,3dB 带宽随  $I$  的增大而几乎不变。电流不变时,3dB 带宽随管芯温度的升高略有增大;

(4) 温度不变,注入电流  $I$  时,消光比随  $I$  的增加而增大较快;  $I$  时,消光比趋于稳定。  $I$  不变时,消光比随管芯温度的升高而增大。

## 参考文献:

- [1] Paul F Wysocki, M J F Digonnet, B Y Kim, et al Characteristics of erbium-doped superfluorescent fiber sources for interferometric sensor applications[J]. Journal of Light Wave Technology, Vol 12, No 3 (1994): 550 - 567.
- [2] L A Wang, C D Chen Characteristics comparison of Er-doped double pass superfluorescent fiber sources pumped near 980nm [J]. IEEE photonics technology letters, Vol 9, No 7 (1997): 446 - 448.
- [3] Herve C Lefevre Fundamentals of the interferometric fiber-optic gyroscope [M]. Fiber-optic gyroscope 20<sup>th</sup> anniversary conference, Proc SPIE, 2837 (1996): 1 - 17.
- [4] G J Teamey, M E Brezinski, B E Bouma et al In vivo endoscopic optical biopsy with optical coherence tomography [J]. Science, Vol 276 (1997): 2037 - 2039.
- [5] Gerard A Alhose, Dean B Gilbert, M G Harvey, et al High-power superluminescent diodes [J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol 24, No 12 (1988): 2454 - 2457.
- [6] Osamu Mikami, Yoshio Noguchi, Katsuaki Magari, et al Polarization-insensitive superluminescent diode at 1.5  $\mu$ m with a tensile-strained-barrier MQW [J]. IEEE Photonics Technology Letters, Vol 4, No 7 (1991): 703 - 705.
- [7] Mitsuhiro Yano, Yorimitsu Nishitani, Ken-Ichi Hori, et al Temperature characteristics of double-carrier-confinement (DCC) heterojunction InGaAsP (1.30  $\mu$ m) / InP lasers [J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol 19, No 8 (1983): 1319 - 1327.
- [8] Shigehisa ARA I, Yasuharu Suematsu 1.11-1.67 (100) GaInAsP / InP injection lasers prepared by liquid phase epitaxy [J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol 16, No 2 (1980): 197 - 205.
- [9] Jiang Jianping Semiconductor laser device [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1995: P90 - 92.
- [10] Kim S Jepsen, Niels Storkfelt, Kristian E Stubkjaer Polarization dependence of linewidth enhancement factor in InGaAs / InGaAsP MQW material [J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol 30, No 3 (1994): 635 - 639.
- [11] Yutaka Takahashi, Anup Neogi, Hitoshi Kawaguchi Polarization-dependent nonlinear gain in semiconductor lasers [J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol 34, No 9 (1998): 1660 - 1672.