

850nm 氧化物限制型 VCSEL 的温度特性*

张永明 钟景昌 赵英杰 郝永芹 李 林 王玉霞 苏 伟

(长春理工大学高功率半导体激光国家重点实验室, 长春 130022)

摘要: 采用热封闭系统对 850nm 氧化物限制型 VCSEL 的温度特性进行了研究. 实验证实该器件在 80 °C 仍能正常工作, 在 20 ~ 80 °C 的温度区间内, 器件的斜率效率由 0.3 mW/mA 降到 0.2 mW/mA. 根据阈值电流的温度依赖性得出 $T_0 = 350$ K, 器件的基模红移为 0.11 nm/mW, 实验确定其热阻为 2.02 °C/mW.

关键词: 垂直腔面发射激光器; 氧化物限制; 温度特性

PACC: 4255P

中图分类号: TN248.4 文献标识码: A 文章编号: 0253-4177(2005)05-1024-04

1 引言

在光纤数据传输领域, 850nm VCSELs 展示了极其优秀的性能^[1~4]. 尤其对短距离局域网的光纤数据传输来说, 850nm VCSEL 更是首选. 目前, 对于 VCSELs 中的电势和光场问题^[5~7] 已有了较深入的研究. 但是, 在短波长、小功率的 VCSEL 中由于使用高热导率散热材料, 器件的自发热问题一直没有得到足够的重视. 实践证明, VCSEL 无论是作为功率源还是作为信号源其热特性研究都至关重要. 器件的温度变化将引起阈值电流、斜率效率、最大输出功率和光谱的变化.

热特性参数是半导体激光器非常重要的指标, 温度特性的测试尤为重要. 测试温度特性需要在稳定的热平衡系统中进行, 目前还没有成型的测试装置. 本文采用自行设计的热封闭系统研究了 850nm 氧化物限制型 VCSEL 的温度特性, 得到了一系列表明 VCSEL 热性能的数据.

2 实验装置

该实验装置的建立是基于 VCSEL 连续工作条件下, 处于一个稳定的温度场中方能得到准确的阈值电流、输出光功率和激光波长等与温度的依赖关

系, 从而得到准确的特征温度 T_0 等参数.

以往的装置多以空气为传热介质, 但由于其热容量较小, 很难使被测器件处于均匀稳定的温度场中, 且有源区的热平衡温度总要滞后于温控传感器温度, 从而使被测参数偏离实际值较远. 为解决上述问题, 经过热平衡计算, 确定实验装置结构如图 1 所示, 其导热介质选择绝缘性好、热容量大的变压器油. 采用 XMT 型数显调节仪配以热电偶控温 (精度达 ± 0.5 °C), XMTD 型数显调节仪配以热电阻测温, 多功能参数测试仪测量输出光功率、激光波长.

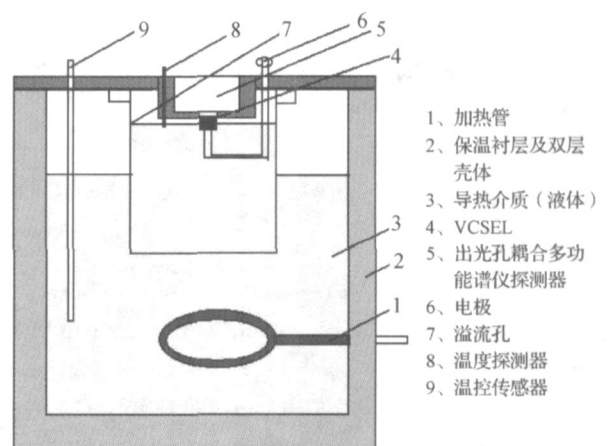


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Experimental setup

*兵器工业总公司“十五”支撑资助项目

张永明 男, 1964 年出生, 博士研究生, 主要从事半导体激光器件研究. Email: zymciom@126.com

2004-07-02 收到, 2004-09-03 定稿

3 VCSELs 的结构

我们用分子束外延方法在 n 型 GaAs 衬底上生长器件结构,上布拉格反射镜(DBR)由 22 对不掺杂 AlAs/GaAs 组成,下 DBR 由 30 对 n 型 AlAs/GaAs 组成,有源区为 InGaAs/GaAs 单量子阱.有源区上第一个 $\lambda/4$ 波长处生长 50nm $Al_{0.98}Ga_{0.02}As$ 的选择氧化层.生长好的晶片经过光刻等处理,再进行干法刻蚀、掩膜,其后在 440 °C 下,经携带 N_2 的水蒸气进行氧化,以形成低折射率绝缘的自然氧化物.

4 实验结果与讨论

图 2 是对自行研制的 850nm 氧化物限制型 VCSEL 在 20~80 °C 温度范围内所测的 $L-I-V$ 特性曲线. $L-I$ 曲线表明,最大输出光功率随器件温度的升高而降低,在该温度范围内最大输出光功率由 1.66mW 降到 0.38mW.这是由于 VCSEL 腔模式与增益模式失配所致,如图 3^[8]所示.由于 VCSEL 模式半宽窄、纵模间距宽,激光波长一般由落在增益谱内的一个腔模位置决定,因此它的热特性主要受热效应导致的折射率变化和半导体材料热膨胀造成轻微体积变化的影响.温度对最大输出功率的影响比对阈值电流的影响更显著,导致斜率效率随温度的升高而降低.如图 4 所示,当温度由 20 °C 升高到 80 °C 时,器件的斜率效率由 0.29mW/mA 降到 0.20mW/mA.由阈值电流随温度变化的关系:

$$I_{th} = I_0 e^{T/T_0} \tag{1}$$

式中 I_{th} 为阈值电流; I_0 为有电流量纲的常数; T 为温度; T_0 为特征温度.由于增益峰值随温度的升高而减小,导致阈值电流增加.实验测得阈值电流 $\ln I_{th}$ 随温度 T 变化曲线如图 5 所示.该曲线斜率的倒数即为 VCSEL 的特征温度,实验测得 T_0 为 350 K.

图 6 所示恒定驱动电流为 5mA 时,20~80 °C 温度之间 VCSEL 基模激光波长随温度的变化关系.由图可以清楚地看到激光波长随温度升高呈线性变化,且向长波方向移动,速率为 0.06nm/°C.这是由于发热使有源区材料的折射率发生变化所致.我们也跟踪了基模激光波长随驱动电流的变化,驱动电流的增加导致器件发热,由已知输入的驱动电流和 VCSEL 的 $I-V$ 特性可计算出输入的电功率,波长相

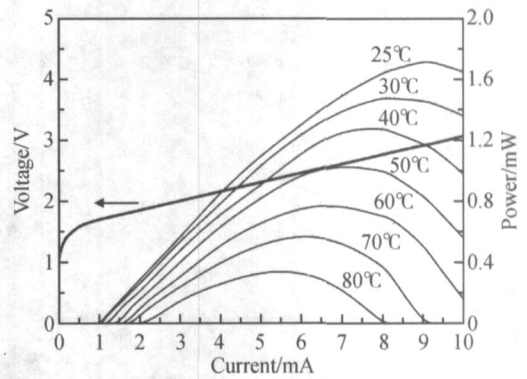


图 2 20~80 °C 温度范围内 VCSEL 的 $L-I-V$ 特性曲线

Fig. 2 $L-I-V$ plot of the VCSEL in the temperature range of 20~80 °C

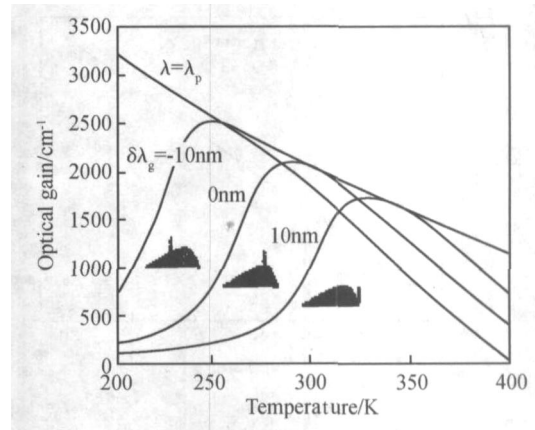


图 3 VCSEL 模式及增益随温度的变化

Fig. 3 Plot of mode and gain of the VCSEL versus temperature

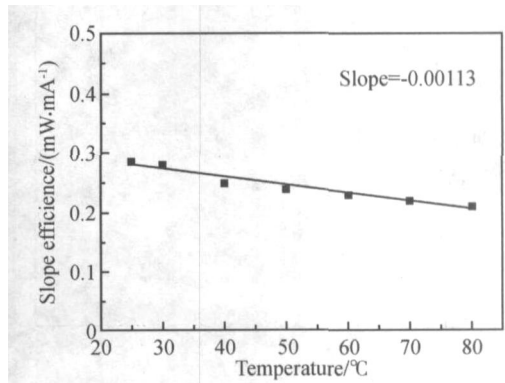


图 4 VCSEL 斜率效率随温度的变化

Fig. 4 Plot of the VCSEL slope efficiency versus heat sink temperature

对于输入的电功率的变化示于图 7.由图 7 计算得到波长对注入电功率的依赖性,其值为 0.11nm/mW.这是由于发热致使有源区温度升高,导致晶格热振动加剧,使得禁带和价带能级展宽,从而使禁带

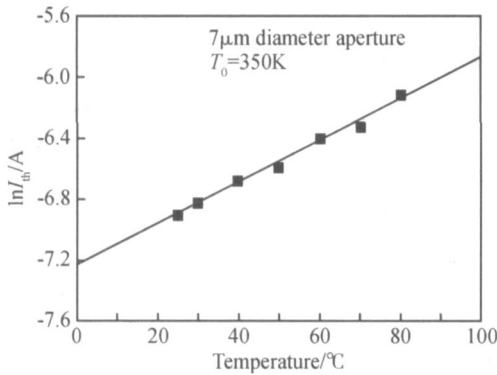


图 5 VCSEL 阈值电流随温度的变化

Fig. 5 Plot of the VCSEL threshold current versus temperature

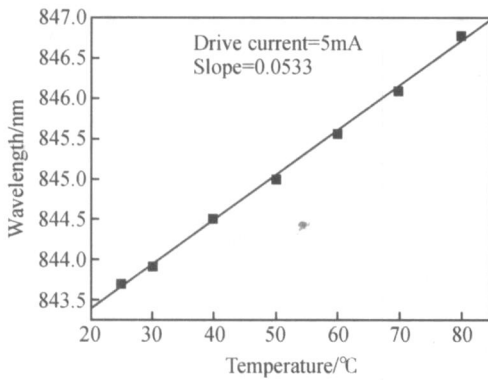


图 6 VCSEL 基模波长随温度的变化

Fig. 6 Plot of the wavelength of the VCSEL fundamental mode versus heat sink temperature

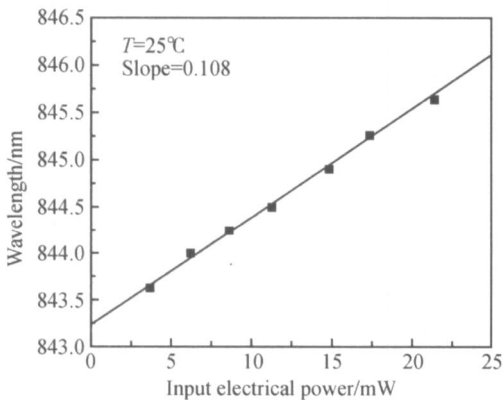


图 7 VCSEL 基模波长随器件注入功率的变化

Fig. 7 Plot of the wavelength of the VCSEL fundamental mode versus device input electrical power

宽度变窄,即由于发热引起带隙收缩.上述实验的目的是要确定激光器的发热特性.理论上激光器的发热特性可以用热阻来描述^[9]:

$$Z_t = T / P \tag{2}$$

式中 T 表示温度的改变; P 表示耗散功率,为注入电功率与输出光功率之差.热阻遵从如下关系^[1]:

$$Z_t = (4r\epsilon)^{-1} \tag{3}$$

式中 r 为有源区半径; ϵ 是紧挨着有源区结构层的热导系数.假定器件注入电流分布均匀,器件运转时的温升值就表示为:

$$T = Z_t P = Z_t VI = rVJ/4\epsilon \tag{4}$$

将 VCSEL 的有源区直径 $2r = 7\mu\text{m}$,最大输出功率处 (25) $J = 0.234\text{mA}/\mu\text{m}^2$, $V = 2.8\text{V}$, $\epsilon = 0.039\text{mW}/\mu\text{m}^{[1]}$,代入(4)式得 $T = 46.16$.

将(2)式改写为:

$$Z_t = \frac{1}{P} \times \frac{T}{\lambda} \tag{5}$$

等式右边 T/λ 表示激光波长随注入电功率变化; T/λ 表示波长随温度变化的倒数.由图 7 知 $T/\lambda = 0.108$,由图 6 知 $T = 0.0533$,代入(5)式得 $Z_t = 2.026 / \text{mW}$,由图 2 知最大输出功率处 $P = 23.55\text{mW}$ (25),代入(2)式得 $T = 47.57$.实验测得的结果与(4)式计算的结果相符,由此证明,VCSEL 的热阻可以由波长对温度的依赖性和波长对注入电功率的依赖性之积得到.

5 结论

我们采用自行设计的热封闭系统对 850nm 氧化物限制 VCSEL 的温度特性进行了研究.该器件在 80 仍能正常工作.在 20~80 的温度区间,器件的斜率效率由 0.3mW/mA 降到 0.2mW/mA.根据阈值电流的温度依赖性得出 $T_0 = 350\text{K}$,器件的基模红移为 0.11nm/mW.实验确定器件热阻为 2.026 /mW,由此证实我们研制的 850nm 氧化物限制 VCSEL 性能优良,同时也证明我们设计的热封闭系统性能稳定可靠,是较为理想的热特性测试装置.

参考文献

- [1] Scott J W, Young D B, Thibbeault B J, et al. Design of index-guided vertical-cavity lasers for low temperature-sensitivity, sub-milliamp threshold, and single-mode operation. IEEE J Sel Topics Quantum Electron, 1995, 1(2) : 638
- [2] Jiang Wenjang, Chen Lungchien, Wu Mengchyi, et al. A new process to improve the performance of 850nm wavelength

- GaAs VCSELs. *Solid-State Electron*, 2002, 46:2287
- [3] Thibeault B J, Bertilsson K, Hegblom E R, et al. High-speed characteristics of low optical loss oxide-apertured vertical-cavity lasers. *IEEE Photonics Technol Lett*, 1997, 9:11
- [4] Hatori N, Mizutani A, Nishiyama N, et al. An over 10-Gb/s transmission experiment using a p-type delta-doped InGaAs-GaAs quantum-well vertical-cavity surface-emitting laser. *IEEE Photonics Technol Lett*, 1997, 4:409
- [5] Zhao Ding, Lin Shiming. Calculation method of self-consistent distribution of voltage and carrier density in VCSEL. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2003, 24(10):1093 (in Chinese) [赵鼎, 林世鸣. 确定 VCSEL 电势及载流子自洽分布算法的研究. *半导体学报*, 2003, 24(10):1093]
- [6] Zhao Ding, Lin Shiming. Numerical model of based on vectorial electromagnetic field. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2003, 24(12):1297 (in Chinese) [赵鼎, 林世鸣. 基于矢量光场的 VCSEL 数值模拟. *半导体学报*, 2003, 24(12):1297]
- [7] Zhao Yiguang, Zhang Yusheng, Huang Xianling. Electrical, thermal and optical-waveguiding characteristics of vertical-cavity surface-emitting lasers. *Chinese Journal of Semiconductors*, 1999, 20(11):963 (in Chinese) [赵一广, 张宇生, 黄显玲. 垂直腔面发射半导体激光器的电、热和光波导特性. *半导体学报*, 1999, 20(11):963]
- [8] Miller A, Ebrahimzadeh M, Finalayson M D. *Semiconductor quantum optoelectronics*. London: Sussp Publications and Institute of Physics Publishing, 1998:295
- [9] Du Baoxun. *Principles of Semiconductor Lasers*. Beijing: Ordnance Industry Press, 2001:264 [杜宝勋. *半导体激光器原理*. 北京: 兵器工业出版社, 2001:264]

Temperature Characteristics of 850nm Oxide Confined VCSELs *

Zhang Yongming, Zhong Jingchang, Zhao Yingjie, Hao Yongqin, Li Lin, Wang Yuxia, and Su Wei

(State Key Laboratory of High Power Semiconductor Laser, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: Temperature characteristics of 850nm oxide confined VCSELs have been investigated in heat tight system. Normal operations of the devices are observed at as high as 80 °C. The slope efficiency of the devices decreases from 0.3 to 0.2mW/mA at 20~80 °C. According to temperature dependence of threshold current, the characteristic temperature of 350 K is obtained. The fundamental mode of the devices shifts to longer wavelengths by 0.11nm/mW. The thermal resistance of the devices, determined by experiment is 2.02 °C/mW.

Key words: VCSEL; oxide confinement; temperature characteristics

PACC: 4255P

Article ID: 0253-4177(2005)05-1024-04

* Project supported by "Tenth Quinquennium Program" of Chief Company of Weapon Industry

Zhang Yongming male, was born in 1964, PhD candidate. His research interests mainly focus on the semiconductor lasers.

Received 2 July 2004, revised manuscript received 3 September 2004

© 2005 Chinese Institute of Electronics