

光纤光栅作为外反馈的混合腔 半导体激光器

周凯明 葛 璜 安贵仁 汪孝杰 王 圩

(中国科学院半导体所国家光电子工艺中心 北京 100083)

提要 利用一个一端镀有增透膜的 F-P 腔半导体激光器芯片和一段反射率为 50% 的光纤光栅组合成一混合腔激光器, 腔长约为 2 cm。在 50 mA 的偏置电流下, 主边模抑制比为 37.6 dB, 出纤功率为 1 mW。并对这种结构的激光器进行了初步的理论分析。

关键词 光纤光栅, 混合腔, 外腔

1 引 言

窄线宽、高主边模抑制比的半导体激光器是长距离光通信技术中的重要器件。现在有几种方法来制作这种器件。其中 DFB, DBR 等结构的激光器是用光栅的反馈来进行选模的, 它们已应用到系统中。但制作这些器件的工艺复杂, 成本高。还有外腔激光器也是一种可以采用的技术。人们曾经用刻蚀方法制作的光纤光栅作为外腔激光器的反馈, 但是制作工艺也是非常繁琐。最近, 紫外光侧面写入光纤光栅作为一种新兴的技术, 人们对其形成原理和应用方面都进行了广泛深入的研究。紫外光侧面写入光纤光栅有很多种方法, 其中用掩膜版制作光纤光栅简单易行, 光栅质量好而且布喇格波长稳定。用光纤光栅作为反馈来形成混合腔或外腔激光器^[1-5]可以利用已经成熟的封装技术, 制备出在某些特性上可超过 DFB 激光器的半导体激光器, 其制作工艺简单, 波长可以精确控制, 在光通信的某些领域很有可能成为 DFB 结构激光器的替代品。

2 器件结构和工作原理

混合腔激光器由一个端面镀增透膜的 F-P 腔半导体激光器芯片和一段光纤光栅构成, 如图 1 所示。激光器的谐振腔可分为三部分: (1) 半导体芯片部分; (2) 光纤和芯片之间的空气间隙; (3) 光纤部分。其中光纤部分又分有光纤光栅和其前端光纤部分。我们称这种结构为混合腔(hybrid cavity)而非外腔(external cavity)是由于在半导体端面和光纤端面镀了增透膜, 这是为了抑制 F-P 腔模式, 可以认为光场只被光纤光栅和芯片的外端面反馈, 腔中的其他端面没有起反射作用。

由于这种结构其实是一种 DBR 激光器, 可以用 DBR 工作原理来分析它的模式^[6]。激光器

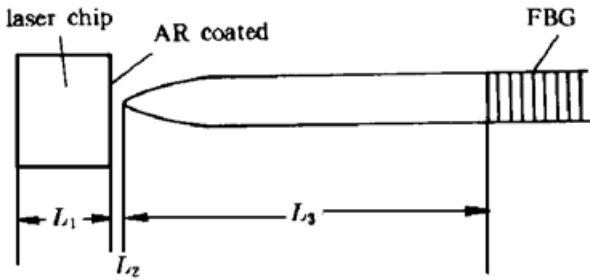


图 1 混合腔半导体激光器的结构示意图

Fig. 1 Structure of the hybrid cavity semiconductor laser

外端面的反射系数为 r_m , 它是一个不随波长改变的量。光纤光栅的反射系数 r_g 可以通过耦合模理论计算得到

$$r_g = |r_g| \exp(i\phi) = \frac{i\kappa \sin(qL)}{q \cos(qL) - i\Delta\beta \sin(qL)} \quad (1)$$

其中, κ 为耦合因子, $\Delta\beta$ 为偏离布喇格条件时传播常数的微调量, $q = [(\Delta\beta)^2 - \kappa^2]^{1/2}$, L 为光纤光栅的长度, r_g 为一个复数。为了产生激射, 光场在谐振腔内往返一周后必须满足其强度和相位保持不变。在我们的这种结构中, 这个条件可以

表示为

$$r_1 r_g C_a^2 \exp(2i\beta_1 L_1) \exp(2i\beta_2 L_2) \exp(2i\beta_3 L_3) = 1 \quad (2)$$

其中 C_a 为光纤和芯片间的耦合效率, β_i 和 L_i ($i = 1, 2, 3$) 分别为上面提到的三部分腔的传播常数和长度, 假设增益、损耗只存在于芯片中, 有 $\beta_1 = \mu_1 k_0 - i\alpha/2$, 其中 α 为吸收系数, μ_1 为有源区的折射率, k_0 为光在真空中的波数。对于空气间隙和光纤中的传播常数, 用 $\mu_i k_0$ ($i = 2, 3$) 来近似。这样由(2)式可以得到阈值条件和相位条件

$$r_m |r_g| C_a^2 \exp(\alpha L_1) = 1 \quad (3a)$$

$$\phi + 2\mu_1 k_0 L_1 + 2\mu_2 k_0 L_2 + 2\mu_3 k_0 L_3 = 2m\pi \quad (3b)$$

从相位条件(3b)得到可以振荡的各种可能模式, 又从阈值条件(3a)可以找到其损耗最低的模式。由于腔长主要决定于光纤光栅前端长度, 为了增大模式间隔, 从而增大相邻模式之间的吸收系数, 这一部分长度应该取得小。图2显示了各个可能的纵模模式和其相应的吸收系数, 吸收最小的模式将最先处于激射状态, 这个吸收系数就是阈值增益。选取的计算参数分别为 $L = 1.2 \text{ cm}$, $\kappa L = 1$, $L_1 = 200 \mu\text{m}$, $L_2 = 20 \mu\text{m}$, $L_3 = 0.5 \text{ cm}$, $n_1 = 3.2$, $n_2 = 1$, $n_3 = 1.46$, $C_a^2 = 0.3$, $r_m^2 = 0.3$ 。

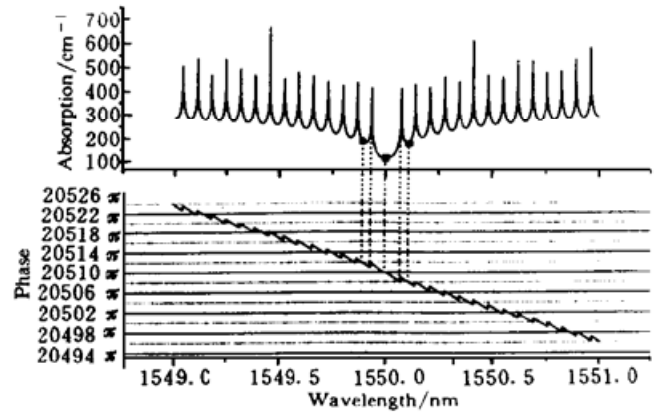


图 2 DBR 结构激光器的纵模模式选择和相应的吸收系数

Fig. 2 The longitudinal modes and correspondent absorption

3 器件的光谱特性

F-P 腔激光器的端面镀了增透膜后不再激射, 而是一个宽带光谱。芯片镀膜后光谱范围为 $1.45 \sim 1.61 \mu\text{m}$, 但是 F-P 腔模式仍然存在, 它们的强度由增透的效果决定, 理想状况下, 这些模式应该全部被消除。我们采用文献[7]中的方法制作光纤光栅, 图3是其透射谱, 布喇格波长为 $1.531 \mu\text{m}$, 处于芯片的增益范围中, 光栅的峰值反射率为 50%。按照已有的封装耦合技术把芯片和光纤光栅组装成器件后, 测量得到此混合腔结构的一些特性。其阈值电流为 19 mA, 偏置电流为 50 mA 时出纤功率达到 1 mW, 图4为此时的发光光谱, 可以看到边模抑制比达到 37.6 dB, 可以和 DFB 激光器相比拟。通过降低光纤光栅的反射率来提高出光功率, 但阈值将

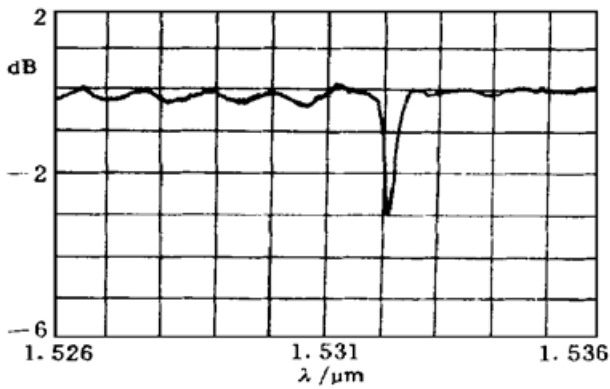


图 3 光纤光栅的透射谱

Fig. 3 Transmission spectrum of a fibre Bragg grating

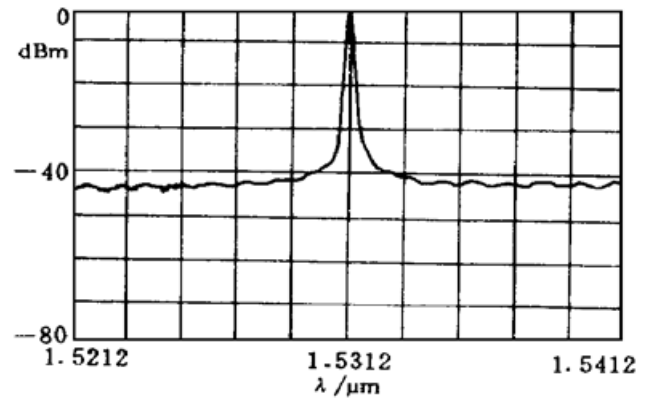


图 4 偏置电流为 50 mA 时,混合腔半导体激光器的发光光谱

Fig. 4 Spectrum of the output with a bias current of 50 mA

会有所升高。

致谢 感谢袁海庆、周伯俊同志在芯片和光纤耦合方面给予的帮助。

参 考 文 献

- 1 D. M. Bird, J. R. Armitage, R. M. A. Kashyap *et al.*. Narrow line semiconductor laser using fiber grating. *Electron. Lett.*, 1991, **27**(13): 1115~ 1116
- 2 P. A. Morton, V. Mizrahi, T. Tanbun-Ek *et al.*. Stable single mode hybrid laser with high power and narrow linewidth. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**(20): 2634~ 2636
- 3 P. A. Morton, V. Mizrahi, S. G. Kosinski *et al.*. Hybrid soliton pulse source with fiber external cavity and Bragg reflector. *Electron. Lett.*, 1992, **28**(6): 561~ 562
- 4 R. J. Campbell, J. R. Armitage, G. Sherlock *et al.*. Wavelength stable uncooled fibre grating semiconductor laser for use in and all optical WDM access network. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(2): 119~ 120
- 5 B. F. Ventrudo, G. A. Rogers, G. S. Lick *et al.*. Wavelength and intensity stabilization of 980 nm diode lasers coupled to fiber Bragg gratings. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(25): 2147~ 2149
- 6 Govind P. Agrawal, Niloy K. Dutta. *Semiconductor Lasers*. New York: VAN NSTRAND REINHOLD, 1993. Chapter 7
- 7 N. H. Rizvi, M. C. Gower, F. C. Goodall *et al.*. Excimer laser writing of submicrometre period fibre Bragg gratings using phase-shifting mask projection. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(11): 901~ 902

Hybrid Cavity Semiconductor Laser with an In-fiber Bragg Grating Used as Feedback

Zhou Kaiming Ge Huang An Guiren Wang Xiaojie Wang Wei

(National Research Center for Optoelectronic Technology, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

Abstract A hybrid semiconductor laser is fabricated by combining an anti-reflection coated F-P laser chip with an in-fiber Bragg grating (FBG). The cavity length is about 3 cm and the peak reflection of the FBG is 50%. At a bias of 50 mA, the output is 1 mW with a side-mode suppression ration of 37.6 dB. A simple theoretical analysis is also given.

Key words fiber Bragg grating, hybrid cavity, external cavity