

用窄带滤光片作为调谐元件的 外腔半导体激光器

范卫星 陈建国 卢玉村 吴正茂

(四川大学光电系, 成都 610064)

摘要 分析了窄带滤光片的调谐原理, 拟合了一块实际滤光片的透射率函数, 它是理论的透射率函数和一个洛仑兹函数的乘积。利用 $1.3 \mu\text{m}$ 的外腔式调谐激光器实现了 1272.5 nm 至 1291.7 nm 范围内的不连续宽带调谐。

关键词 半导体激光器, 窄带滤光片, 可调谐激光器

1 引 言

外腔式半导体激光器(ECSL)是利用外腔镜将所需波段的(部分)光反馈回激光二极管有源区,从而降低该波段处的实际损耗,使激光器运行在所需波段上。在分离式外腔调谐半导体激光器中,经常采用的选频元件是^[1]:光栅、F-P 标准具、声光调谐和电光调谐器件。本文将介绍用薄膜干涉型窄带滤光片作为调谐元件的外腔半导体激光器。窄带滤光片调谐的半导体激光器结构简单,调节方便,只要选择中心波长合适的窄带滤光片,偏转适当的角度,就可调节出所需要的波长。

窄带滤光片只对峰值透射波长附近的光波段有较高的透射作用,在其它光波段都表现为高反射,并且窄带滤光片的峰值透射波长随入射光的入射角度的增大向短波长方向移动。窄带滤光片的这些特点使得它可以用来作为外腔式半导体激光器的调谐元件。

2 窄带滤光片的调谐原理

衡量窄带滤光片的两个重要指标是:峰值透射率 T_{max} 、透射率为峰值透射率的一半时所对应的透射带半宽度(FWHM)。实验采用膜系为 $G4(HL)(Hh)2H(hH)4(LH)A$ 的相色散结构窄带滤光片,它的主要参数为:光线正入射时的中心波长(λ_0)为 1297.7 nm ,最大透射率 T_{max} 为 51.6% ,半宽度为 4.1 nm ,在透射率为峰值透射率的 10% 处的带宽为 9.2 nm 。由于滤光片在镀制过程中受监控误差和其它因素的影响^[2~4],实测窄带滤光片的峰值透射率和半宽度不同于理论设计的峰值透射率和半宽度。因此我们应根据实测的滤光片的透射率曲线来拟合一个透射率函数 $T(\lambda)$,以便研究窄带滤光片的调谐特性。通过研究发现,实测的窄带滤光片的透射

率函数可用下式来表示

$$T(\lambda) = \frac{T_o}{[1 + F \sin^2(\theta)]} \times \frac{1}{[(K\Delta\lambda/\lambda)^2 + T_o/T_d]} = T_{\text{Theory}} \times \frac{1}{[(K\Delta\lambda/\lambda)^2 + T_o/T_d]} \quad (1)$$

这里

$$T_o = \frac{T_1 T_2}{[1 - \sqrt{R_1 R_2}]^2}$$

$$F = \frac{4 \sqrt{R_1 R_2}}{[1 - \sqrt{R_1 R_2}]^2}$$

$$\theta = [\psi_1 + \psi_2 - nd(2\pi/\lambda) \cos(\beta)]/2$$

$$\Delta\lambda = \lambda_o - \lambda$$

式中, T_1, T_2, R_1, R_2 分别是间隔层两边反射板的透射率和反射率, ψ_1, ψ_2 是反射相移, β 是入射光方向与滤光片表面法线方向的夹角, nd 是间隔层的光学厚度, T_d 是实测的滤光片的峰值透射率, K 定义为修正因子。由于镀制的窄带滤光片膜系一般为对称结构, 所以有 $R_1 = R_2 = R$, $\psi_1 = \psi_2 = \psi$, $T_1 = T_2 = 1 - R$ 。

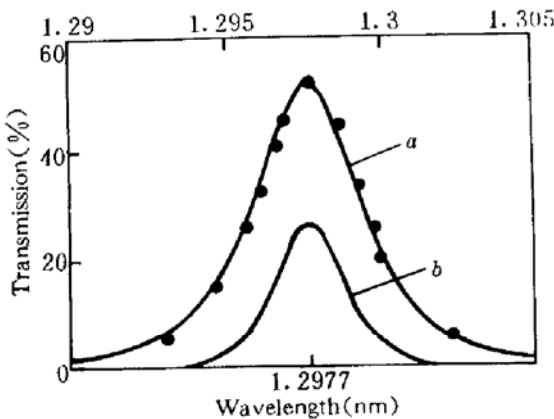


Fig. 1 Transmission curve of a simulated filter, where solid circles are the measured results and curve (a) is for single-pass predicted by Eq. (1), curve (b) is for double-pass predicted by Eqs. (1) and (2)

对上例相色散窄带滤光片, 在实测透射率曲线上选取 12 个数据, 用“·”表示在图 1 中, 由计算机程序选取 $R = 0.96$, $K = 350$, 从图可见, 拟合的窄带滤光片透射率曲线与实测数据符合得很好, 拟合半宽度为 4.06 nm, 透射率为测量峰值透射率的 10% 处宽度为 9.25 nm, 说明拟合的窄带滤光片透射率函数 $T(\lambda)$ 能够很好地描述一块实测窄带滤光片透射率函数。由 (1) 式, 我们可以发现实测窄带滤光片的透射率函数可用理论透射率函数与一个洛伦兹函数乘积的形式表示。对于不同膜系结构的窄带滤光片, 只要适当选取 $[R, K]$ 值就能得到与实际测量曲线符合得很好的拟合滤光片透射率曲线。

在外腔激光器中, 反馈回激光器的光两次通过同一块窄带滤光片, 所以透射率函数 $T_{\text{eff}}(\lambda)$ 应为

$$T_{\text{eff}}(\lambda) = [T(\lambda)]^2 \quad (2)$$

在正入射的情况下, 光波第二次通过窄带滤光片后, 透射率曲线的半宽度已降为 2.56 nm, 比单次通过窄带滤光片后的半宽度要窄。在斜入射的情况下仍有类似的结论。

我们使用的半导体激光器 [LD] 工作在阈值附近, 纵模模式间距为 1.2 nm, 因而在二次透射后的半宽度内仅允许 2~3 个纵模通过。当滤光片中心波长 λ_o 与 LD 的某一个腔模重合时, 该模的透射率与邻模透射率比 η 为

$$\eta = T_{\text{eff}}(\lambda_o) / T_{\text{eff}}(\lambda_o \pm \delta\lambda) \quad (3)$$

其中 $\delta\lambda$ 是 LD 的模式间距。对于长度为 L 的 LD, 上述透射率差别可折合成 LD 的损耗系数差 $\Delta\alpha$, 其值为

$$\Delta\alpha = \ln[\eta]/2L = \ln\{T_{\text{eff}}(\lambda_0)/T_{\text{eff}}(\lambda_0 \pm \delta\lambda)\}/2L \quad (4)$$

对于 $L = 200 \mu\text{m}$ 的 LD, $\delta\lambda = 1.2 \text{ nm}$, 由(1)、(4)式可知 $\Delta\alpha = 13.8 \text{ cm}^{-1}$ 。该值远大于两相邻模式间的增益系数差,因而可用窄带滤光片作为外腔半导体激光器的调谐元件,实现宽带调谐。

3 实验结果

用一端面镀制了 SiO_2 减反膜的激光二极管作为外腔调谐半导体激光器的增益介质,它同显微物镜、全反镜、窄带滤光片一起构成可调谐的外腔式半导体激光器。镀前 LD 阈值 I_{th} 约 29 mA, 镀后阈值 I_{th} 约 56 mA。考虑到镀膜后 LD 工作在偏置电流为 61.8 mA 时,增益介质对 1265.0~1295.0 nm 之间的纵模有较强的增益,并且滤光片的峰值透射波长随光入射角度增大而减小,因而我们选用了中心波长 ($\lambda_0 \sim 1292.3 \text{ nm}$) 接近介质增益长波端的窄带滤光片,它的峰值透射率为 50%,半宽度为 4.0 nm。实验得到了一组单模振荡输出,在 19.2 nm 范围内实现了不连续宽带调谐,见图 2。与用光栅调谐的外腔式半导体激光器相比,由于窄带滤光片对反馈光的损耗较大,构成的外腔式半导体激光器的阈值较高,调谐范围小。

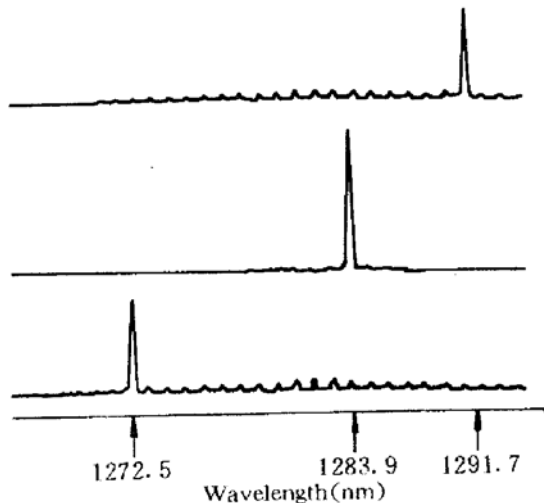


Fig. 2 Tunable output wavelength from an ECSL at $I = 61.8 \text{ mA}$ using a narrow-band filter as the tuning element

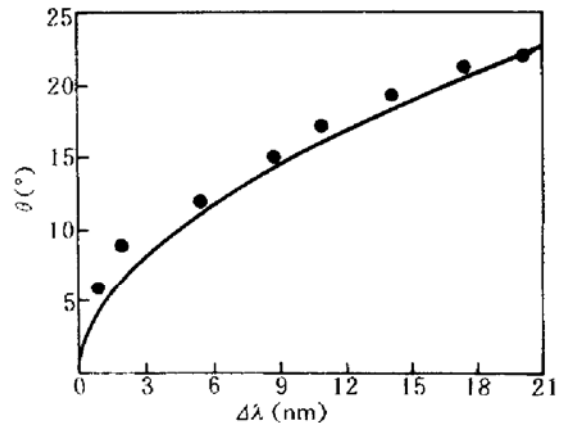


Fig. 3 Oscillating wavelength varies ($\Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda$) with tilting angle (θ) of the filter

采用(1)式拟合的窄带滤光片的峰值透射波长随滤光片倾斜角度增大向短波方向移动,如图 3 中的实线所示,如果窄带滤光片的峰值透射波长与 LD 的某个纵模波长重合,那么激光器的输出波长就为此纵模波长。“·”代表实测值,随角度的增大,输出波长向短波长移动。考虑到测量系统的误差,理论和实验符合得很好。

参 考 文 献

- 1 S. Murata, I. Mito. Frequency-tunable Semiconductor Laser. *Opt. and Quant. Electr.*, 1990, 22(1): 1~15
- 2 H. A. Macload. Tuning Value Monitoring of Narrow-band all-Dielectric Thin Film Optical Filters. *Opt. Acta*, 1972, 19(1): 1~28
- 3 H. A. Macload. Absorption in Tuning Value Monitoring of Narrow-band Thin Film Optical Filters. *Opt. Acta*, 1973, 20(7): 493~508

- 4 H. A. Macload. The Effect of Errors in the Optical Monitoring of Narrow-band All-dielectric Thin Film Optical Filters. *Opt. Acta*, 1974, 21(6) : 429~443

An External Cavity Semiconductor Laser Using a Narrow-band Filter as the Tuning Element

Fan Weixing Chen Jianguo Lu Yucun Wu Zhengmao

(*Opto-electronics Department, Sichuan University, Chengdu 610064*)

Abstract Numerical fitting reveals that the transmitting function of the filter used in this work can be described by the product of a Lorentzian function and the standard transmitting function of the filter. Using this filter as the tuning element of an external cavity semiconductor laser, a tuning range of ~ 20 nm from 1272.5 nm to 1291.7 nm has been achieved.

Key words semiconductor laser, filter, tunable laser

《中国学术期刊文摘》出版消息

《中国学术期刊文摘》由中国科协主管,中国科协学会部主办,是全国唯一的综合性科技文摘刊物。内容包括数理科学和化学;天文学、地球科学;生物科学;医药卫生;农业科学;工业技术;交通运输;航空、航天;环境科学及交叉学科、边缘学科和新兴学科的最新研究成果与进展。特别重点摘录与国家自然科学基金、863 计划、星火计划等接轨的研究课题,能快速有效地为我国科学研究的领导决策提供科技信息,以促进我国科学事业和国民经济更快更好地发展。该刊为季刊,1994 年第四季度创刊,现征集订户,请向中国科协学会部期刊处索订单。

地址:三里河中国科学技术协会学会部期刊处《中国学术期刊文摘》编辑部

邮编:100863