

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0209-03

光纤环形腔激光器中光纤耦合分光比的配置*

潘 炜¹ 张晓霞² 罗 斌¹ 陈建国¹

(¹ 西南交通大学计算机与通信工程学院, 成都 610031)
(² 电子科技大学光电子技术系, 成都 610054)

提要 基于光纤环形腔半导体激光器(FRSLs)的行波速率方程,导出了出光端面光子流密度与器件参数的解析式。依据分光比可按需选择和配置的特点,确定了阈值电流、外量子效率和输出功率与光纤耦合分光比、耦合系数间的关系。引入最佳耦合分光比,优化和调控环形腔的损耗、输出功率,获得了与实验相吻合的结果。

关键词 半导体光放大器, 环形腔, 耦合分光比, 耦合效率

中图分类号 TN248.4 文献标识码 A

Splitting Ratio of Configuration for Fiber Ring Semiconductor Lasers

PAN Wei¹ ZHANG Xiao-xia² LUO Bin¹ CHEN Jian-guo¹

(¹ Institute of Computers and Communications Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)
(² Department of Optoelectronic Technology, University of Electronic Science and Technology, Chengdu 610054)

Abstract Dependence between the output properties and device parameters of FRSLs (fiber ring semiconductor lasers), including on splitting ratio and coupling coefficient, was investigated using the rate equations. An analytical expression for position-dependent photon flux in FRSLs is deduced. The experimental results are compared with theoretical simulations, in order to select and configure an appropriate splitting ratio. The analysis confirms that there is an optimum splitting ratio to trade off between the threshold current and output power. As the results well show, the excellent agreement between simulation and experiment was obtained.

Key words semiconductor optical amplifier, ring cavity, splitting ratio, coupling coefficient

1 引言

由于光纤环形腔半导体激光器(FRSLs)的增益介质,半导体光放大器(SOA)具有非线性系数高,光波导色散低,注入载流子寿命短,各种弛豫时间短的特点,使得相关的研究工作得到一定程度上的关注^[1~3]。但是,在FRSLs中,尤其是耦合分光比、SOA与光纤的耦合效率问题,涉及到环形腔传输特性、互连耦合及综合调谐输出特性的优化,尚未得到仔细地描述。同样,在光纤通信系统或光纤测试中,无论是制备过程还是实验研究,耦合效率是难以控制和一致性的,而耦合分光比却容易达到设计要求。为此,如何合理地配置分光比,对于获得高质量的环形谐振腔是至关重要的。

本文基于前期的研究工作^[3~6],由简化行波速

率方程模型,导出了有源区内载流子密度、出光端面光子流密度与环形腔结构参数的解析关系,模拟并分析了光纤耦合分光比、耦合系数对于FRSLs阈值电流、外量子效率和输出功率等物理参数的影响。充分利用分光比可按需选择和配置的特点,针对不同的参数条件,确立最佳耦合分光比的位置,达到了控制环形腔损耗、输出功率的目的。

2 分析模型

FRSLs的结构如图1所示,由横截面积 A 、腔长 L 的SOA、光纤耦合器、光隔离器、偏振控制器和光滤波器构成^[4]。设光信号沿SOA轴线(z 方向)传播。光路中耦合器起着正反馈作用,对于 Y 型(1×2)光纤耦合器,分光比 k 常用馈入光纤环的功率相对于总功率的百分比来表示,与驻波腔腔镜的反射系数类似;部分光经耦合器输出,又起着输出端镜

* 国家自然科学基金(10174057)资助课题。

的作用。FRSLs 损耗主要出现在增益介质与成型光纤间,芯片端面($z=0$ 和 $z=L$)的耦合系数分别用 η_1, η_2 表示。考虑到放大介质的横截面内载流

子的均匀分布,模型简化为一维问题,则单模行波激光器的速率方程组可写为^[3]

$$\frac{\partial N(z,t)}{\partial t} = \frac{I}{eAL} - \frac{N(z,t)}{\tau} - g(z)[S^+(z,t) + S^-(z,t)] \tag{1}$$

$$\frac{\partial S^+(z,t)}{\partial t} + \nu_g \frac{\partial S^+(z,t)}{\partial z} = \nu_g [\Gamma g(z) - \alpha] S^+(z,t) + \nu_g \beta \frac{N(z,t)}{\tau} \tag{2}$$

$$\frac{\partial S^-(z,t)}{\partial t} - \nu_g \frac{\partial S^-(z,t)}{\partial z} = \nu_g [\Gamma g(z) - \alpha] S^-(z,t) + \nu_g \beta \frac{N(z,t)}{\tau} \tag{3}$$

式中, $N(z,t)$ 为腔内 z 处的载流子密度, $S^+(z,t), S^-(z,t)$ 分别为沿顺、逆时针方向传播的光子流密度,其他参数的含义与文献中一致,由于光隔离器的设置,环形腔中的光波单向传输,故方程可进一步简化^[5],为方便起见,器件的插入损耗纳入耦合系数中,利用边界条件 $S(0) = S(L)k\eta_1\eta_2$, 求解方程后,可得出光端面($z=L$)处的光子流密度 $S(L)$ 的解析关系

$$S(L) = \frac{G(1-Y)}{a\alpha\tau(1-Yk\eta_1\eta_2)} \tag{4}$$

其中,

$$\left. \begin{aligned} Y &= \exp\left\{-\frac{\alpha[GL + \ln(k\eta_1\eta_2)]}{G + \alpha}\right\}, \\ G &= a\Gamma(N_p - N_0) - \alpha, \\ N_p &= I\tau/eAL \end{aligned} \right\} \tag{5}$$

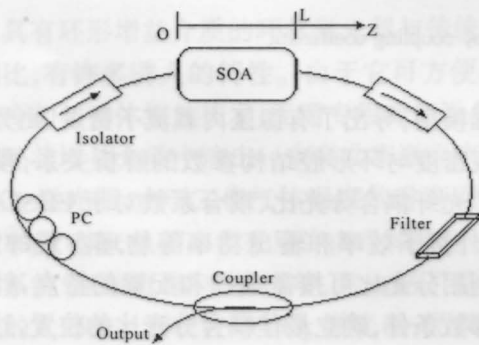


图1 FRSLs 的基本结构示意图
Fig.1 Schematic diagram of system frame FRSLs

3 模拟结果

3.1 耦合分光比对输出特性的影响

理论模拟参数值参见文献[3,5],图2 分别就分光比 $k=0.3, 0.6$ 和 0.9 情形,给出了 FRSLs 的输出特性曲线,而输出功率随分光比的变化曲线如图3所示。由图可见,分光比对激射阈值、输出功率和外量子效率等物理量均有着不同的影响。结果表

明,阈值电流随分光比的增大而降低,但外量子效率却随之降低。对于确定的偏置电流(90 mA, 70 mA 和 50 mA 情形),有一个最佳的耦合分光比位置,使输出功率有单极大值,而且这一位置随偏置电流的增大逐渐向左移动(即分光比逐渐减小)。

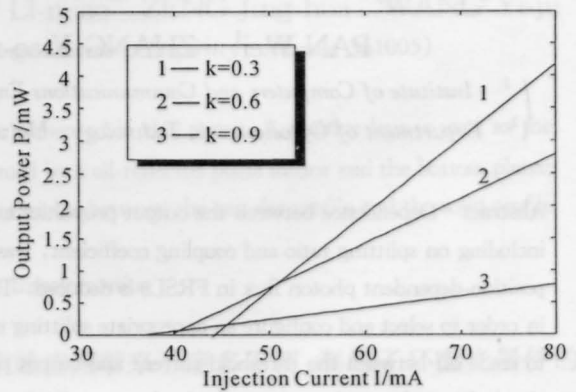


图2 FRSLs 的输出特性曲线
Fig.2 The P-I curve of FRSLs

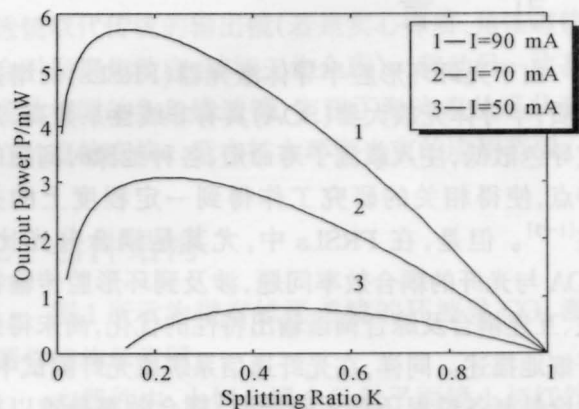


图3 输出光功率随分光比的变化曲线
Fig.3 Output power against splitting ratio

这里定义最佳耦合分光比为 k_{opt} , 可用于调控 FRSLs 的损耗、输出功率。图4 为最佳耦合分光比随偏置电流的变化曲线,进一步说明,在通常的抽运范围内,高注入电流工作状态下,选择较小的分光

比,将有利于获得更高的外量子效率,亦有高的提取效率。

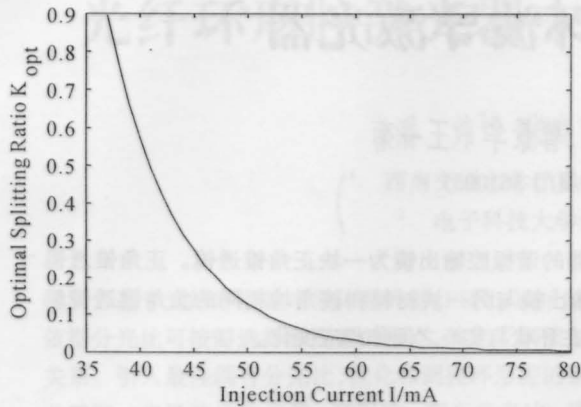


图 4 最佳分光比随注入电流的变化曲线

Fig. 4 Optimum splitting ratio against injection current

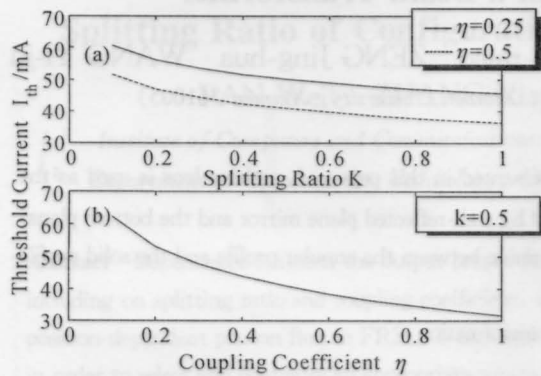


图 5 阈值电流随分光比、耦合系数的变化曲线

Fig. 5 Threshold current against splitting ratio and coupling coefficient

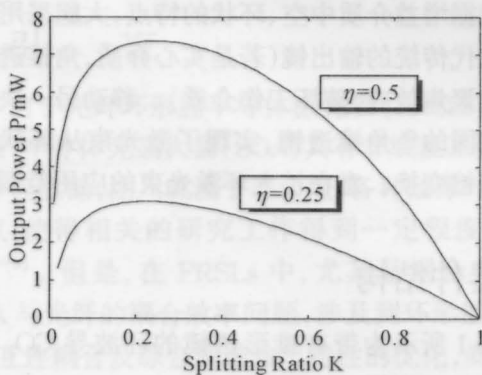


图 6 耦合系数对输出功率影响

Fig. 6 Output power against coupling coefficient

3.2 耦合系数对输出特性的影响

图 5 比较了阈值电流随分光比、耦合系数的变化,而图 6 为输出功率随耦合系数的变化。由图可见,低分光比区域,耦合系数对阈值的影响更为明显,提高耦合效率对降低激射阈值至关重要。增加耦合系数除了可提高输出功率这一明显的结果外,同时曲线的两翼也得到拓宽,峰值右移,这更有利于分光比的控制。

研究结果表明:

1) 阈值电流随分光比的增大而降低,但外量子效率却随之降低,输出功率的优化可以通过提高耦合系数和降低来自内腔元件的损耗来达到;

2) 对于确定的偏置电流,FRSLs 存在一个最佳的分光比位置,过大或过小的分光比,都无法满足低阈值电流和高输出功率要求;

3) 高注入状态下,应考虑选择较小的分光比值,而在低分光比值区域耦合系数对阈值的影响更为明显;

4) 随着耦合系数的增加,输出功率与分光比曲线的两翼得到拓宽,更有利于分光比的控制。事实上,上述结果对于其他类型的环形腔也是适用的,具有一定的扩展性。

参 考 文 献

- 1 Z. G. Lu, S. A. Boothroyd, J. Chrostowski. Tunable wavelength conversion in a semiconductor-fiber ring laser. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(7):806~808
- 2 T. Papakyriakopoulos, K. Vlachos, A. Hatziefremidis *et al.*. 20-GHz broadly tunable and stable mode-locked semiconductor amplifier fiber ring laser. *Opt. Lett.*, 1999, **24**(17):1209~1211
- 3 H. Lu, B. Luo, W. Pan *et al.*. Tunable output power varying with the splitting ratio of a coupler from a fiber ring semiconductor laser. *Appl. Opt.*, 1999, **38**(9):1764~1766
- 4 潘 炜, 罗 斌, 吕鸿昌等. 半导体环形腔激光器输出特性理论与实验. *半导体光电*, 1999, **20**(1):69~71
- 5 潘 炜, 张晓霞, 罗 斌等. 半导体光纤环形腔激光器调谐输出特性研究. *光电子·激光*, 2001, **12**(5):446~450
- 6 B. Luo, H. Lu, W. Pan. Dynamic wavelength tuning of a fiber ring semiconductor laser. *Chinese J. Lasers B*, 1998, **B7**(1):213~216