

半导体光纤环形腔激光器调谐特性的实验研究*

潘 炜 张晓霞 罗 斌 吕鸿昌

陈建国

(西南交通大学计算机与通信工程学院, 成都, 610031) (四川大学光电系, 成都, 610064)

摘要: 采用国产半导体器件, 组建了半导体光纤环形腔激光器(FRSLs)的实验装置及相应的测试系统, 系统地研究了 FRSLs 的输出和调谐特性。结果表明, 已实现高速调制情况下的动态单纵模调谐, 并获得波长调谐范围大于 36nm 的稳定光脉冲输出。确立了 FRSLs 的阈值特性、输出功率等物理参量与振荡波长之间的关系, 提出通过控制分光比来优化和兼顾 FRSLs 的调谐范围及输出功率。实验结果较好地与理论模拟结果相吻合, 为进一步改善 FRSLs 的性能指标提供了实验依据。同时, 这些分析与结论对于相关结构类型的激光器设计也具有一定的参考价值。

关键词: 半导体光放大器 光纤环形腔 波长调谐 耦合分光比

Tuning characteristics of fiber ring semiconductor lasers

*Pan Wei, Zhang Xiaoxia, Luo Bin, L Hongchang, Chen Jianguo**

(Dept. of Computers & Communications Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

(* Dept. of Optoelectronics, Sichuan University, Chengdu, 610064)

Abstract A novel approach to achieve single frequency, widely tunable semiconductor laser oscillation is put forward. One appropriate candidate is a fiber ring semiconductor laser(FRSLs) with a semiconductor gain medium and an external cavity. The threshold current and output power with tuning wavelengths of FRSLs is experimentally studied. The singlemode oscillation is demonstrated and dynamic tuning of FRSLs is realized. The output optical pulses have been tuned over a wavelength range of 36nm. The analysis confirms that there is an optimum coupler splitting ratio to trade off between wavelength tuning width and output power. The experimental results are consistent with theoretical simulation results.

Key words: semiconductor optical amplifier fiber ring cavity wavelength tuning coupler splitting ratio

* 国家自然科学基金资助项目。

的光斑图像, 这和前面的分析、计算结果是一致的。当然, 在实验过程中, 大气能见度很差、地平面的激光能量衰减很严重, 是影响我们成像系统探测性能的重要因素。

参 考 文 献

- 1 祖耶夫 B E, 卡巴诺夫 M B. 光信号在地球大气中的传输. 北京: 科学出版社, 1987: 52
- 2 张承铨. 国外军用激光仪器手册. 北京: 兵器工业出版社, 1989: 1
- 3 向世明, 倪国强. 光电子成像器件原理. 北京: 国防工业出版社, 1999: 40
- 4 王庆有, 孙学珠. CCD 应用技术. 天津: 天津大学出版社, 1993: 7
- 5 张以谟. 应用光学. 北京: 机械工业出版社, 1987: 135

作者简介: 安晓强, 男, 1971 年出生。硕士, 工程师。主要从事光学设计、激光光斑监测等方面的研究。

引 言

有关半导体光纤环形腔激光器(FRSLs)的研究,可追溯到1986年, Jopson 等人首次提出这种以半导体光放大器(SOA)作为增益介质的光纤环形腔激光器结构的雏形^[1]。90年代以来,就如何充分发挥SOA本身的优势(如在高非线性系数、高转换速率、直接电驱动、良好的增益和增益调制特性、结构紧凑便于光电子集成等方面)的研究工作,在一定程度上引起了人们的关注^[2,3]。值得庆幸的是,随着人们对全光波长转换技术的广泛关注,FRSLs的应用也初见端倪,例如利用FRSLs产生增强型二次谐波的研究;实现近无弛豫振荡的调谐锁模的研究;以及在非简并四波混频中,实现可调谐波长转换的研究^[4~6]。不仅如此,与其它器件组合构成复合型FRSLs的报道相继出现^[7],这些都预示着FRSLs将在光通信中发挥作用,有可能进一步拓宽这种基于SOA的FRSLs的研究和应用领域。作为面向未来带宽、高速传输系统的光源,FRSLs的波长调谐特性乃是工程上主要关心的问题之一。迄今为止,在已报道的各种光纤环形腔激光器中,以掺铒光纤作为增益介质的理论和实验研究较为普遍,而有关FRSLs的研究相对薄弱。我们已从理论上导出了FRSLs光子流密度分布的解析表达式,并获得了其调谐输出参量与器件参数之间的依赖关系^[8]。在此基础之上,报道了FRSLs调谐特性的实验研究结果,实现了高速调制情况下的动态单纵模调谐,获得波长调谐范围大于36nm的动态调谐,并使文献[8]中的理论分析结果得到验证。

1 实 验

FRSLs的动态单纵模调谐实验装置及相应的测试系统如图1所示,其中虚线框内为FRSLs,它由SOA、光纤耦合器(fiber coupler)、可调谐光滤波器(tunable filters)、光隔离器(optical isolator)、偏振控制器(polarizer)和单模光纤等构成。这里,光纤耦合器的一路作为反馈支路,并构成环形谐振腔,另一路作为输出端。

FRSLs的工作原理与一般集总型激光器大体相同,但由于隔离器的设置,使得激光器工作在行波状态。实验中,既可通过调节选模元件实现波长的调谐,又可通过改变光纤耦合分光比来控制环形腔的损耗和输出功率,从而达到控制FRSLs工作状态的目的。同时,我们利用自行设计的计算机接口电路^[9],控制步进马达实现动态连续扫描,从而保证了测试系统的稳定性,避免了波长扫描过程中易出现的不连续问题。所采用的SOA和光滤波器等元器件均由武汉电信器件公司提供,主要器件性能参数指标:SOA腔长350 μ m,工作波长1310nm,纤纤增益约为18dB、带宽45nm(偏置电流67mA),其端面剩余反射率估计在 10^{-4} 数量级。光纤耦合器的附加损耗为0.12dB,分光比误差 $\pm 2\%$ 。光隔离器的峰值隔离度大于42dB,插入损耗0.4dB,回波损耗大于50dB。滤波器的调节幅度40nm(free spectral range, FSR),波长调谐范围1290~1330nm,带宽3nm,分辨率0.5nm,中心波长透过率50%。光纤活动连接器的典型插入损耗 ≤ 0.3 dB。

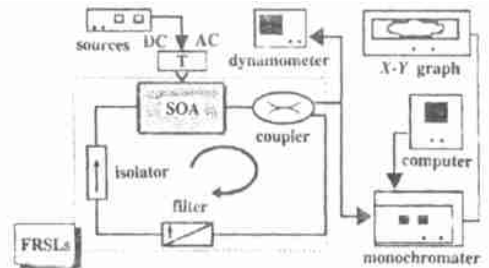


Fig. 1 Experimental setup for tuning output of the FRSLs

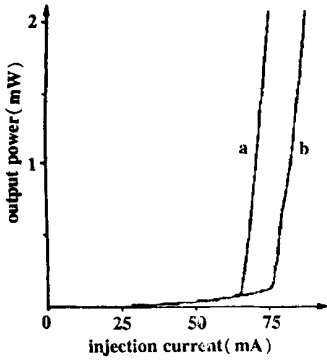


Fig. 2 Current-light characteristic of the FRSLs at different tuning wavelength
a - $\lambda = 1312\text{nm}$ b - $\lambda = 1294\text{nm}$

2 结 果

2.1 阈值特性与振荡波长的关系

FRSLs 的输出特性曲线如图 2 所示, 其调谐波长分别为 1312nm 和 1294nm。由图可见, 对应于不同的振荡波长, 不仅激光器的阈值不同, 而且外量子效率也略有变化。为了清楚起见, 图 3 中给出了 FRSLs 阈值电流随振荡波长变化的实验拟合结果以及理论模拟曲线, 其中星号为实测的数据点, 实线为实验数据的二次多项式拟合结果, 虚线为理论模拟曲线。

显然, 振荡波长相对于中心波长(最低阈值电流处所对应的波长值, 理论值为 1310nm)的任何偏离都将导致激光

器阈值电流的增加, 且随着偏离量的增大, 阈值电流的变化幅度也相应地增加。这里, FRSLs 的最低阈值电流位于 66mA 处的谷底, 它所对应的振荡波长值为 1312nm。从物理机制而言, 之所以导致这一结果, 是因为 FRSLs 的增益由 SOA 提供, 而 SOA 的增益又依赖于波长, 当调谐在不同的振荡波长时, FRSLs 将具有不同的阈值电流。实验结果表明, 对于自由光谱范围为 40nm 的可调谐滤波器, 通过控制 SOA 注入电流, 便可获得调谐范围大于 30nm 的调谐, 这一结果与理论模拟分析结果较好地相吻合。

2.2 输出功率随振荡波长的变化

利用单色仪和 X-Y 记录仪, 记录 FRSLs 的激

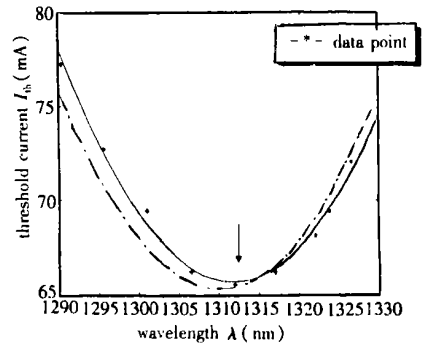


Fig. 3 The experimental and simulation results: variation of threshold current with tuning wavelength

光光谱。通过 T 型匹配电路控制直流偏置, 可观察到, 随着偏置电流与阈值电流之差的增加, 谱宽逐渐变窄, 纵模数减少。与此同时, 若配合调谐带通滤波器, 可使 FRSLs 运行在单纵模状态, 如图 4 所示。可见, 光输出的相对强度随振荡波长的位置而变, 在不同的调谐波长下, 激光输出功率被集中在主模上, 边模抑制达到 30dB, 输出激光的空间模式为基横模^[10]。

实际操作中, 为了反映出输出功率与波长调谐范围关系, 我们控制滤波器在其调节范围内扫描, 所获得的一系列测试结果如图 5 所示, 实线为实验数据的拟合结果, 虚线为理论模拟曲线。图中直流偏置, 调谐波长的起点是 1290nm, 终点是 1330nm。从 FRSLs 输出功率谱线外包络的数据采样拟合结果

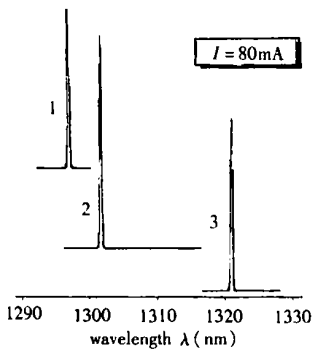


Fig. 4 Power spectrum of the output, where $\lambda_1 = 1297\text{nm}$, $\lambda_2 = 1302\text{nm}$, $\lambda_3 = 1321\text{nm}$

可以看出, 已获得 3dB 输出功率带宽大于 36nm 的单纵模调谐。其它直流偏置情形, 也得到类似的一系列输出功率谱, 输出功率随着偏置电流的增加而增大。

这里,调谐范围的上下限主要依赖于 SOA 的增益带宽和滤波器的自由光谱范围。值得注意的是,图 3 和图 5 中,曲线在两端处是不对称的,这是因为 SOA 的增益谱随直流偏置电流变化所致,即随着直流偏置电流(载流子密度)的增加,峰值增益波长向短波方向移动,使得短波长端的输出功率大于长波长端的输出功率。同时,与文献[2]中报道的结果(调谐范围 28nm)相比,我们的实验装置结构相对简单,不仅实现了动态单纵模调谐,而且获得了较宽的波长调谐范围。但是由于目前器件本身的因素,FRSLs 的总损耗较大,导致阈值相对较高。

2.3 调谐范围和输出功率随分光比的变化

在确定的偏置电流下,最大输出功率与调谐范围

存在一定的连带关系。如图 6 所示,曲线 A 和 B 分别给出了 FRSLs 调谐范围和输出功率随耦合分光比的变化结果,左边的纵坐标为波长调谐范围,右边为输出功率。这里,分光比定义为反馈会光功率相对于总功率的百分比。

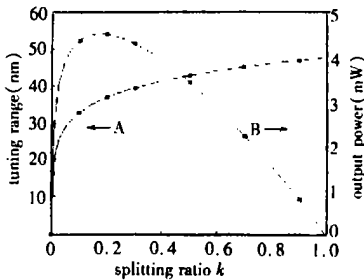


Fig. 6 Dependence of the splitting ratio on wavelength tuning range (curve A) at left and output power (curve B) at right

由曲线 A 可见,较大的分光比对应于更宽的调谐范围,因为随着分光比的增加,反馈量增加,阈值降低,使得调谐范围增大。但是这种对应关系并非线性变化,在分光比较小处,调谐范围变化明显;而在分光比较大处,变化趋于平缓。而在曲线 B 中,输出功率存在极大值^[11],它是由耦合器的分束作用而引起的,即随着分光比增加,FRSLs 的阈值电流减小,环形腔损耗减小,有利于提高输出功率;倘若继续增加分光比,相应的反馈量也增加,分束作用又将导致输出功率的降低。这进一步证实,实验上可通过优化分光比来兼顾(或折衷)FRSLs 的调谐范围及输出功率。

参 考 文 献

- 1 Jopson R M, Eisenstein G, Whalen M S *et al.* A P L, 1986; 48(3): 204
- 2 Porte H, Frison T, Mollier P *et al.* IEEE Photon Technol Lett, 1995; 7(7): 700
- 3 Zhou D, Prucnal P R, Glesk I. IEEE Photon Technol Lett, 1998; 10(6): 781
- 4 Xu C Q, Shinozaki K, Okayama H *et al.* A P L, 1996; 69(15): 2154
- 5 Dong H K, Sang H K, Young M J *et al.* IEEE Photon Technol Lett, 1999; 11(5): 521
- 6 Lu Z G, Boothroyd S A, Chrostowski J. IEEE Photon Technol Lett, 1999; 11(7): 806
- 7 Papakyriakopoulos T, Vlachos K, Hatziefremidis A *et al.* Opt Lett, 1999; 24(17): 1209
- 8 Lu H, Luo B, Pan W *et al.* Appl Opt, 1999; 38(9): 1764
- 9 罗 斌, 吕鸿昌, 杨新民 *et al.* 高技术通讯, 1997; 7(8): 49
- 10 Luo B, Lu H, Pan W *et al.* Chinese J of Lasers B, 1998; B7(1): 213
- 11 潘 炜, 罗 斌, 吕鸿昌 *et al.* 半导体光电, 1999; 20(1): 69

*

*

*

作者简介:潘 炜,男,1959年12月出生。博士,副教授。现从事半导体激光器与光通信的研究。

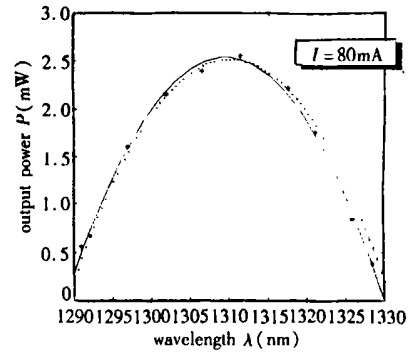


Fig. 5 The experimental and simulation results: variation of laser output with tuning wavelength