

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0364-03

波长可调谐掺铒光纤激光器的特性研究

李云娜¹ 胡鸿璋¹ 耿凡²

(¹ 天津大学理学院应用物理系, 天津 300072
² 中国航天机电工业总公司津航技术物理研究所, 天津 300192)

提要 随着波分复用技术的日趋实用化, 波长可调谐激光器作为实现 WDM 系统的必要器件, 优化其性能, 简化其结构有着重要意义。结合掺铒光纤放大器、不依赖于偏振的声光可调谐滤波器等器件, 提出一种新型的线性腔波长可调谐掺铒光纤激光器结构。从理论上, 详细地分析了这种激光器的输出特性, 以及影响激光器输出特性的因素。在此基础上, 提出改善激光器性能的方法。

关键词 掺铒光纤, 声光可调谐滤波器, 抽运阈值, 斜率效率

中图分类号 TN248 **文献标识码** A

Research on the Characteristics of Wavelength Tunable Er³⁺-Doped Fiber Laser

LI Yun-na¹ HU Hong-zhang¹ GENG Fan²

(¹ Department of Applied Physics, Tianjin University, Tianjin 300072
² 8358 Institute Third Academy, CASC, Tianjin 300192)

Abstract As the technology of WDM is practicality, the wavelength tunable laser becomes the key component of WDM. Then it is important to optimize its property and simplify its structure. In this paper, a new type of laser structure by using EDFA (Er³⁺-Doped Fiber amplifier) and AOTF (acousto-optical tunable filter) is demonstrated. Theorilly, the output characteristic of such laser is analyzed, as the same time, the factor which effect the output characteristic of laser is also analyzed. Base on the analysis, some method to improve the property of laser are proposed.

Key words Er³⁺-Doped Fiber, acousto-optical tunable filter, the value of pump threshold, slope efficiency

1 引言

波长可调谐光纤激光器在波分复用光纤通讯等领域有着重要应用。本文利用我们已经研制成功的不依赖于偏振的声光可调谐滤波器(AOTF)作为调谐元件, 提出一种新型的线性腔的波长可调谐掺铒光纤激光器。这种激光器的结构简单, 调谐范围可达 60 nm, 而且调谐速度快, 调谐非常方便。另外, 这种激光器还具有同时输出多波长的潜力。

2 结构模型

波长可调谐掺铒光纤激光器的结构如图 1 所示。主要由以下几部分组成: 抽运源、激光器前端反射镜 R₁、增益器件 EDFA、调谐器件 AOTF 和激光器后端反射镜 R₂。

因为光波长为 980 nm 光波抽运的掺铒光纤激

光器具有增益系数高, 噪声系数低的优点。所以我们选用 980 nm 的激光二极管作为抽运源。掺铒光纤的一端镀有对 980 nm 波长光高透, 对 1550 nm 波长光高反的多层介质膜, 即激光器前端反射镜 R₁。这样 980 nm 抽运光被耦合入光纤, 通过掺铒光纤谐振腔, 激起 1550 nm 波长附近的信号光, 并不断增益放大。在图 1 的结构中, 掺铒光纤放大器(EDFA)主要作为波长可调谐激光器的谐振腔, 使波长在 1550 nm 左右的光波在 EDFA 中来回振荡, 所以 EDFA 结构较之在其他领域中的应用要简单的多, 实际上我们所需要的只是一根有最佳光纤长度的掺铒光纤(EDF)来放大信号光。

图 1 中, 调谐器件 AOTF 主要有两部分组成: TE/TM 模分离器^[1]和 TE/TM 模转换器^[2,3]。信号光由模分离器的一个分支进入器件, 经过模分离器后, 两分支中的一条只存在 TE 模, 另一条只存在

TM模。在声光相互作用区域,满足相位匹配的条件下,存在TE模的分支光波经过模转换后转换为TM模;存在TM模的分支光波经过模转换后转换为TE模。再经过另外一个模分离器,滤出的光波由一个分支出射,进入下一级滤波器中。这样信号光通过AOTF的波长选择,实现激光器信号光的波长调谐。由于在声光相互作用过程中,不可避免的

伴随光波长的微小改变^[4],而为了使信号光在谐振腔中不断放大以实现激光输出,必须保持其波长的稳定性,所以在设计的激光器光路中,我们用两级滤波器来补偿波长的改变。这样当信号光在谐振腔内来回振荡一次,保持了波长的稳定性,能够实现增益放大,加之AOTF的波长选择能力,则可得任意波长的光波,最终由激光器后端反射镜 R_2 输出。

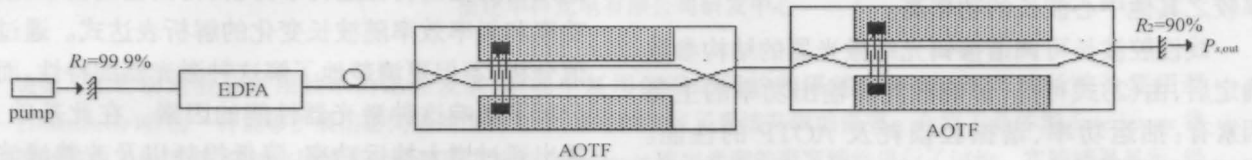


图1 波长可调谐掺铒光纤激光器的结构示意图

Fig.1 Structure of wavelength tunable Er^{3+} -doped fiber laser

3 理论分析

利用线性腔掺铒光纤激光器及可调谐滤波器的滤波特性,分析图1激光器的输出特性。

图1中所示结构,反射镜 R_1 的反射率为 $r_1 = 99.9\%$,反射镜 R_2 的反射率为 $r_2 = 90\%$,光纤与波导间的耦合损耗为 ϵ_1 。因为AOTF对不同波长的透过率不同,相当于对不同波长损耗不同,因此,单

级AOTF的损耗可以写成如下形式

$$\epsilon_2 = \epsilon_0 T(\lambda)$$

其中 ϵ_0 为波导损耗, $T(\lambda)$ 为AOTF的透过率。则激光腔的单程损耗因子可以写成

$$\delta = -\frac{1}{2} \ln[r_1 \epsilon_1^2 \epsilon_0^2 T^2(\lambda) r_2] = -\ln[R(\lambda)] \quad (1)$$

众所周知,当激光器实现稳态工作时,激光器的增益与谐振腔的损耗相等,可得输出功率为^[5]

$$P_s^{\text{out}} = \frac{\lambda_p}{\lambda_s} \frac{P_{s,\text{sat}} \sqrt{r_1 \epsilon_1^2 (1-r_2) \epsilon_0 T(\lambda)}}{[1-R(\lambda)] [\sqrt{r_1 \epsilon_1^2} + \sqrt{r_2 \epsilon_0^2 T^2(\lambda)}]} \left\{ \frac{P_p^{\text{in}}}{P_{p,\text{sat}}} \{1 - \exp[-\psi(\lambda)]\} - \alpha_p L + \psi(\lambda) \right\} \quad (2)$$

其中

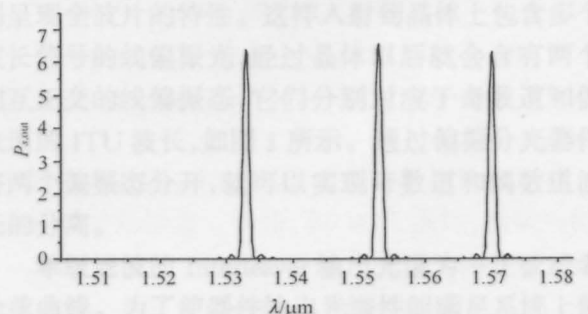
$$\psi(\lambda) = \frac{\alpha_p \{g(\lambda)L + \ln[R(\lambda)]\}}{g(\lambda) + \alpha(\lambda)}$$

式中 $g(\lambda)$ 、 $\alpha(\lambda)$ 分别为掺铒光纤的增益、衰减系数, α_p 为掺铒光纤的抽运吸收系数,增益系数和衰减系数均为信号光波长的函数, P_p^{in} 为抽运功率, $P_{p,\text{sat}}$ 为抽运光的饱和功率。

4 数值分析

由(2)式可见,波长可调谐掺铒光纤激光器的输出特性是随波长变化的,这是由调谐器件AOTF的特性决定的。由于滤波器使满足位相匹配条件的光波完全通过,而对其他波长的光波有抑制作用,相当于增加了其他波长光波的损耗,导致不满足位相匹配条件光波的抽运阈值升高,而激光器总是工作在阈值最小的波长上,因此形成窄线宽的激光输出。

如图2,我们计算了中心波长(满足位相匹配条件的光波)分别为1533 nm,1553 nm及1570 nm激光输出随波长的变化。这里抽运功率为40 mW。由图可见,不同中心波长激光输出稳定。这是因为AOTF具有很宽的调谐范围,因此构造的线性腔激光器可以在很宽的范围内调谐。一般的来说,该种结构的激光器的调谐范围可达60 nm左右。



2 激光器的输出特性

Fig.2 Output characteris of laser

但从图 2 中可见,中心波长为 1553 nm 时,输出功率为 6.7 mW,而中心波长为 1533 nm 和 1570 nm 时输出功率有所下降,分别为 6.4 mW 和 6.3 mW。造成这种微小差别的原因是在给定抽运功率,给定波长下,对于三能级激光器,要使其输出功率最大,掺铒光纤存在一个最佳长度。图 2 中计算结果是在光波波长 1553 nm 时光纤长度为最佳,因此它的功率较之其他中心波长的功率高。

线性腔波长可调谐掺铒光纤激光器的结构参数确定后,由(2)式可见,影响激光器输出功率的主要因素有:抽运功率、谐振腔损耗及 AOTF 的性能。下面我们分别讨论这三种因素对输出功率的影响,从而得出改善激光器性能的方法。

由(2)式可见,输出特性与抽运功率成正比,因此随着抽运功率的增加,激光器的输出功率加大,线宽变窄。因此有效的提高抽运功率是改善激光器输出的方法。

我们知道,损耗对激光器的输出特性有重要影响,在线性腔波长可调谐掺铒光纤激光器中主要有三种损耗。即耦合损耗,调谐器件 AOTF 的波导损耗,反射镜的透射及镜面材料的吸收和散射造成的损耗。计算显示,损耗减少,可使激光器的输出功率加大,线宽变窄。

另外,作为调谐器件 AOTF,其性能对激光器的输出特性也有重要影响。前面我们所得的结果均是在采用共线型声光可调谐滤波器的情况下。改进滤波器性能,例如,采用准共线型声光可调谐滤波器作为激光器的调谐器件,因为该种滤波器较之共线型滤波器,具有低旁瓣,窄带宽的优点。所以,利用准共线型 AOTF 可以使激光输出明显改进。

实际上,通过调节抽运功率、降低损耗以及改善

滤波器性能等方式,计算显示,可以将激光输出的 3 dB 线宽减少至 0.1 nm。这一点在密集波分复用 (DWDM) 网络中有重要意义。

5 结 论

从理论上对新型的线性腔波长可调谐掺铒光纤激光器的输出特性进行了分析,得出输出功率、抽运功率和斜率效率随波长变化的解析表达式。通过数值分析,不但更清楚地了解这种激光器的特性,而且分析了影响这种激光器性能的因素。在此基础上,提出通过增大抽运功率、降低损耗以及改善滤波器性能等方式,来改进波长可调谐掺铒光纤激光器的输出特性。

参 考 文 献

- 1 L. Bersiner, U. Hempelmann, E. Strake. Numerical analysis of passive integrated-optical polarization splitters: Comparison of finite-element method and beam-propagation method results. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1991, 8(2): 422~433
- 2 H. Z. Hu, S. D. Ling. *Principles of Applied optics*. chap 5, pulished by mechanical industry press, 1993. 168~210 (in Chinese)
- 3 T. Xue, F. Qi, H. Z. Hu. Development of Integrated Optical Acoustooptic Tunable Wavelength Filter. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2000, 20(8): 1095~1099 (in Chinese)
- 4 G. D. Boyd, F. Heismann. Tunable acoustooptic reflection filers in LiNbO₃ without a Doppler-shift. *J. Lightwave Technology*, 1989, 7(4): 625~631
- 5 Huang Zhijian, Sun Junqiang, Huang Dexue. Output characteristics of linear cavity erbium-doped fiber laser. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1996, 16: 1671~1675