

文章编号: 1001-3806(2003)05-0409-02

光纤喇曼激光器及多波长输出的分析*

杨先波 刘德明 黄德修

(华中科技大学光电子工程系, 武汉, 430074)

摘要: 为了优化设计光纤喇曼激光器的各项参数, 采用喇曼激光器的基本理论模型模拟分析了用 DCF 光纤做增益介质的光纤喇曼激光器的输出特性, 提供了激光器优化设计的方法; 通过改变光纤的长度和输出端面的耦合效率得到最优的激光输出; 以及改变泵浦功率时输出激光功率的变化情况; 并进一步分析了多波长的光纤激光器, 得到四波长输出的光纤激光器。

关键词: 受激喇曼散射; 光纤激光器; 龙格-库塔; DCF

中图分类号: O437.3; TN248.1 **文献标识码:** A

Analysis of fiber Raman laser and multi-wavelength lasers

Yang Xianbo, Liu Deming, Huang Dexiu

(Department of Optoelectronics, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: In order to optimize the design of fiber Raman laser, a fiber laser with DCF as gain medium under a simplified model and its output characters are analyzed. Some methods are put forward to optimize the design of fiber lasers. Laser output can be optimized with alterations of fiber length and output coupling coefficient, and the output power can be changed with alteration of pump power. Applying the model to the multi-wavelength lasers, four-wavelength lasers have been obtained.

Key words: SRS; fiber laser; Runge-Kutta; DCF

引言

受激喇曼散射是光纤中固有的一种非线性效应, 声学支声子吸收短波长的光子能量, 释放一个低能级的长波长光子。利用这种现象可以实现光纤喇曼放大器, 近来高反射率光纤光栅技术的成熟, 使得用光栅构成腔体形成光纤喇曼激光器成为可能, 可以实现高阶喇曼散射, 采用 $1.06\mu\text{m}$ 的泵浦, 能够实现 1480nm 输出几瓦的激光功率。比较适合于作为喇曼放大器和 EDFA 的泵浦源。用 $1.06\mu\text{m}$ 泵浦源泵浦石英光纤, 得到的三级 Stokes 散射位于 $1.24\mu\text{m}$ 附近, 可以作为 $1.3\mu\text{m}$ 波段放大器的泵浦源。

关于喇曼激光器的理论分析已有报道。这里采用文献 [1] 中给出的模型分析结合课题的情况, 采用 DCF 这种具有高喇曼增益系数的光纤做增益介质, 用 1342nm 的泵浦源实现位于 1426nm 波长附近的激光器, 分析了其阈值特性、输出耦合系数和泵浦效

率。

另外, 现在的 DWDM 系统需要做到平坦的超宽带宽, 需要多个波长的泵浦源, 如果每个波长上一个泵浦源甚至两个垂直偏振态的泵浦源采用偏振合波, 成本较高, 本文中用采用多个处于不同波长上的光栅对构成同时输出多个波长的光纤激光器。

1 理论模型及分析

这里采用 Fabry-Perot 腔, 结构如图 1。泵浦源

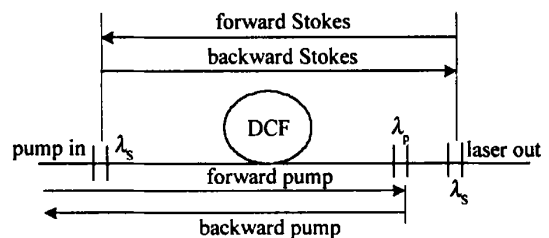


Fig. 1 Schematic diagram of fiber Raman laser

从一段泵浦进 DCF, 一对中心波长位于 1426nm 的光栅构成谐振腔, 左端的高反, 右端半反。另外一个光栅中心波长位于泵浦波长上, 对泵浦源形成高反用来充分剩余的吸收泵浦功率。

泵浦源对腔体中同向、反向传输的 Stokes 波都

* 国家八六三资助项目。

作者简介: 杨先波, 男, 1978 年 10 月出生。硕士研究生。主要从事喇曼放大器的理论研究和试验工作。

收稿日期: 2003-01-14; 收到修改稿日期: 2003-03-03

会进行放大,腔体中的泵浦和 Stokes 波具体情形如图 1 所示。

激光初始形成的过程比较复杂,功率是随时间变化的,因为只需要知道最终的工作状态,所以,这里的模型考虑的是稳态情形下泵浦源和 Stokes 波的功率。略去了在高功率状态下可以忽略的效应,只考虑喇曼作用和损耗。具体方程^[1]如下:

$$\frac{dP_p^\pm}{dz} = \mp p P_p^\pm \mp \frac{p g_r}{s A_{eff}} (P_S^+ + P_S^-) P_p^\pm \quad (1)$$

$$\frac{dP_S^\pm}{dz} = \mp s P_S^\pm \pm \frac{g_r}{A_{eff}} (P_p^+ + P_p^-) P_S^\pm$$

式中, P_p^\pm, P_S^\pm 分别是泵浦源和 Stokes 波的功率, \pm 表示正反两个传输方向; p, s 分别表示泵浦和 Stokes 波长上的衰减系数; p, s 分别是泵浦和 Stokes 光的频率; g_r 是 DCF 光纤的增益系数,采用多段拟合成比较精确的增益系数谱线,如图 2 中实线所示^[2],为了对比,虚线是石英单模光纤的典型增益系数曲线; A_{eff} 是喇曼散射的有效作用面积。

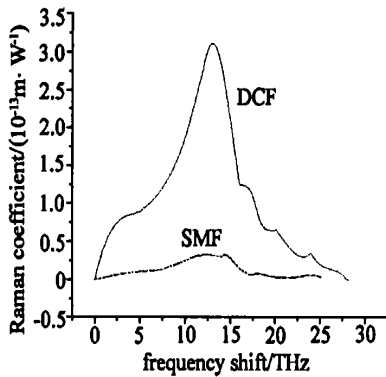


Fig. 2 Raman gain coefficient profile pump wavelength = 1480nm

为了解方程(1),还需要边界条件,假设腔体长度为 L ,由光栅构成的腔体边界处的反射关系得出以下的边界条件:

$$\begin{aligned} P_p^+(0) &= P_{in}, & P_p^-(L) &= R_p P_p^+(L), \\ P_S^+(0) &= R_{S0} P_S^-, & P_S^-(L) &= R_{SL} P_S^+(L) \end{aligned} \quad (2)$$

式中, P_{in} 是耦合进 DCF 的泵浦功率, R_p 是光栅对泵浦的反射率, R_{S0}, R_{SL} 分别是输入、输出端光栅对 Stokes 光的反射率。

获得边界条件后,采用四阶 Runge-Kutta 法积分分解以上方程,因为反向传输的部分在输入端的初值未知,所以要采用打靶法进行反复迭代修正。

2 结果分析

假设 R_p, R_{S0} 均为 0.99, R_{SL} 取为 0.2,经多次计算得到不同光纤长度和泵浦功率下的光纤激光器

的阈值特性,见图 3。因为泵浦功率在一定的光纤长度内不会完全消耗完,随着光纤长度变长,受激散射的累计效应越大,所以阈值功率将变小;当光纤长度继续加大,随着泵浦的消耗,泵浦效率反而会变小,由此可以选择比较优良的配置方案。

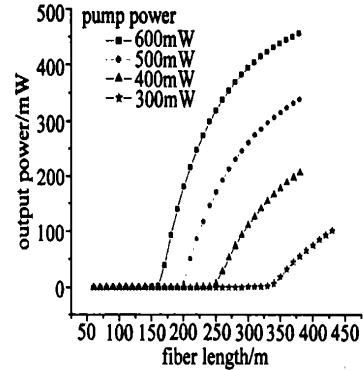


Fig. 3 Laser power under different fiber length

输出端的耦合效率对激光器的阈值特性影响也是比较大的。这里考虑输出端的光纤光栅反射率 R_{SL} 取不同值的情形下激光器的输出特性。图 4 是 R_{SL} 分别取 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 在不同泵浦功率下的输出功率,光纤长度取 200m。显然,随泵浦功率的增加,输出激光功率会变大;改变输出耦合效率,输出激光功率有个最大值,约在 0.25 附近,继续增加输出端口的反射率,激光功率减小。

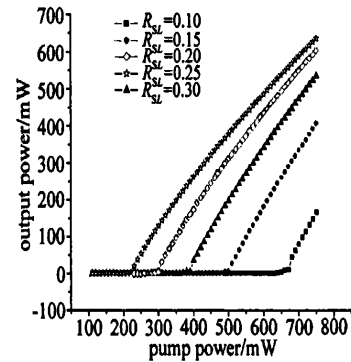


Fig. 4 Laser power under different pump power

综合以上两方面,可以选择最佳的系统配置方案。当然在此过程中,还需要考虑各种器件的插入损耗,比如光纤光栅以及泵浦源的耦合效率。

3 多波长激光器

这里只考虑采用二阶的 Stokes 散射的频移产生多个波长输出的情况,假定有多个不同中心波长的光栅对构成腔体。这里,取 400m 的 DCF,泵浦源功率设为 400mW,中心波长为从 1400nm 到 1440nm 等

(下转第 414 页)

不同切向下波导辐射衰减系数随波导深度增加而呈周期性变化。

3 结束语

简单阐述了对于共线声光效应的原理,将入射波向泄漏波的转换看作导模向连续谱辐射模的转换,并利用耦合模理论进行求解。最后模式转换效率可以作为声波频率、声光作用长度、波导厚度和声波功率密度的函数,并通过数值求解得出其相互关系。

由数值计算结果可知, x 切质子交换铌酸锂波导模式转换效率最大,若适当选择波导长度和声驱动功率密度其模式转换效率可达 90% 以上,因此,可利用共线声光互作用中入射光波频率与声波频率的对应关系,利用声波频率使相应频率光波产生模式转换从而完成可调谐滤波的功能。这种结构的可

调谐滤波器结构简单,易于制作,方便集成,价格便宜等优点,相信共线声光衍射光栅滤波器在未来光通信在线解复用系统中将具有非常广阔的应用前景。

参 考 文 献

- [1] Marcuse D, Theory of dielectric optical wave guides. New York: Academic Press, 1991: 134 ~ 147.
- [2] Pesrov D V. J Opt Commun, 1985, 6: 90 ~ 99.
- [3] Nishiara H, Haruna M, Suhara T. Optical integrated circuits. New York: McGraw-Hill Press, 1989: 62 ~ 95.
- [4] 徐介平. 声光器件的原理, 设计和应用. 北京: 科学出版社, 1982: 224 ~ 242.
- [5] Press W H, Teukolsky S A, Vetterling W T *et al.* The art of scientific computing. London: Cambridge University Press, 1992: 340 ~ 376.
- [6] Bielb E M, Russel P. IEEE Trans Ultrason Ferroelect Freq Contr, 1992, 39: 330 ~ 334.
- [7] Tsai C S, Li Q, Chang C L. J Fiber-Integrated Opt, 1998, 17: 157 ~ 166.

(上接第 410 页)

间隔的多个光栅对,输出端光栅的反射率依次为 25%, 32%, 20%, 17%, 30%。得到最终 4 个波长上的激光输出,如图 5 所示。因为存在模式竞争的问题以及对长波长处的 Stokes 光形成泵浦, 1400nm 处功率很小。

题以及对长波长处的 Stokes 光形成泵浦, 1400nm 处功率很小。

4 小 结

以 DCF 光纤为增益介质,利用受激喇曼散射效应和光栅对形成光纤激光器,输出激光功率随泵浦功率、光纤长度和输出端的反射系数变化,通过优化选择可以得到一个最佳的值。利用多个光栅对改变各自的反射系数,得到多个波长的激光输出。

参 考 文 献

- [1] Rini M, Cristiani I, Degiorgio V *et al.* J Q E, 2000, 36(10): 1117 ~ 1122.
- [2] Namiki S, Emori Y. J Q E, 2001, 7 (1): 3 ~ 16.

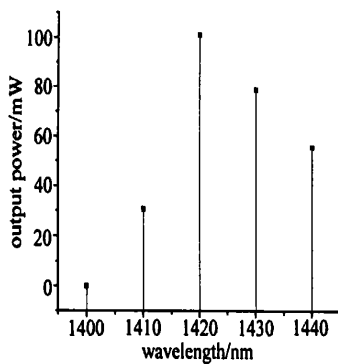


Fig. 5 Multi-wavelength laser power