

DBR 掺镱光纤激光器激射波长的研究*

冯新焕 范万德 袁树忠 开桂云 董孝义

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

摘要 对基于一少量模光纤光栅和一普通光纤光栅的分布布喇格反射掺镱光纤激光器的激射波长进行了详细研究. 通过对普通布喇格光栅的中心波长进行调谐, 发现激射波长始终是由两光栅卷积的最大值所确定的等效反射峰值相对光栅反射峰值的偏移以及激射波长相对等效反射峰值的偏移两种机理共同决定的, 通过实验证明两种偏移量均不受限于光纤光栅的带宽. 对实验结果进行了分析总结.

关键词 少量模光纤光栅; 光纤布喇格光栅; 分布布喇格反射; 掺镱光纤激光器; 激射波长

中图分类号 TN248 **文献标识码** A

0 引言

低噪声、频率稳定的光纤激光光源在激光光谱、光通信、光传感等方面有着广泛的应用, 工作于 $1 \mu\text{m}$ 波段的掺 Nd^{3+} 及掺 Yb^{3+} 光纤激光器 (Ytterbium-Doped Fiber Laser, YDFLs) 和通信窗口 $1.5 \mu\text{m}$ 波段的掺铒光纤激光器是其中最成功的例子. 由于掺镱光纤有着很宽增益谱和极高的光泵效率, 且 YDFLs 可作为掺 Tm^{3+} 光纤放大器及拉曼激光器的泵源, 从而使其受到越来越多的重视^[1-6]. 光纤 Bragg 光栅由于具有高的反射率和好的波长选择性从而广泛地应用于光纤激光器中作为一个或两个反射器. 分布布喇格反射 (Distributed Bragg Reflectors, DBR) 光纤激光器使用两个高反射率的光纤光栅来增强模式选择, 具有频率稳定性好、边模抑制比高等优点, 且能实现单模运转和连续调谐, 是常用的激光器结构^[7,8].

在以前研究的 DBR 光纤激光器中, 一般都要求两个光纤光栅的中心波长严格相等, 由于光栅的选频作用, 激光器的激射波长被稳定在光纤光栅的 Bragg 波长上. 但梁建中等^[9]报道了 YDFLs 中激射波长相对光栅反射中心的红移现象; 迟荣华等^[10]通过偏振控制器调整腔内损耗, 得到了激射波长相对光栅反射中心的红移及蓝移; 两种偏移量的大小均受限于光栅的反射半宽. 在我们进行的基于少量模光纤光栅 (Few-Mode Fiber Grating, FMFG) 和光纤布喇格光栅 (Fiber Bragg Grating, FBG) 的 DBR 掺镱光纤激光器的实验中, 通过对 FBG 的波长进行调谐, 发现两光栅中心波长严格相等时并非最佳输出

状态, 而且 YDFL 的激射波长应是等效反射峰值相对光栅反射峰值的偏移和激射波长相对等效反射峰值的偏移两种机理共同决定的, 且两种偏移量均不受限于光纤光栅的半宽. 我们对激光器调谐过程中的激射波长进行了较为详细全面的研究, 并对实验结果进行了分析和讨论.

1 实验装置及结果

实验装置如图 1 所示. 包括一个 976 nm 激光二极管 (LD) 泵源, 一个 $976 \text{ nm}/1060 \text{ nm}$ WDM, 一段掺镱光纤和两个光纤光栅. 泵源最大入纤功率 76 mW , 通过 WDM 进入掺镱光纤进行泵浦. 掺镱光纤作为放大介质, 长度 15 m , 掺杂浓度 600 ppm . 实验中输出 1 端为一少量模光纤光栅, 是在 1550 nm 单模光敏光纤上制作的^[11], 对 1060 nm 为少量模光纤. FMFG 的透射谱如图 2, 它存在两个透射峰, 分别位于 1054.92 nm 和 1055.88 nm , 两峰 3 dB 带宽相同, 均为 0.3 nm , 反射率均为 82% . 输出 2 端为一普通布喇格光纤光栅, 中心波长 1055.4 nm , 反射

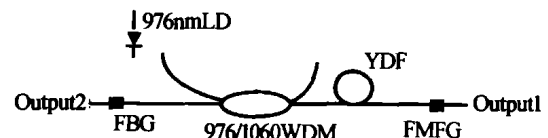


图 1 掺镱光纤激光器实验装置图

Fig. 1 Schematic diagram of the Yb-doped fiber laser

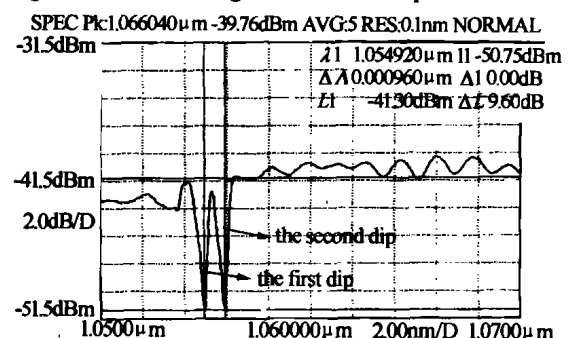


图 2 少量模光纤光栅透射谱

Fig. 2 Transmission spectrum of the FMFG

* 国家自然科学基金重点基金 (60137010) 和天津科委重点基金 (013800411) 项目

Tel: 022-23509849 Email: xh_feng@eyou.com

收稿日期: 2003-11-03

率 90% ,3 dB 带宽 0.4 nm. 实验中用简直梁对其中心波长分别向长波和短波方向进行调谐. 用最小分辨率 0.1 nm 的 Q8383 光谱仪观察 1 端和 2 端的激光输出情况.

传统意义上说,调谐过程中激射波长不再单纯由 FMFG 或 FBG 的反射峰值波长而定,而是由两者卷积的最大值,即等效反射峰值的位置来决定,因为对应此波长的光损耗最小,会优先起振. 所得激光

输出的典型光谱图如图 3. 图中 (a) 为 FBG 与 FMFG 第一反射峰波长严格一致时的输出光谱;(b) 为输出功率最大时的输出光谱;(c) 为由第一反射峰向第二反射峰的过渡存在模式竞争时的输出光谱;(d) 为激射波长相对第一反射峰最大红移时的输出光谱;(e) 为激射波长相对第二反射峰最大蓝移时的输出光谱;(f) 为 FBG 与 FMFG 第二反射峰波长严格一致时的输出光谱.

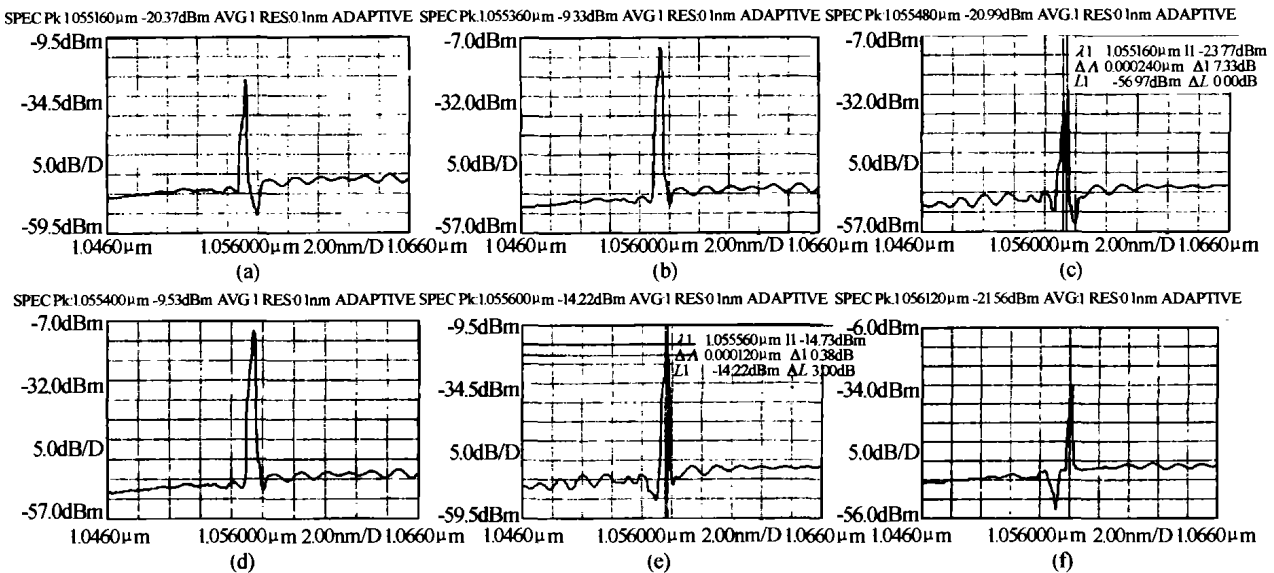


图 3 调谐过程中激光输出的典型光谱图
Fig. 3 Typical laser spectrum during tuning process

在调谐过程中,随着 FBG 中心波长向 FMFG 中心波长移动,激光器激射波长也向长波移动,功率逐渐增大,当调谐到一定位置(通过两输出端的测量,实际是 FBG 与 FMFG 第一反射峰波长严格一致时)线宽达到最窄,光谱仪给出的带宽 0.04 nm,对应图 3(a),激射波长 1055.16 nm,相对于 FMFG 第一反射峰的偏移量 0.24 nm,随后功率继续增大,当调谐到一定位置(实际对应激光器最佳输出状态),功率最大,对应图 3(b),激射波长 1055.36 nm,继续调谐,功率降低,而后在 1055.40 nm 和 1055.60 nm 之间出现激烈的模式竞争现象,如图 3(c),对应第一反射峰和第二反射峰的过渡,则 1055.40 nm 对应第一反射峰最大红移,如图 3(d),最大红移量 0.48 nm,1055.60 nm 对应第二反射峰最大蓝移,如图 3(e),最大蓝移量 0.28 nm,而后 FMFG 第二反射峰开始起主要作用,线宽最窄时(FBG 与 FMFG 第二反射峰波长严格一致时)的谱图如图 3(f),激射波长 1056.12 nm,相对于第二反射峰的偏移量 0.24 nm,光谱仪给出的带宽 0.04 nm. 整个调谐过程中,除两峰值一致时,实验中测得的其它状态下的谱宽均保持 0.12 ~0.16 nm.

实验中还测量了一任选状态下增益谱随泵光功率的变化情况,如图 4. 图 4(a) 为接近阈值的光谱

(上)与 FMFG 的透射谱(下)相比较,可看出等效反射峰值波长应位于光栅反射峰的左侧,图 4(b) 是阈值以上产生激光的谱图,激射波长位于光栅的反射峰的位置.

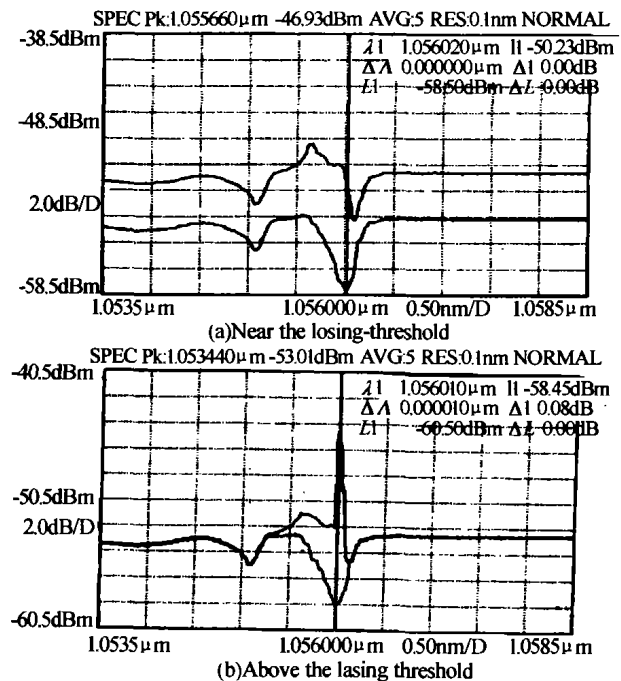


图 4 一任选状态下增益谱随泵光功率的变化情况
Fig. 4 Laser spectrum for different pumping power

2 分析及讨论

通过对整个调谐过程的分析,可得出如下结论:

1) 调谐过程中光谱的宽度变化主要归因于等效反射谱宽度的变化,而峰值功率的变化可由激光器的输出光功率的表达式^[12]来解释. 激光器的输出光功率和两光栅的反射率有一定的关系,而且并非反射率最大时对应最佳输出状态,而是存在一最佳匹配状态. 在光栅调谐的过程中,等效反射峰值处两光栅对应的反射率不断变化,从而引起了输出功率的变化.

2) YDFL 的激光波长始终是由等效反射峰值相对光栅反射峰值的偏移和激光波长相对等效反射峰值的偏移两种机理共同决定的,即激光器激光波长总是相对于不断变化的等效反射峰值向长波方向有一偏移,而不仅仅在两光栅峰值波长严格一致时才存在偏移,此偏移量由掺镱光纤的性质决定. 文献[6]在理论和实验上给出了在通常情况下, YDFL 中均匀加宽占优势时,激光波长相对于放大的自发发射谱峰值向长波方向偏移约 0.2 nm. 非均匀加宽占主要地位时,偏移量为 0.3 nm. 而掺镱光纤的展宽是由两种机制共同决定的,实验中我们测得的偏移量为 0.24 nm. 可从两个方面进行论证:(1)图 4 是任选了一个峰值波长不相等的状态,由阈值时谱图和光栅谱图相对比,可看出等效反射峰值位于光栅反射峰左侧,而最终产生的激光波长则位于光栅反射峰值波长;(2)实验中测得激光波长相对少量模光栅的最大红移量 0.48 nm,最大蓝移量 0.28 nm,这种相差很多的不对称也同样从侧面证明了此结论.

3) 激光波长相对等效反射峰值的偏移量以及由于反射峰值波长的偏移而引起的激光波长相对与输出光栅反射峰值波长的最大红移量和蓝移量并不受限于光栅的半宽度. 在光栅 FBG 与少量模光栅的两个反射峰相一致时,波长偏移量均为 0.24 nm,大于两光栅的反射谱半宽. 由于反射峰值波长的偏移而引起的激光波长相对与输出光栅反射峰值波长的最大红移量 0.48 nm 和蓝移量 0.3 nm,也大于光栅的半宽.

4) 从图 4(b) 阈值附近的模式竞争可看出光谱的不对称性. 可从两方面考虑:(1)激光波长的偏移,由于激光波长向长波偏移,是造成了光谱形状的不对称的主要原因.(2)光栅反射光谱及两光栅卷积确定的等效反射谱存在一定的不对称. 两种原因造成了增益谱形状不对称.

3 结论

对 DBR 掺镱光纤激光器激光波长进行了详细

的研究,在进行的基于少模光纤光栅(FMFG)和光纤布喇格光栅(FBG) DBR 掺镱光纤激光器的实验中,通过对 FBG 的波长进行调谐,发现两光栅中心波长严格相等时并非最佳输出状态,而且 YDFL 的激光波长应是两光栅卷积确定的等效反射峰值位置及相对偏移两种机理共同决定的,两种偏移量均不受限于光纤光栅的带宽.

参考文献

- 1 陈柏,陈兰荣,范薇,等. 掺 Yb 双包层光纤激光器波长调谐输出. 光子学报,1999,28(9):835~838
Chen B, Chen L R, Fan W, et al. *Acta Photonica Sinica*, 1999, 28(9):835~838
- 2 宁鼎,傅成鹏,丁镭,等. 掺 Yb~(3+) 双包层光纤激光器的实验研究. 光子学报,2001,30(4):442~445
Ning D, Fu C P, Ding L, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2001, 30(4):442~445
- 3 范薇,李学春,陈兰荣,等. 单频环形掺 Yb~(3+) 光纤激光器. 光子学报,2001,30(6):721~723
Fan W, Li X C, Chen L R, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2001, 30(6):721~723
- 4 Hideur A, Chartier T, Ozkul C. All-fiber tunable ytterbium-doped double-clad fiber ring laser. *Opt Lett*, 2001, 26(14):1054~1056
- 5 Alvarez-Chavez J A, Offerhaus H L, Nilsson J, et al. High-energy, high-power ytterbium-doped Q-switched fiber laser. *Opt Lett*, 2000, 25(1):37~39
- 6 Hideur A, Chartier T, Brunel M, et al. Mode-lock, Q-switch and CW operation of an Yb-doped double-clad fiber ring laser. *Opt Commun*, 2001, 198(10):141~146
- 7 Bonfrate G, Vaninetti F, Negrisolo F. Single-frequency MOPA Er³⁺ DBR fiber laser for WDM digital telecommunication systems. *IEEE Photon Tech Lett*, 1998, 10(8):1109~1111
- 8 Ball G A, Morey W W. Continuously tuneable single-mode erbium fiber laser. *Opt Lett*, 1992, 17(6):420~422
- 9 梁建中,胡谊梅,孙迭麓,等. 光纤激光器中激光波长相对光纤光栅反射中心波长的偏移. 光学学报,2002,22(8):976~979
Liang J Z, Hu Y M, Sun D C, et al. *Acta Optica Sinica*, 2002, 22(8):976~979
- 10 迟荣华,吕可诚,陈胜平,等. 光纤光栅激光器激光波长的研究. 光学学报,2003,23(11):1315~1319
Chi R H, Lv K C, Chen S P, et al. *Acta Optica Sinica*, 2003, 23(11):1315~1319
- 11 Mizunami T, Djambova T V, Niiho T, et al. Bragg grating in multimode and few-mode optical fibers. *Journal of Lightwave Technology*, 2000, 18(2):230~235
- 12 Allain J Y, Bayon J F, Monerie M, et al. Ytterbium-doped silica fiber laser with intracore bragg grating operating at 1.02 μm . *Electron Lett*, 1993, 29(3):309~310

Study of the Lasing Wavelength in DBR Yb^{3+} -Doped Fiber Laser

Feng Xinhuan, Fan Wande, Yuan Shuzhong, Kai Guiyun, Dong Xiaoyi

Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071

Received date: 2003-11-03

Abstract The lasing wavelength in a Distributed Bragg Reflectors (DBR) Ytterbium-Doped Fiber Laser (YDFL) based on a Few-Mode Fiber Grating (FMFG) and an ordinary Fiber Bragg Grating (FBG) is studied. Through tuning the reflecting peak wavelength of the FBG, how the lasing wavelength shift from the reflecting peak wavelength was studied and a analysis of the experimental results was given.

Keywords Few-Mode Fiber Grating (FMFG); Fiber Bragg Grating (FBG); Distributed Bragg Reflectors (DBR); Ytterbium-Doped Fiber Laser (YDFL); Lasing wavelength



Feng Xinhuan was born in 1974, in Hebei Province of China. She received her M. S. degree in optics from the Institute of Modern Optics, Nankai University, in 1998. Now she is in pursuit of her Ph. D. degree in the same Institute. Her main fields of interest are fiber amplifiers and various fiber lasers.