

Ti:S 激光器外腔选频产生 820 nm 带激光研究*

董淑福^{1,2} 陈国夫¹ 王贤华¹ 赵卫¹ 王屹山¹

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所,瞬态光学技术国家重点实验室,西安 710068)

(2 空军工程大学电讯工程学院,西安 710077)

摘要 首次报道了用 Ti:S 激光器及 Tm-Ho 共掺石英光纤等构成复合腔,通过外腔选频产生波长为 820 nm 波段高性能单模激光的实验研究,复合腔 Ti:S 激光器的光-光转换效率达 15.7%,斜率效率可达 17.3%。研究了输出激光功率、输出光谱随泵浦功率、激活光纤长度的变化关系,并对相应结果进行了分析。

关键词 钛宝石激光器;铥铒共掺光纤;光纤激光器;红外激光;光纤激光理论

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A

0 引言

稀土掺杂光纤激光器与放大器由于具有体积小、重量轻、无须调试、易于集成等优点,自从其诞生以来,就倍受人们的青睐。在可见光尤其是近红外区的光纤激光的产生与放大已取得了巨大进展并获得广泛应用。其中,1.06 μm 的掺 Yb³⁺ 光纤激光器^[1]及 1.55 μm 的掺 Er³⁺ 或 Er³⁺/Yb³⁺ 共掺光纤激光器与放大器^[2,3]是典型代表。在中红外波段,国外已经采用掺 Ho³⁺ 石英光纤或氟化物光纤产生了波长约 2~4 μm 波段的激光^[4~6]。

本文首次报道了用 Tm-Ho 共掺石英光纤及 Ti:S 激光器构成复合腔,通过外腔选频产生波长为 820 nm 波段高性能单模激光的实验结果,该结果对于调谐 Ti:S 激光器具有一定的实用价值;同时由于该复合腔激光器具有光纤激光的优越性能,而 0.75~1 μm 波段尚无相应的光纤激光器,从而可在一定程度上填补这一空缺。

1 实验装置

Tm-Ho 共掺石英光纤的初始目的是用来产生波长为 2 μm 的中红外激光^[7~10],以用于医疗及眼睛安全激光雷达等。根据 Tm-Ho 共掺系统的能级及跃迁图 1 可知^[8,10],在波长约为 790 nm 的泵浦光子的激发下,通过 Tm³⁺ 的交叉弛豫以及 Tm³⁺ 与 Ho³⁺ 的能量转移,最终可在 Ho³⁺ 的⁵I₇ 激发态和⁵I₈ 基态之间实现粒子数反转,通过受激辐射产生 2 μm 带激光。

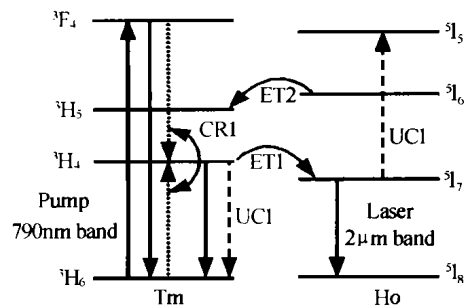


图 1 Tm-Ho 共掺石英光纤系统能级结构

Fig. 1 Schematic energy level diagram of Tm-Ho co-doped silica fiber system

按照这一原理,我们设计了下述实验装置,如图 2 所示。由于钛宝石(Ti:S)激光器的输出波长刚好在 Tm³⁺ 的吸收峰值处,因此选用 Ti:S 激光器为泵浦源。所用 Ti:S 晶体 3 mm 厚,凹面镜曲率半径为 50 mm,采用等臂长(300 mm)Z 型折叠腔,半折叠角为 8.67°。在波长为 532 nm、最大输出功率为 10 W 的 Nd:YVO₄ 固体激光器泵浦下,获得了中心波长为 796 nm、最大功率可达 2 W 的圆对称单模激光(腰斑半径小于 200 μm),其输出谱如图 3 中小图所示。

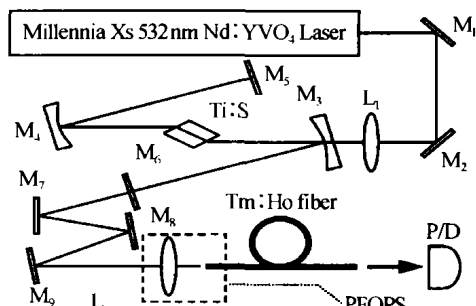


图 2 钛宝石泵浦 Tm-Ho 共掺石英光纤激光器的实验装置

Fig. 2 Schematic diagram of the experimental setup of the

Ti:S-pumped Tm-Ho co-doped silica fiber laser

实验中所用光纤为加拿大国家光学研究所制造的 TH520 铥铒共掺单模石英光纤,其纤芯成份为:0.158 mole% Tm₂O₃, 0.027 mole% Ho₂O₃, 8.68 mole% Al₂O₃, 1.35 mole% GeO₂, 3.40 mole% P₂O₅ 以及 86.38 mole% SiO₂。按照这一成份,可以计算 Tm³⁺

*国家自然科学基金(批准号:60007003,60137010)资助项目

Tel:029-88484268 Email:shufudong@163.com

收稿日期:2003-04-29

和 Ho^{3+} 的浓度分别为 $6.18 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$ ($\sim 8000 \text{ ppmw}$) 和 $1.05 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$ ($\sim 1300 \text{ ppmw}$)。纤芯直径和数值孔径分别为 $D = 8.5 \text{ }\mu\text{m}$, $NA = 0.15$ 。该光纤的吸收谱如图 3 所示。

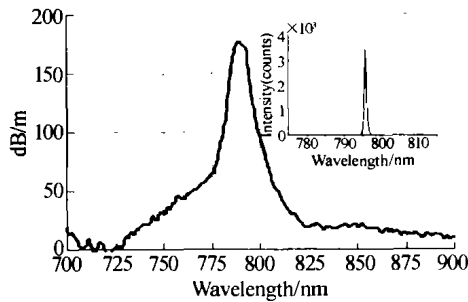


图 3 TH520 铥钬共掺单模石英光纤的吸收谱及 Ti:S 激光器的发射谱

Fig. 3 Absorption spectrum of TH520 Tm-Ho co-doped single mode silica fiber. The insert is the emission spectrum of the Ti:S laser

Tm-Ho 共掺石英光纤激光器采用法布里-珀罗 (F-P) 型腔,即在光纤的输入、输出端面紧贴适宜的镀膜二色镜以产生波长为 $2 \text{ }\mu\text{m}$ 的激光。但在本实验中,用精确切割的 Tm-Ho 共掺光纤的输入、输出端面作为输入、输出镜,它们具有 4% 的非涅尔反射。从 Ti:S 激光器输出的光束经 10 倍高性能显微物镜 L 直接聚焦耦合进 Tm-Ho 共掺光纤。输出激光用美国光谱物理公司的 407A 功率计测量功率,用海洋光学公司的 S2000 光纤光谱仪测量光谱。

2 实验结果

图 4 是利用不同长度的 Tm-Ho 共掺石英单模光纤获得的输出功率随泵浦功率的变化曲线。其中,当光纤长度为 15.8 cm 时,在 1.4 W 的 Ti:S 激光泵浦下(相应的 Ti:S 泵浦功率为 7 W),获得了功率为 1.1 W 的激光输出,当采用更长的光纤时,激光输出功率都单调下降。图 4 中的小插图给出了在 1 W 的 Ti:S 激光泵浦下(Ti:S 泵浦功率为 5 W),光纤长度分别为 10、12、13.8、15.8、18 及 20 cm 时的输出功率及拟合曲线,可以看出在该长度范围内, Tm-Ho 共掺光纤的输出功率变化不大(720 ~ 770 mW),光纤最佳长度约 16 ~ 18 cm。图 5 为用 S2000 光谱仪测量的 Tm-Ho 共掺光纤的输出光谱。当光纤长为 15.8 cm 时,中心波长约在 822.7 nm,输出谱宽小于 3 nm。当增大激活光纤长度时,输出波长随光纤长度的增加而向长波长移动,51 cm 时为 825 nm,160 cm 时为 830 nm;当增大泵浦功率时,输出波长保持不变。实验中还测量了光纤长度分别为 10、12、13.8、18 及 20 cm 时的输出光谱,中心波长分别为 819.7、820.5、821.5、824 及 825 nm。中心波长随光纤长度的变化与上述结果相一致。

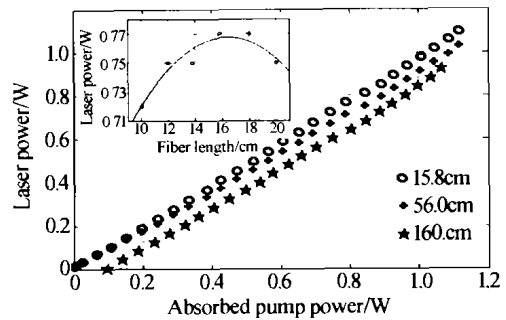


图 4 Tm-Ho 共掺石英光纤输出激光功率随泵浦功率的变化

Fig. 4 The measured output power from the Tm-Ho co-doped silica fiber as a function of launched pump power for different fiber lengths

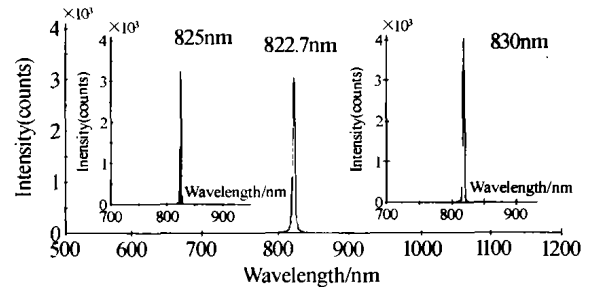


图 5 Tm-Ho 共掺石英光纤的输出光谱

Fig. 5 Output spectrum of the Tm-Ho co-doped silica fiber laser

3 结论

表面看来,似乎是采用 Tm-Ho 共掺石英单模光纤,在波长为 796 nm 的 Ti:S 激光泵浦下,利用其两端面构成的 F-P 腔,获得了波长为 820 ~ 830 nm 的高性能单模激光输出。但是,从实验中测得的所谓输出功率随泵浦功率的变化曲线可以看出, Tm-Ho 共掺石英单模光纤的振荡阈值出现负值,这与激光的根本特性是相违背的。进一步测试发现,在 Ti:S 激光器及 Tm-Ho 共掺石英单模光纤等所组成的整个光路系统中,从光纤输出端及光路侧面测量(未切断光路)的激光振荡波长处处一样,即上述测量结果;当将光谱仪输入尾纤置于 Ti:S 激光器输出镜 M_0 与精密光纤调整架 PFOPS 之间(切断光路)时, Ti:S 振荡波长为 796 nm。由此可见,二者构成了一个复合腔,而非两个分离的谐振腔。造成这一现象的原因在于,当把波长为 796 nm 的 Ti:S 激光耦合进 Tm-Ho 共掺石英单模光纤时,将基态的 Tm^{3+} 泵浦到 3F_4 能级,此时 Tm-Tm 交叉驰豫过程及 3F_4 能级自发辐射将进行竞争。由于光纤两端未额外增加腔镜,因此部分荧光将逆光路注入到 Ti:S 激光器的谐振腔,此光相当于对 Ti:S 进行了种子光注入,而 Ti:S 的荧光谱非常宽,最终可在某一波长处重新达到稳态,而这一波长将取决于 Tm-Ho 共掺石英单模光纤的长度。

计算表明,对复合腔 Ti:S 激光器,光-光转换效

率达 15.7%, 斜率效率可达 17.3%。它集 Ti:S 激光调谐及光纤激光的优越性能, 从而可以弥补 0.75 ~ 1 μm 波段尚无相应的光纤激光器的不足。

参考文献

- 1 Dominic V, MacCormack S, Waarts R, *et al.* 110 W fibre laser. *Electro Lett*, 1999, **35**(14): 1158 ~ 1160
- 2 Barnes W L, Poole S B, Townsend J E, *et al.* Er³⁺-Yb³⁺ and Er³⁺ doped fiber lasers. *J Lightwave Technology*, 1989, **7**(10): 1461 ~ 1465
- 3 Cheo P K, King G G. Clad-pumped Yb:Er codoped fiber lasers. *IEEE Photo Technol Lett*, 2001, **13**(3): 188 ~ 190
- 4 Kurkov A S, Dinov E M, Medvekov O I, *et al.* Efficient silica-based Ho³⁺ fiber laser for 2 μm spectral region pumped at 1.15 μm . *Electron Lett*, 2000, **36**(12): 1015 ~ 1016
- 5 Wetenkamp L. Efficient CW operation of a 2.9 μm Ho³⁺-doped fluorozirconate fiber laser pumped at 640 nm. *Electro Lett*, 1990, **26**(13): 883 ~ 884
- 6 Sumiyoshi T, Sekita H, Arai T, *et al.* High-power continuous-wave 3- and 2- μm cascade Ho³⁺:ZBLAN fiber laser and its medical applications. *IEEE J of Select Topics in Quantum Electron*, 1999, **5**(4): 936 ~ 943
- 7 Ghisler C, Luthy W, Weber H P, *et al.* A Tm³⁺ sensitized Ho³⁺ silica fiber laser at 2.04 μm pumped at 809 nm. *Optics Comm*, 1994, **109**(3-4): 279 ~ 281
- 8 Oh K, Morse T F, Kilian A, *et al.* Continuous-wave oscillation of thulium-sensitized holmium-doped silica fiber laser. *Opt Lett*, 1994, **19**(4): 278 ~ 280
- 9 Ghisler C, Luthy W, Weber H P. Cladding-pumped of a Tm³⁺:Ho³⁺ silica fiber laser. *Optics Comm*, 1996, **132**(5-6): 474 ~ 478
- 10 Jackson S D, King T A. CW operation of a 1.064 μm pumped Tm-Ho-doped silica fiber laser. *IEEE J Quantum Electron*, 1998, **34**(9): 1578 ~ 1587

Researches on Ti:S Laser to Producing 820 nm Band Laser Beam by Frequency-selecting with External Cavity

Dong Shufu^{1,2}, Chen Guofu¹, Wang Xianhua¹, Zhao Wei¹, Wang Yishan¹

¹ State Key Laboratory of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi, P. R. China 710068

² Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi, P. R. China 710077

Received date: 2003-04-29

Abstract The experimental results of Ti:S laser producing 820 nm band laser beam is reported by frequency-selecting with external cavity, which is formed by a piece of Tm:Ho co-doped single-mode silica fiber. The optical to optical conversion efficiency and the slope efficiency are 15.7% and 17.3%, respectively. This is the first report on the compound cavity Ti:S laser realized with rear-earth doped optical fiber as the external cavity. The relations between the measured output power and spectrum from the compound cavity Ti:S laser vs the launched pump power and fiber length are researched, and analysis is done accordingly.

Keywords Ti:S laser; Tm-Ho co-doped fiber; Optical fiber lasers; Infrared lasers; Optical fiber lasers theory



Dong Shufu was born in 1971, in Qingdao, China. He received the B. S. degree in optical fiber communication and M. S. degree in communication & electronics from Air-force Telecommunication Engineering Institute, China, in 1994 and 1997, respectively. He is now an associate professor and a Ph. D. candidate in the State Key Laboratory of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, where he is engaged in research of optical fiber lasers & amplifiers. His interests cover optical communication system and devices, especially the optical fiber lasers & amplifiers.