

# 掺 $Tm^{3+}$ 石英单模光纤产生 $1.871 \mu m$ 激光的初步研究\*

刘东峰 杜戈果 王贤华 陈国夫 阮 灵

(中国科学院西安光机所瞬态光学技术国家重点实验室 西安 710068) (电子工业部 46 所 天津 300220)

**提要** 报道了利用  $1.053 \mu m$  激光泵浦国产掺  $Tm^{3+}$  石英单模光纤产生  $1.871 \mu m$  激光的初步实验结果。实验中产生的最大激光输出功率为  $153 \mu W$ , 斜率效率为  $0.32\%$ 。

**关键词** 光纤激光技术, 稀土光纤, 光通讯

## 1 引 言

掺稀土光纤激光技术是一个受到国际学术界重视的热门研究方向<sup>[1~5]</sup>。光纤激光器因其具有独特的封闭式波导结构, 增益很高, 无需调整, 同时具有低的阈值泵浦功率和宽的激光振荡带宽, 而且很多掺稀土光纤的吸收谱带落在  $0.8 \mu m$ , 因此可采用商用半导体激光泵浦, 实现全固化。光纤激光器是一种很有希望的便携式小型化激光光源, 具有重要的应用价值。

掺  $Tm^{3+}$  光纤激光器由于可提供其他稀土离子不能提供的波长为  $2 \mu m$  左右的长波激光振荡, 而且泵浦波长落在  $800 nm$  区域内, 同时具有很宽的增益谱带输出, 因此在医学、眼睛安全的近距离遥感技术、视觉、超快光学及环保等方面都具有重要的应用价值。

本文报道用  $1.053 \mu m$  激光泵浦掺  $Tm^{3+}$  石英单模光纤产生  $1.871 \mu m$  激光的初步实验结果。

## 2 实验装置与实验结果

实验中采用的掺  $Tm^{3+}$  石英单模光纤是使用改进的化学气相沉积(MCVD)法拉制的。光纤具体参数是: 掺杂浓度为  $1000 \times 10^{-6}$ , 数值孔径为  $0.251$ , 截止波长为  $1.434 \mu m$ , 芯径为  $7.6 \mu m$ 。

图 1 是实验测得的本实验中所用掺  $Tm^{3+}$  石英单模光纤的吸收光谱。从图中可看出光纤在  $800 nm$  和  $1.2 \mu m$  附近很宽的带宽内有较强的吸收。

图 2 是简化了的掺  $Tm^{3+}$  石英光纤的能级结构图。利用  $1.053 \mu m$  激光泵浦使  $Tm^{3+}$  稀土

\* 国家“863”高技术青年科学基金(863-410-95-19)、中国科学院西安光机所所长基金(95年度)、瞬态光学技术国家重点实验室开放基金资助项目。

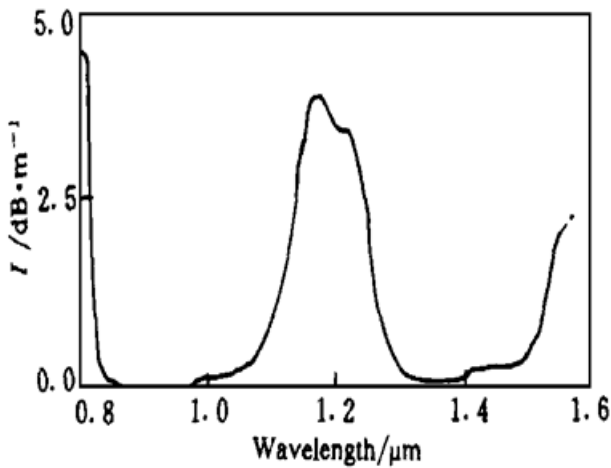


图 1 掺 Tm<sup>3+</sup> 石英光纤的吸收光谱

Fig. 1 The absorption spectrum of Tm<sup>3+</sup> in a silica host

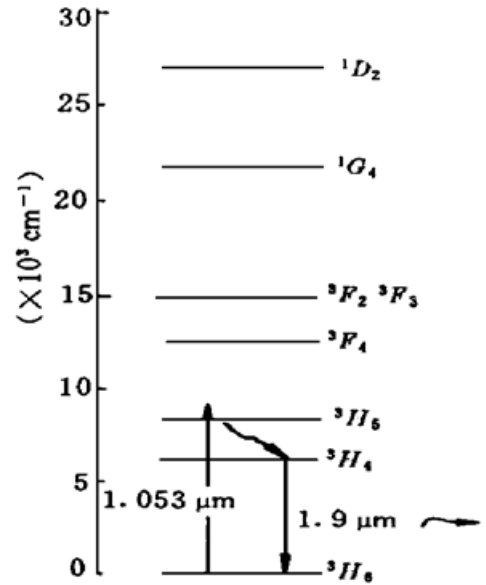


图 2 掺 Tm<sup>3+</sup> 石英光纤中 Tm<sup>3+</sup> 的能级结构

Fig. 2 Energy levels of Tm<sup>3+</sup> in a silica host

离子从基态 <sup>3</sup>H<sub>6</sub> 跃迁到 <sup>3</sup>H<sub>5</sub>, 然后 Tm<sup>3+</sup> 离子快速无辐射弛豫到 <sup>3</sup>H<sub>4</sub> 态, 激发态 Tm<sup>3+</sup> 离子由 <sup>3</sup>H<sub>4</sub> 态向 <sup>3</sup>H<sub>6</sub> 受激跃迁产生 1.9 μm 左右波长的激光。

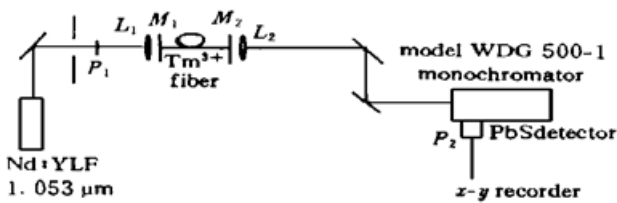


图 3 掺 Tm<sup>3+</sup> 石英光纤激光器谐振腔及实验原理图

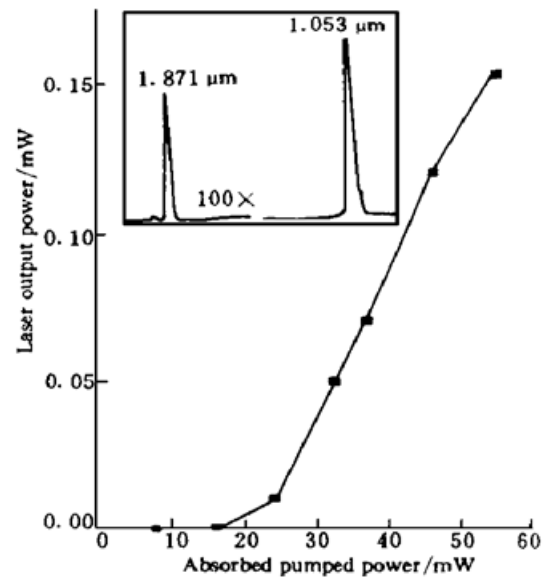
Fig. 3 Resonator configuration used for the Tm fiber laser

图 3 是实验原理图。实验中采用线性腔体, M<sub>1</sub> 在 1.7~ 2.2 μm 带反射率 R = 98%, 而在 λ<sub>p</sub> = 1.053 μm 处透过率 T = 95%, M<sub>1</sub> 和 M<sub>2</sub> 参数相同, 输入输出耦合透镜为普通生物显微镜 10 倍镜头, 光纤使用精密光纤切割刀垂直光纤切割, 光纤端面直接接触在平面反射镜上, 从腔内去掉对激光波长吸收较大的生物显微镜镜头, 以减小腔体损耗, 降低泵浦阈值, 从而避免 Tm<sup>3+</sup> 稀土离子在 <sup>3</sup>H<sub>4</sub> 态的多光子激发态吸收产生可

见光辐射<sup>[6]</sup>, 降低腔体效率。掺 Tm<sup>3+</sup> 石英单模光纤长度分别为 1.7 m, 1 m, 0.7 m, 0.5 m。泵浦光源为美国 Quantronix 公司的 416D 型 Nd<sup>3+</sup>·YLF 激光器, 采用 WDG500-1 型光栅单色仪将 1.053 μm 泵浦光与所产生的长波激光分开, 采用 PbS 光电探测器测量输出光谱。使用美国相干公司的 FM 功率计测量所产生的 1.871 μm 激光, 探头型号为 LM-2IR, 为锗光电二极管。测量时将光栅单色仪的输入输出狭缝开到最大, 将功率计探头放在单色仪输出狭缝 P<sub>2</sub> 处测量 1.871 μm 输出功率, 然后由拟合曲线定出功率计表头实际读数。耦合进光纤的泵浦光功率使用光谱物理公司 405 型功率计在 P<sub>1</sub> 处测量。

图 4 是 1.871 μm 激光的输出功率与吸收泵浦光功率的关系, 图中小框内为所产生的 1.871 μm 激光和泵浦激光 1.053 μm 的光谱曲线。从图中可看出, 由于光纤损耗和激光腔体损耗比较大, 而且从吸收谱看, 在 1.053 μm 处实验用的掺 Tm<sup>3+</sup> 石英光纤对泵浦光的吸收也比较低, 如果泵浦光功率太高, 腔体膜片 M<sub>1</sub> 易被泵浦光损坏, 整个腔体效率比较低, 因此在 1.053 μm, 187 mW 泵浦功率下, 最大输出功率只有 153 μW, 中心波长为 1.871 μm, 斜率效率仅为 0.32%。为避免泵浦功率太强而烧坏耦合双色镜膜片, 进入耦合透镜的泵浦激光功率限

图 4 输出  $1.871 \mu m$  激光功率与吸收的  
 $1.053 \mu m$  泵浦激光功率的关系  
 Fig. 4 The output laser power versus the absorbed  
 pumped laser



制在  $450 \text{ mW}$  以下。

实验中测得了不同光纤长度下输出激光的中心波长, 在光纤长度分别为  $1.7 \text{ m}$ ,  $1 \text{ m}$ ,  $70 \text{ cm}$ ,  $50 \text{ cm}$  时, 中心波长分别为  $1.850 \mu m$ ,  $1.871 \mu m$ ,  $1.889 \mu m$ ,  $1.891 \mu m$ , 这个结果显示光纤长时对长波激光吸收更强一些, 因而光纤长度短一些有利于更长波长激光振荡。

致谢 感谢本所光电子部王治平同志, 本室任克惠、杨斌州、徐大伦老师在实验中的帮助。

### 参 考 文 献

- 1 D. C. Hanna, I. M. Jauncey, R. M. Percival *et al.*. Continuous-wave oscillation of a monomode thulium-doped fiber laser. *Electron. Lett.*, 1989, **24**(17): 1222~ 1223
- 2 D. C. Hanna, M. J. McCarthy, I. R. Perry *et al.*. Efficient high power continuous wave operation of monomode  $Tm^{3+}$ -doped fiber laser at  $2 \mu m$  pumped by Nd:YAG laser at  $1.064 \mu m$ . *Electron. Lett.*, 1989, **25**(20): 1365~ 1366
- 3 R. G. Smart, J. N. Carter, A. C. Tropper *et al.*. Continuous wave oscillation of  $Tm^{3+}$ -doped fiber fluoroconate fiber lasers at around  $1.47 \mu m$ ,  $1.9 \mu m$  and  $2.3 \mu m$  when pumped at  $790 \text{ nm}$ . *Opt. Commun.*, 1991, **82**(5, 6): 563~ 570
- 4 Ch. Ghisler, W. Luthy, H. P. Weber. Cladding-pumping of a  $Tm^{3+}$ - $Ho^{3+}$  silica fibre laser. *Opt. Commun.*, 1996, **132**: 474~ 478
- 5 Kyunghwan Oh, T. F. Morse, A. Kilian *et al.*. Continuous-wave oscillation of thulium-sensitized holmium-doped silica fiber laser. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(4): 278~ 280
- 6 Du Geguo, Liu Dongfeng, Wang Xianhua *et al.*. The experimental study of upconversion process of  $Tm^{3+}$ -doped silicate single-mode fiber pumped by  $1.053 \mu m$  laser. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 1997, **6**(10): 908~ 910 (in Chinese)

## Generation of the $1.871 \mu m$ Laser Oscillation from a Monomode $Tm^{3+}$ -doped Silicate Fiber

Liu Dongfeng<sup>1</sup> Du Geguo<sup>1</sup> Wang Xianhua<sup>1</sup> Chen Guofu<sup>1</sup> Ruan Ling<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The State Key Lab. of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068; <sup>2</sup>The 46th Institute, Electronics Department, Tianjin 300220

**Abstract** The preliminary experimental results of the generation of the  $1.871 \mu m$  laser oscillation from a monomode  $Tm^{3+}$ -doped silicate fiber pumped by a  $1.053 \mu m$  laser is reported. The maximum output power is  $153 \mu W$ , and the slope efficiency is  $0.32\%$ .

**Key words** fiber laser technology, rare earth-doped fiber, optical fiber communication