

掺 Yb^{3+} 双包层光纤激光器中频率上转换 产生可见光的实验研究*

冯 鸣^{1,2} 阮双琛^{1,**} 杜晨林¹ 杜戈果¹ 吕可诚²

(1 深圳大学工程技术学院, 深圳 518060)

(2 南开大学物理科学学院, 天津 300071)

摘 要 报道了激光二极管阵列泵浦的双包层掺 Yb^{3+} 光纤激光器中频率上转换产生可见光的现象, 对可见光区的光谱进行了测量, 发现该上转换过程包括倍频效应和稀土离子间的合作发光效应, 并对频率上转换的通道进行了分析.

关键词 掺 Yb^{3+} 光纤激光器; 上转换发光

中图分类号 TN248 **文献标识码** A

0 引言

光纤激光器以其效率高、阈值低、窄线宽、可调谐、紧凑小巧和性能价格比高等众多的优良特点受到普遍关注. 尤其从 80 年代开始, 由于掺稀土离子光纤生产技术和半导体激光器工艺的发展, 光纤激光器得到了长足发展. 现在, 利用各种掺杂不同稀土离子的光纤, 通过受激辐射和频率上转换效应^[1-7], 可在近红外和可见光区产生激光. 这些稀土掺杂光纤激光器已经在测量、通信、传感、材料加工、军事和医疗等方面具有十分广泛的用途, 其中半导体激光器(LD)泵浦的掺 Yb^{3+} 离子光纤激光器具有稳定性好, 全固化, 体积小等特性, 特别受到人们的重视. 我们在对双包层掺镱光纤激光器的实验研究中发现, 增益光纤的侧面和激光器的正向输出端都存在可见光谱区的荧光^[8]. 最近杨玲珍等对掺镱双包层掺镱光纤中的绿色荧光进行了研究^[9], Magne S. 等人也对其进行了分析^[10]. 但在实验中还发现了蓝色和红色的荧光, 而且在泵浦功率较高的情况下, 蓝色和红色荧光迅速增强, 绿色荧光则相对较弱. 本文报道了双包层掺 Yb^{3+} 光纤器中产生可见荧光(包括蓝色和红色荧光)的实验现象, 并对其产生的机理进行了分析, 此类研究工作尚未见报道.

1 实验装置

实验中掺镱光纤激光器以美国 Coherent 公司提供的大功率 LD 阵列为泵浦源, 中心波长约为

972 nm. 掺镱光纤为 D 型大模面积双包层光纤, 内包层为 340/400 μm , 数值孔径 $\text{NA} = 0.37$; 纤芯为圆形, 模场直径为 30.5 μm , 数值孔径 $\text{NA} = 0.17$, 长度 5 m, 石英基质, Yb_2O_3 浓度为 0.65 mol%. 采用对 1.05 ~ 1.1 μm 高反、对泵浦波长高透的二色镜和光纤后端面为腔镜, 构成 F-P 腔, 该掺镱光纤激光器的最大输出功率为 6.6 W.

为研究掺镱光纤激光器中产生的可见光谱, 将激光器的正向输出端输出的光信号, 经透镜系统耦合进入国产 WDC30 型光栅单色仪, 单色仪的输出荧光信号由美国 Coherent 公司生产的功率计探测, 实验装置如图 1 所示.

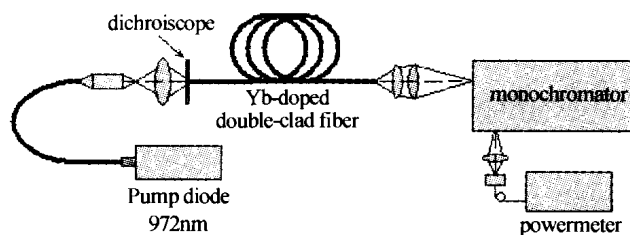


图 1 实验装置
Fig. 1 The diagram of experiment setup

2 实验结果与分析

在不同的半导体激光器输出功率下, 测得掺镱光纤的可见光谱如图 2 所示. 可见区光谱中几个清

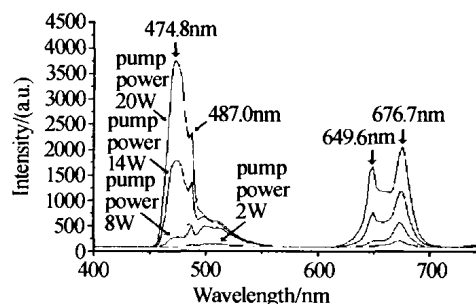


图 2 不同泵浦功率下掺镱石英光纤的上转换光谱
Fig. 2 Upconverted spectra of Yb-doped silica fiber at different pump power

*广东省自然科学基金重点项目(011736)、广东省高校自然科学基金研究项目(Z02062)和广东省“千百十工程”优秀人才培养基金资助(Q02118)

**Tel: 0755-26536215 Email: scruan@szu.edu.cn

收稿日期: 2003-06-17

晰可见的峰值波长为 676.7 nm、649.6 nm、487.0 nm、474.8 nm. 根据 Yb^{3+} 的能级结构和发射谱可以知道, Yb^{3+} 在可见光谱范围内没有对应的跃迁能级, 因此, 可见光的产生机制需要深入探讨. 为此, 我们对分析各种稀土离子的能级分布图和特征谱线, 推断掺铽光纤中的频率上转换产生可见光现象与其中的杂质 Tm^{3+} 有关. 图 3 为简化的石英光纤中 Yb^{3+} 、 Tm^{3+} 电子能级结构图.

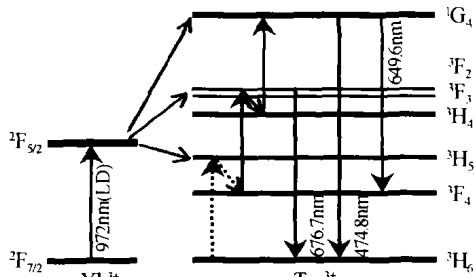


图 3 石英光纤中 Yb^{3+} 和 Tm^{3+} 的能级示意图

Fig. 3 Simple energy levels for Yb^{3+} and Tm^{3+} in silica fiber
实验测得几个峰值波长对应的光谱强度随泵浦功率变化的对数坐标曲线, 如图 4 所示. 其中离散点为实验数据点, 直线为拟合曲线.

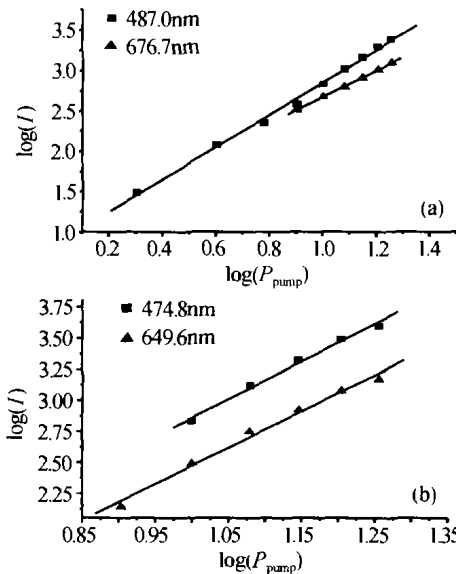


图 4 光纤中各峰值波长光强与泵浦功率之间的对数关系
Fig. 4 Dependence of fluorescence emission intensity on pump power

其中 487.0 nm 谱线的强度随泵浦功率变化的对数关系比较稳定, 基本不随泵浦功率变化, 曲线斜率为 2.003, 即谱线强度与泵浦激光功率近似成平方关系, 且谱线波长恰为泵浦光波长的 1/2, 因此可以断定, 该谱线应为泵浦光在光纤中产生的二倍频光, 而不是由光纤中的杂质 Tm^{3+} 引起的. 而 676.7 nm、649.6 nm 和 474.8 nm 三条谱线在较高泵浦功率下的对数曲线斜率分别为 1.644、2.922 和 3.018, 说明荧光强度分别正比于泵浦功率的 1.644、2.922 和 3.018 次方, 因此, 649.6 nm 和 474.8 nm 谱线应为三光子过程, 676.7 nm 谱线近似为双光子过程. 由

于我们所使用的光纤中 Yb^{3+} 浓度远大于 Tm^{3+} 的浓度, 而且 Yb^{3+} 的吸收截面很大, 因此几乎全部泵浦光都被 Yb^{3+} 吸收, 然后以能量传递的方式转移到 Tm^{3+} 的能级上, 即光纤中的可见光现象以合作发光为主, 由此可以得出上转换发光的跃迁通道. 在 972 nm 的半导体激光泵浦下, 一个基态 Yb^{3+} 被激发到 $^2\text{F}_{5/2}$ 能级, 通过能量传递把附近的一个处于基态的 Tm^{3+} , 激发到 $^3\text{H}_5$ 能级, 而该能级寿命很短, 很快无辐射弛豫到 $^3\text{F}_4$ 能级, 另一个处在激发态的 Yb^{3+} 又通过能量传递把 Tm^{3+} 从 $^3\text{F}_4$ 激发至 $^3\text{F}_2$ 、 $^3\text{F}_3$ 能级, 其中部分 $^3\text{F}_2$ 能级的 Tm^{3+} 跃迁至基态, 辐射出 676.7 nm 红光, 其他 Tm^{3+} 则很快弛豫至 $^3\text{H}_4$ 能级, Yb^{3+} 向 Tm^{3+} 的再一步能量传递把 Tm^{3+} 激发至 $^1\text{G}_4$ 能级, Tm^{3+} 由此能态到第一激发态 ($^3\text{F}_4$) 的跃迁辐射出 649.6 nm 红光, 到基态 ($^3\text{H}_6$) 的跃迁辐射出 474.8 nm 的蓝光. 在实验中, 观察到 676.7 nm、649.6 nm 和 474.8 nm 三条谱线的强度随泵浦功率变化的对数关系较为复杂, 在泵浦功率较低的情况下, 谱线强度与泵浦功率间的对数关系线性度较差, 实验数据点与拟合曲线的偏差较大, 而在泵浦功率较高情况下, 谱线强度与泵浦功率间的对数关系趋于稳定, 线性度逐渐变好, 而且实验数据点和拟合曲线间的偏差也较小. 分析表明, 这是因为在功率较小时, 光纤中激光尚未形成或不够稳定, 粒子数分布较为复杂, 所以各种多光子过程都有发生, 而当功率较大时, 粒子数分布逐渐稳定, 而跃迁的通道也随之稳定, 由不同功率下的光谱分布也可以看出, 在功率较小时三条谱线均不明显, 而随着功率的增大则逐渐清晰, 说明在功率较低时, 各种跃迁成分较为复杂, 而功率增大后跃迁通道基本稳定.

3 结论

对半导体激光器泵浦的双包层掺 Yb^{3+} 激光器中产生可见荧光的现象进行了实验研究, 其荧光光谱主要由红光和蓝光组成, 其产生机制包括由非线性效应引起的二倍频效应, 和由稀土离子间的合作发光引起的合作发光效应, 并对上转换的跃迁通道进行了分析, 其中两条谱线为三光子过程, 一条谱线为双光子过程.

参考文献

- Smart R G, Hanna D C, Tropper A C, et al. CW room temperature upconversion lasing at blue, green and red wavelengths in infrared-pumped Pr^{3+} -doped fluoride fibre. *Electron Lett*, 1991, **27**(14):1307 ~ 1309
- Allain J Y, Monerie M, Poignant H. Tunable green upconversion erbium fibre laser. *Electron Lett*, 1992, **28**

- (2):111 ~ 113
- 3 Funk D S, Stevens S B, Eden J G. Excitation spectra of the green Ho: fluorozirconate glass fiber laser. *IEEE Photonics Technology Lett*, 1993, **5**(2):154 ~ 157
 - 4 Dennis M L, Dixon J W, Aggarwal I. High power upconversion lasing at 810 nm in Tm:ZBLAN fibre. *Electron Lett*, 1994, **30**(2):136 ~ 137
 - 5 Xie Ping, Gosnell T R. Room-temperature upconversion fiber laser tunable in the red, orange, green, and blue spectral regions. *Optics Letters*, 1995, **20**(9):1014 ~ 1016
 - 6 Zellmer H, Plamann K, Huber G, et al. Visible double-clad upconversion fibre laser. *Electron Lett*, 1998, **34**(6):565 ~ 567
 - 7 杜戈果, 刘东峰, 王贤华, 等. 掺 Tm^{3+} 石英光纤中频率上转换产生可见光的实验研究. *光子学报*, 1997, **26**(10):908 ~ 910
 - 8 阮双琛, 冯鸣, 文华胡, 等. 高效掺 Yb^{3+} 双包层光纤激光器的研究. *光子学报*, 2003, **32**(8):911 ~ 913
 - 9 杨玲珍, 董淑福, 郑瑶雷, 等. 掺 Yb^{3+} 双包层光纤中的绿光荧光分析. *光子学报*, 2003, **32**(8):897 ~ 899
 - 10 Magne S, Ouerdane Y, Druetta M, et al. Cooperative luminescence in an ytterbium-doped silica fiber. *Optics Communication*, 1994, **111**(3 ~ 4):310 ~ 316

Frequency Upconversion in Yb^{3+} -doped Fiber Laser in the Visible Region

Feng Ming^{1,2}, Ruan Shuangchen¹, Du Chenlin¹, Du Geguo¹, Lü Kecheng²

¹ College of Engineering and Technology, Shenzhen University, Shenzhen 518060

² Department of Physics, Nankai University, Tianjin 300071

Received date: 2003-06-17

Abstract Frequency upconversion in the visible region has been studied in multi-mode Yb^{3+} -doped D-shape double-cladding fiber laser pumped by laser diode array. Upconversion luminescence of the fiber laser was measured and red and blue light was observed. From the measured spectra, the mechanism of transitions has been analyzed.

Keywords Yb^{3+} doped fiber laser; Upconversion luminescence



Feng Ming was born in Hebei Province, China. He received the B. S. degree from the Department of Physics in Nankai University in 2001. Since then he has been working towards the Ph. D. degree in Department of Physics in Nankai University.