

掺 Er³⁺ 石英光纤中频率上转换的实验研究*

华一敏 李 劬 陈英礼 陈益新
(上海交通大学应用物理系, 上海 200030)

提 要

首次报道了实验研究连续 1064 nm 激光泵浦的掺 Er³⁺ 石英光纤中频率上转换过程。测量了 Er³⁺/GeO₂/SiO₂ 和 Er³⁺/Al₂O₃/GeO₂/SiO₂ 两种光纤发射的可见荧光谱, 并用 Er³⁺ 离子的双光子吸收和受激态吸收过程解释了频率上转换现象。

关键词: 光纤, 掺铒光纤, 频率上转换。

最近, 掺稀土离子 Nd³⁺[1]、Tm³⁺[2] 和 Yb³⁺/Tm³⁺[3] 石英光纤中频率上转换现象引起了人们很大的兴趣。利用频率上转换过程可实现近红外光泵浦的室温光纤可见光超荧光光源和激光光源。对于掺 Er³⁺ 光纤, 目前在 1.5 μm 光纤放大器和激光器方面的研究进展十分迅速, 但频率上转换方面的研究迄今未见报道。本文首次报道了在 Er³⁺/GeO₂/SiO₂ 和 Er³⁺/Al₂O₃/GeO₂/SiO₂ 两种掺杂光纤中频率上转换过程的实验现象。

实验用的红外泵浦光源是一台输出波长为 1064 nm 的连续 Nd:YAG 激光器, 掺杂光纤**为 Er³⁺/GeO₂/SiO₂ 和 Er³⁺/Al₂O₃/GeO₂/SiO₂, 表 1 中列出了这些光纤的 Er³⁺ 离子掺杂量和其它参数。图 1 是 Er³⁺ 离子的简化能级图。

Table 1 Parameters of Er³⁺ doped silica fibers

No.	core dopants		2a(μm)	Δn
	Er ³⁺ (ppm)	Al ³⁺ (wt%)		
1	25	—	5.8	0.0126
2	230	—	5.2	0.0125
3	30	0.3	6.8	0.0075
4	790	1.0	8.9	0.0043

在 1064 nm 连续激光照射下, 上述四根光纤都发出蓝荧光。我们用一台 0.5 m 单色仪和一个光电倍增管, 测量了光纤内连续红外泵浦激光为 60 mW 时, 长度为 60 cm 光纤产生的频率上转换荧光谱, 并用功率计测量了频率上转换荧光的强度。这四根光纤的测量结果如表 2 所示。图 2 是纤内泵浦 1W 光为时光纤(No. 3)的频率上转换荧光谱。

上述实验结果表明, 在确定的红外泵浦激光功率下, 掺 Er³⁺ 光纤产生的上转换荧光强度随铒离子掺杂量的增多而增大。对表 1 中的 No.1 和 No.2 光纤而言, 两者的纤内泵浦

收稿日期: 1991 年 5 月 17 日; 收到修改稿日期: 1991 年 6 月 24 日

* 国家自然科学基金和上海交通大学科学基金资助的项目。

** 中国建筑材料科学研究院用溶液法生长的。

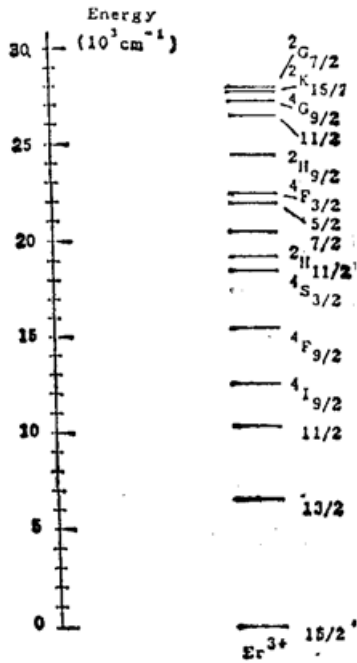


Fig. 1 A simplified energy level diagram for Er³⁺ doped silica fibers

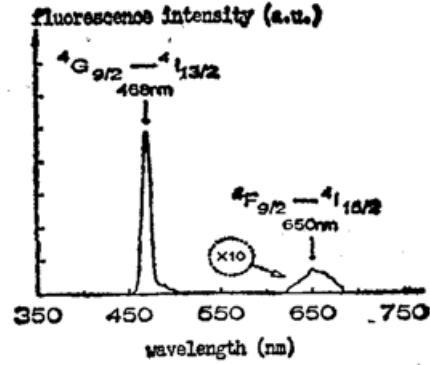


Fig. 2 Upconverted spectra of Er³⁺ doped silica fiber (No. 3) pumped at 1064nm

Table 2 Measured upconverted intensities, wavelenghtes and bandwidthes (FWHM) of Er³⁺ doped silica fibers

No.	Upconverted spectra		
	intensity (μ W)	wavelength (nm)	bandwidth (nm)
1	1.1	466	13.9
2	10.1	466	14.1
3	2.3	468	12.3
4	10.2	468	12.8

激光功率密度几乎相同(几何参数比较接近), 因此上转换荧光强度与光纤中的 Er³⁺ 离子掺杂量成正比。再掺入 Al³⁺ 离子, 上转换荧光峰值波长从 466 nm 移到 468 nm, 谱线宽度也变窄。

另外, 随着泵浦激光功率的提高, 上转换荧光的谱线宽度逐渐变小(图 3)。当纤内 (No.3 光纤) 泵浦功率从 10 mW 增加到 380 mW, 荧光谱线宽度从 13.8 nm 减小到 11.5 nm, 这表明光纤中产生的上转换荧光具有放大自发辐射的特性。

为了分析频率上转换的泵浦过程, 测量了不同泵浦激光强度下的上转换荧光强度的变化情况。由于形成导模的荧光在光纤芯区被 Er³⁺ 离子再吸收, 将会影响泵浦激光强度与上转换荧光强度比值的测量。而光纤芯径很细, 几十微米厚的包层中几乎没有掺杂 Er³⁺ 离子, 因而形成泄漏模的荧光几乎没有被 Er³⁺ 离子再吸收。因此测量光纤漏模的荧光, 就可避免 Er³⁺ 离子再吸收的影响。

典型的上转换荧光强度随泵浦激光功率变化的实验曲线(No.3 光纤) 如图 4 所示。上转换荧光强度随泵浦激光功率变化的对数曲线的斜率为 2.9。这一实验结果证明, 468 nm 谱线荧光强度与泵浦激光功率成三次幂关系, 因此泵浦过程属于三光子吸收过程。在连续

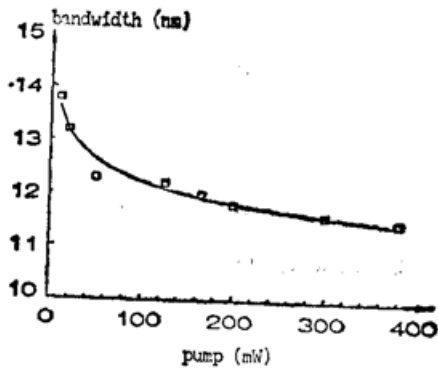


Fig. 3 Measured bandwidth (FWHM) of emitted radiation (fiber No. 3) at 468 nm as a function of pump power

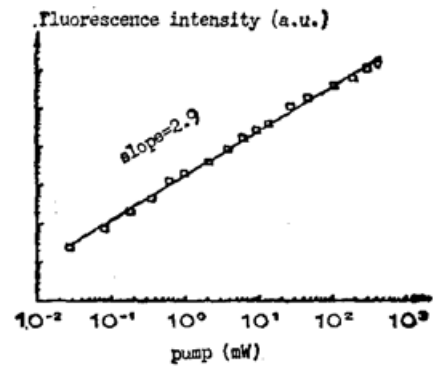


Fig. 4 Power dependence of emitted radiation (fiber No. 3) at 468 nm on the excitation power at 1064 nm

1064 nm 激光泵浦下, 首先是一个 Er^{3+} 离子双光子吸收过程, Er^{3+} 离子从基态跃迁到 $^2H_{11/2}$ 能态上, 然后在 $^2H_{11/2}$ 受激态吸收一个红外光子, 跃迁到 $^4G_{9/2}$, 接着发生 $^4G_{9/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$ 跃迁, 发射蓝荧光。跃迁到 $^4I_{13/2}$ 态的一个实验依据(图 2)是光纤还发射微弱的红荧光 (650 nm), 但没有绿荧光 (547 nm)。这证明在 $^4I_{13/2}$ 亚稳态的 Er^{3+} 离子吸收了一个 1064 nm 泵浦光子跃迁到 $^4F_{9/2}$ 态, 然后发射红荧光回到基态。而石英光纤中 Er^{3+} 离子 $^4G_{9/2}$ 和 $^4I_{13/2}$ 能级的精确值, 将需进一步的实验工作来测定。

实验结果表明, 在连续 1064 nm 激光泵浦下, 利用 Er^{3+} 离子的双光子吸收和受激态吸收过程, 吸收三个红外光子, 发射一个蓝光子, 在掺 Er^{3+} 光纤中可实现红外光——可见光频率上转换。上转换荧光的强度与光纤中的 Er^{3+} 离子掺杂量成正比。再掺 Al^{3+} 离子, 将使上转换荧光峰值波长发生红移, 谱线宽度也变窄。因此, 利用光纤中稀土离子 Er^{3+} 的基态双光子吸收和受激态吸收产生的频率上转换过程, 可制成微型 YAG 激光器泵浦的光纤蓝光荧光源。

中国建筑材料科学研究院提供本实验用的掺 Er^{3+} 石英光纤, 谨此致谢!

参 考 文 献

- [1] T. F. Carruthers, I. N. Duling *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **54**, No. 10 (6 Mar), 875~877.
- [2] A. S. L. Gomes, Cid B. de Araujo; *CLEO'90, Anaheim California, U. S.A.*, May 1990, Paper CME2.
- [3] D. O. Hanna, R. M. Percival *et al.*; *Opt. Commun.*, 1990, **78**, No. 2 (15 Aug), 187~194.

Experiment on frequency up-conversion in Er^{3+} doped silica fibers

HUA YIMIN, LI QU, CHEN YINGLI AND CHEN YIXIN

(*Department of Applied Physics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030*)

(Received 17 May 1991; revised 24 June 1991)

Abstract

Frequency up-conversion in Er^{3+} doped silica fibers pumped by a CW 1064 nm laser has been first demonstrated. The visible fluorescence spectra of $\text{Er}^{3+}/\text{GeO}_2/\text{SiO}_2$ and $\text{Er}^{3+}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_2/\text{SiO}_2$ optical fibers were measured. Two-photon absorption and excited-state-absorption of Er^{3+} ions are proposed to account for the experimental observation.

Key words: fiber, Er^{3+} -doped fiber, frequency upconversion.