

文章编号: 0253-2239(2001)06-0757-05

Er³⁺ 单掺及 Yb³⁺/Er³⁺ 双掺 LaLiP₄O₁₂ 玻璃 光谱性质研究

张 龙 林凤英 祁长鸿 胡和方

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要: 制备了 Er³⁺ 单掺及 Yb³⁺/Er³⁺ 双掺四磷酸盐玻璃, 测量了吸收光谱、荧光光谱, 用 McCumber 理论计算 Er³⁺ 的发射截面, 研究了其荧光特性、浓度猝灭及其机制、以及 OH 基对荧光强度和能量传递的影响, 研究发现对四磷酸盐玻璃 Yb³⁺ 的最佳浓度约为 1.82×10^{21} ions/cm³, Er³⁺ 最佳浓度约为 0.96×10^{20} ions/cm³。

关键词: Er³⁺ 单掺; Yb³⁺/Er³⁺ 掺杂; 四磷酸盐玻璃; 光谱性质

中图分类号: TQ171.1⁺12 文献标识码: A

1 引 言

Er³⁺ 和 Yb³⁺/Er³⁺ 掺杂材料可作为在第三通信窗口及眼睛安全区域的激光增益介质, 多年来一直受到人们的重视^[1]。近年来, Er³⁺ 和 Yb³⁺/Er³⁺ 掺杂玻璃作为 1.5 μm 微片激光器和光波导放大器基质材料受到了极大的关注^[2~8]。它为许多重要的应用提供了可能, 如高比特长距离光纤通信、激光雷达、激光测距、相干光学传输等方面^[5,6]。Er³⁺ 离子能级结构对 1.5 μm 光放大而言是一个三能级系统, 这就要求较高的抽运速率以使粒子数反转, 另外 Er³⁺ 在 970 nm 处较低的吸收截面也限制了其抽运吸收效率。Yb³⁺ 离子在 970 nm 附近有很强的吸收, 并且 Yb³⁺ 发射(²F_{5/2} → ²F_{7/2}) 与 Er³⁺ 吸收(⁴I_{15/2} → ⁴I_{11/2}) 在光谱上有很大重叠, 保证了从 Yb³⁺ 到 Er³⁺ 有较高的能量传递效率^[1]。

作为微片激光器或光波导放大器的工作物质, 其基质玻璃中必须含有足够高的稀土离子浓度以使在很短的激活长度范围内对激发光有高的吸收并获得足够高的增益^[3,7], 但高浓度的稀土离子往往会引起玻璃失透析晶以及强烈的浓度猝灭。稀土四磷酸盐玻璃(LaLiP₄O₁₂), 由于其高浓度、低猝灭、高增益、低阈值等特点, 作为小型化固体激光器的理想基质材料得到了相当的重视和研究^[9]。同时由于其较大的声子能量也增加⁴I_{11/2} → ⁴I_{13/2} 弛豫几率, 阻碍 Er³⁺ 到 Yb³⁺ 反向能量传递的进行, 提高 1.5 μm 发射量子效率。因此, 四磷酸盐玻璃是理想的 Er³⁺ 及

Yb³⁺/Er³⁺ 掺杂基质玻璃材料。系统研究 Er³⁺ 及 Yb³⁺/Er³⁺ 掺杂四磷酸盐玻璃的光学光谱性质对发展 1.5 μm 激光玻璃的理论和现实应用都有重要意义。

2 实 验

2.1 样品制备

实验中玻璃样品的基本化学组成为 LiEr_xYb_yLa_(1-x-y)P₄O₁₂, 实验中所用的原料都为化学纯以上氧化物及碳酸盐, Er₂O₃、Yb₂O₃ 是分析纯原料。将由上述原料组成的 50g 玻璃配合料充分混合装入铂金坩埚内, 放置 1100 °C ~ 1250 °C 硅碳棒电炉中熔制, 同时向玻璃液中通氧气以减少玻璃中 OH 基含量。熔制 90 min 后, 在铝模上浇注成型, 接着在玻璃化转变温度 T_g 附近退火 60 min, 随后随炉冷却至室温。为了研究最优化的掺杂浓度以及能量传递过程, 制备了含有不同 Er³⁺ 及 Yb³⁺ 浓度的样品。除用于红外测试的样品加工成 20 mm × 15 mm × 1 mm, 用于其它光学测试的玻璃样品都加工成 20 mm × 15 mm × 3 mm, 两大面抛光。

2.2 光谱性能测试

光谱测试在常温下进行。吸收光谱、发射光谱分别在 Lambda 9 UV/VIS/NIR 型、HITACHI330 型光谱仪上测定。发射光谱所用抽运源为 InGaAs 激光二极管, 抽运波长为 970 nm, 单色仪为国产 WDG30 型, 光电倍增管是 R940-02 型, 荧光信号由 XWT-264 型记录仪记录。测定荧光寿命时, 将抽运源脉冲频率调到 25 Hz, 测量时激发位置离样品边

缘 1 mm, 以尽量降低发射光自吸收的影响。记录仪显示荧光衰减曲线, 可直接读出荧光寿命。

样品红外光谱用 HITACHI-270-50 型红外光谱仪测定, 测试范围为 $400\text{ cm}^{-1} \sim 4000\text{ cm}^{-1}$ 。密度及折射率用常规方法测得。

3 结果和讨论

3.1 Er_2O_3 、 Yb_2O_3 溶解性

测量了 $\text{LiEr}_x\text{La}_{(1-x)}\text{P}_4\text{O}_{12}$ 玻璃 $4I_{15/2} \rightarrow 4I_{13/2}$ (Er^{3+}) 和 $\text{LiYb}_x\text{La}_{(1-x)}\text{P}_4\text{O}_{12}$ 玻璃 $2F_{7/2} \rightarrow 2F_{5/2}$ (Yb^{3+}) 跃迁积分吸收强度分别随 Er^{3+} 和 Yb^{3+} 浓度的变化, 这是一种分析稀土离子在玻璃中溶解性能的简单有效方法^[10]。如图 1 所示, 积分吸收强度随 Er^{3+} 或 Yb^{3+} 浓度的变化表现了很好的线性关系, 仅当 Yb^{3+} 为 2.4×10^{21} ions/cm³ 后有稍微的偏离, 这说明 Er^{3+} 及 Yb^{3+} 在 $\text{LiLaP}_4\text{O}_{12}$ 玻璃中有很好的溶解性能。

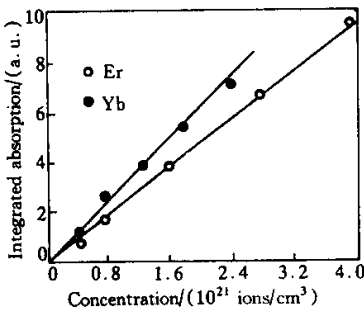


Fig. 1 The relationship of the magnitudes of integrated absorption for the $4I_{15/2} \rightarrow 4I_{13/2}$ (Er^{3+}) and $2F_{7/2} \rightarrow 2F_{5/2}$ (Yb^{3+}) transitions with the Er^{3+} and Yb^{3+} contents in $\text{LiEr}_x\text{La}_{(1-x)}\text{P}_4\text{O}_{12}$ and $\text{LiYb}_x\text{La}_{(1-x)}\text{P}_4\text{O}_{12}$ glasses, respectively

3.2 吸收截面 $\sigma_a(\lambda)$ 和发射截面 $\sigma_e(\lambda)$

Er^{3+} 离子 $4I_{15/2} \rightarrow 4I_{13/2}$ 跃迁吸收截面直接从测量的吸收谱中计算得到:

$$\sigma_a = \frac{2.303 \lg(I_0/I)}{NL}, \quad (1)$$

这里 $\lg(I_0/I)$ 为吸收率 (I_0 为入射光强, I 为通过长度为 L 的介质后的光强), N 为 Er^{3+} 离子浓度 (单位为 ions/cm³)。

发射截面按 McCumber 理论计算得到^[11]。按照 McCumber 理论, 吸收截面与发射截面有如下关系:

$$\sigma_e(\nu) = \sigma_a(\nu) \exp\left[\frac{\epsilon - h\nu}{kT}\right], \quad (2)$$

这里, ν 为光子频率; ϵ 为与温度有关的激发能量, 按照 Miniscalco 等人^[12]的方法从吸收和荧光光谱中确定, 对于四磷酸盐玻璃中 Er^{3+} 离子 $4I_{13/2} \rightarrow 4I_{15/2}$, 我们计算得到 $\epsilon = 6550\text{ cm}^{-1}$; h 为普朗克 (Planck) 常数; k 为玻尔兹曼常数。图 2 给出了 Er^{3+} 在四磷酸盐玻璃中 $4I_{15/2} \rightarrow 4I_{13/2}$ 的吸收及发射截面, 在 $1.54\text{ }\mu\text{m}$ 处 σ_a 和 σ_e 分别为 $0.40\text{ }\mu\text{m}^2$ 和 $0.48\text{ }\mu\text{m}^2$ 。同时我们也使用倒易法^[13]计算了其发射截面, 从图 2 可以看出, 用 McCumber 理论和倒易法计算的结果是相当一致的。

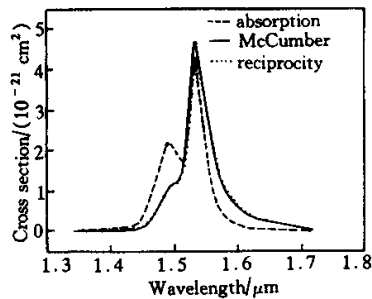
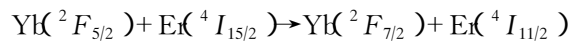


Fig. 2 The absorption and emission cross-section of Er^{3+} in $\text{LiLaP}_4\text{O}_{12}$ glass

3.3 $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ 体系能量传递

图 3 表示了 $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ 体系的简单能级结构图, 在 970 nm 激发下, Yb^{3+} 到 Er^{3+} 的能量传递 (ET), 即



实际上起到间接抽运 Er^{3+} 离子到 $4I_{11/2}$ 能级的作用, 因此此能量传递的效率对 $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ 体系来说是非常重要的。

在 $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ 体系中, 由于 Yb^{3+} 离子 $2F_{5/2} \rightarrow 2F_{7/2}$ 发射与 Er^{3+} 离子 $4I_{15/2} \rightarrow 4I_{11/2}$ 吸收存在很大的光谱重叠, 以及 Er^{3+} 离子 $4I_{11/2}$ 能级短的寿命, 从而保证了在 $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ 体系中 $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Er}^{3+}$ 有很高的正向能量传递效率。能量传递效率 η 可表示为^[8]:

$$\eta = 1 - \tau_{\text{Yb}}/\tau_{\text{Yb}}^0, \quad (3)$$

这里, τ_{Yb} 和 τ_{Yb}^0 分别为掺有和未掺有 Er^{3+} 时所测得的 Yb^{3+} 离子 $2F_{5/2}$ 能级寿命。

我们计算了 $\text{LiEr}_{0.025}\text{Yb}_y\text{La}_{(0.0975-y)}\text{P}_4\text{O}_{12}$ 玻璃 $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Er}^{3+}$ 的正向能量传递效率, 结果如图 4 所示。可以看出 Yb^{3+} 到 Er^{3+} 的能量传递效率是相当高的, 而且随 Yb^{3+} 浓度的增加, 传递效率 η 也增加 ($y=0.45$ 时, η 为 95%)。这是因为随 Yb^{3+} 浓度的增加, $\text{Yb}^{3+}-\text{Er}^{3+}$ 间距离减小, 它们间相互作用也就增强。

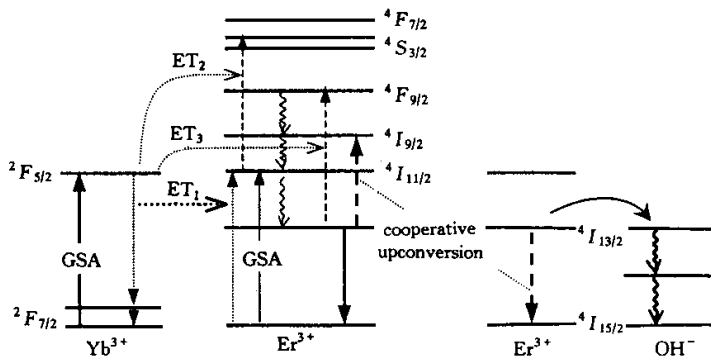


Fig. 3 Energy level diagram of the erbium-ytterbium system. The solid-line arrows refer to radiative phenomena, the dash-line arrows refer to energy transfer (ET) process

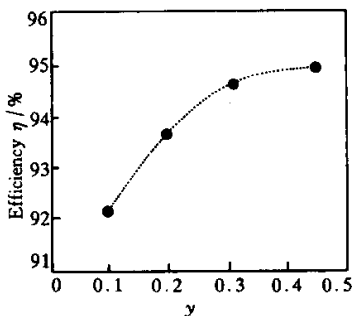


Fig. 4 The dependence of the efficiency of energy transfer from Yb³⁺ to Er³⁺ in LiEr_{0.025}Yb_yLa_(0.975-y)P₄O₁₂ glasses on Yb³⁺ concentration

3.4 Er³⁺ 和 Er³⁺/Yb³⁺ 掺杂玻璃荧光特性

在 970 nm 激光二极管激发下,在 Er³⁺ 及 Yb³⁺/Er³⁺ 掺杂玻璃样品中可以观察到位于 1.54 μm 附近的 ⁴I_{13/2} → ⁴I_{15/2} 荧光发射。如图 5 所示, Yb³⁺/Er³⁺ 样品的 1.54 μm 荧光强度比 Er³⁺ 单掺样品要强得多。

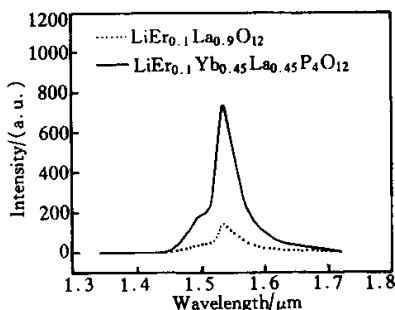


Fig. 5 Emission spectra of Er³⁺ in LiLaP₄O₁₂ glasses, excited at 970 nm

Yb³⁺ 在 970 nm 处有很强的吸收,其吸收截面比 Er³⁺ 离子要大得多,如图 6 所示。同时, Yb³⁺ 离子的两能级结构也使得 Yb³⁺ 离子一般不易产生浓度猝灭,所以在玻璃中作为敏化剂 Yb³⁺ 离子的浓度往往比 Er³⁺ 离子要高的多。因此相比于 Er³⁺ 单掺,

Yb³⁺/Er³⁺ 体系有着高得多的抽运吸收效率。而且从上一节可知, Yb³⁺ → Er³⁺ 的正向能量传递效率非常高。由于这些原因, Yb³⁺ 敏化作用下,能量传递 ²F_{5/2}(Yb³⁺) + ⁴I_{15/2}(Er³⁺) → ²F_{7/2}(Yb³⁺) + ⁴I_{11/2}(Er³⁺) 的作用将远强于 Er³⁺ 的基态吸收 ⁴I_{15/2} → ⁴I_{11/2} 的作用。因此 Yb³⁺/Er³⁺ 双掺样品 ⁴I_{13/2} → ⁴I_{15/2} 跃迁荧光强度比 Er³⁺ 单掺样品要强得多。

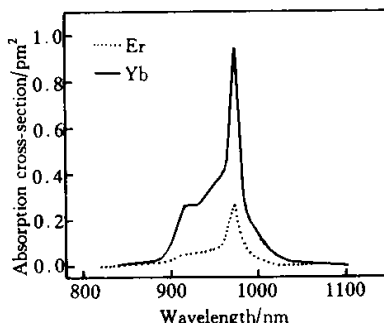


Fig. 6 Absorption cross section spectrum for Yb³⁺ and Er³⁺ at 970 nm band

为了理解 ⁴I_{13/2} → ⁴I_{15/2} 跃迁荧光强度与离子浓度之间的关系,分别画出了荧光强度与 Er³⁺ 及 Yb³⁺ 离子浓度间的关系,如图 7 和图 8 所示,光滑的曲线通过实验点以强调变化趋势。从两图可看

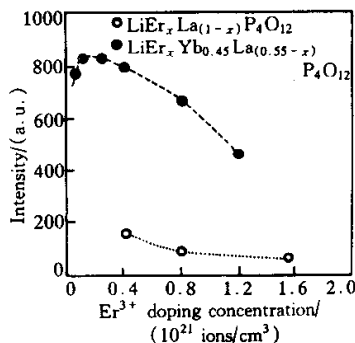


Fig. 7 The dependence of the 1.54 μm fluorescence intensity upon the content of Er³⁺

出随着 Er^{3+} 和 Yb^{3+} 浓度的增加, 荧光强度先增加然后减小, Yb^{3+} 最佳浓度远高于 Er^{3+} 的最佳浓度。 Yb^{3+} 最佳浓度约为 1.82×10^{21} ions/cm³, 这与 Jiang 等最近的结果是相当一致的^[41]; Er^{3+} 最佳浓度约为 $(0.96 \sim 2.46) \times 10^{20}$ ions/cm³。

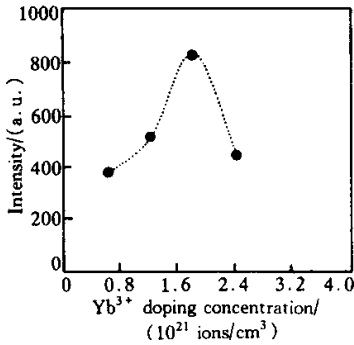


Fig. 8 The dependence of the 1.54 μm fluorescence intensity upon the content of Yb^{3+} in $\text{LiEr}_{0.025}\text{Yb}_x\text{La}_{0.975-x}\text{P}_4\text{O}_{12}$ glass

正如图 3 所示, 1.54 μm 激光上能级 $^4I_{13/2}$ 上的粒子除了向 $^4I_{15/2}$ 能级受激跃迁发出激光外, 同时还将通过“协作”上转换^[7,81]、能量传递和激发态吸收 (ESA) 进一步向高能级激发, 这样一来就势必使 $^4I_{13/2}$ 能级上的布居数减少, 影响反转粒子数。这两者之间是存在竞争的。随着 Er^{3+} 离子浓度的增加, Er^{3+} 离子间的“协作”上转换以及由于 Yb^{3+} 与 Er^{3+} 间进一步的能量传递而导致的 Er^{3+} 离子激发态吸收过程都将增强, $^4I_{13/2}$ 能级上的布居数反而可能减少, 从而出现了 $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ 荧光发射的浓度猝灭效应 (如图 7)。根据许多作者^[8,44]的简化速率方程模型, $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ 荧光发射强度将随 Yb^{3+} 浓度的增加而增强。然而, 我们的实验结果并非完全如此 (如图 8)。随 Yb^{3+} 浓度增加, 由于抽运光吸收效率及能量传递 1 过程 (图 3) 能量传递的增强, 起初荧光强度也增加。在四磷酸铈钇玻璃中, Yb^{3+} 的最佳浓度为 1.82×10^{21} ions/cm³, 而更大的 Yb^{3+} 浓度将减小荧光发射量子效率。我们认为这可能是因为高的 Yb^{3+} 浓度将增加从 Er^{3+} ($^4I_{11/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$) 到 Yb^{3+} ($^2F_{7/2} \rightarrow ^2F_{5/2}$) 的反向能量传递速率, 进而减少了 $^4I_{13/2}$ 能级的布居数。同时在如此高的 Yb^{3+} 浓度掺杂时, Yb^{3+} 离子的分布不均匀、“离子对”及“簇”都可能出现^[15,16]。从图 1 可以看到当 Yb^{3+} 离子为 2.40×10^{21} ions/cm³ 时存在线性关系的偏离, 这可能与这种 Yb^{3+} 的“离子对”或“簇”有关。

3.5 OH 基对 1.5 μm 荧光的影响

由于磷酸盐激光玻璃对水有很强的亲合力^[17], 因此磷酸盐玻璃中就可能含有含量较高的 OH^- , 在没

有除水处理情况下, 玻璃中残存的 OH^- 更多。 OH^- 基对红外发射有很大的影响^[18,19], 我们的实验结果表明: $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ 体系即 1.54 μm 荧光发射, 未通氧气与通氧气在荧光强度上差别很大, 通气 60 min 的 $\text{LiEr}_{0.025}\text{Yb}_{0.45}\text{La}_{0.425}\text{P}_4\text{O}_{12}$ 玻璃其荧光强度要比未通氧气样品强 3 倍之多。

图 9 是 Yb^{3+} 单掺玻璃红外透光谱图, 实线表示通氧 60 min, 虚线表示未通氧气。从图中可以看出, 未通氧玻璃中 OH^- 基含量明显高于通氧玻璃样品。由于玻璃中的 OH^- 基振动频率 ($2700 \text{ cm}^{-1} \sim 3700 \text{ cm}^{-1}$) 要比其它的结合键振动频率要高得多, 结果只需 2~3 个声子振动就可使 $^4I_{13/2}$ 无辐射跃迁到 $^4I_{15/2}$, 在图 3 中示意了 OH^- 的这种猝灭过程。因此 OH^- 基是 1.54 μm 荧光发射强的猝灭剂, 图 10 也证明了这一点。图 10 表示了 $^4I_{13/2}$ (Er^{3+}) 和 $^2F_{5/2}$ (Yb^{3+}) 能级衰减速率 ($1/\tau_m$) 与 OH^- 带峰值吸收系数 α_{OH} 的关系。可以看出, 随着 OH^- 含量的增加 (OH^- 含量用 α_{OH} 表示), $^2F_{5/2}$ (Yb^{3+}) 及 $^4I_{13/2}$ (Er^{3+}) 能级衰减速率增加 (能级寿命都减小)。这样不仅从 Yb^{3+} ($^2F_{5/2} \rightarrow ^2F_{7/2}$) 到 Er^{3+} ($^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$) 的能量传递效率下降, 而且 Er^{3+} 离子 $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ 发射量子效率也将减小。故降低玻璃中 OH^- 含量是保证 $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ 体系 1.54 μm 激光性能的重要因素之一。

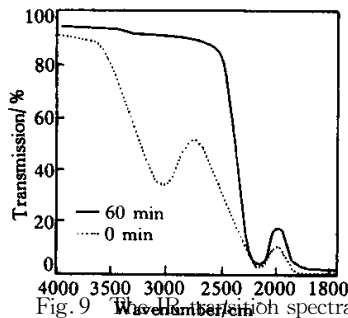


Fig. 9 Infrared spectra of glass sample with 1 mm thickness

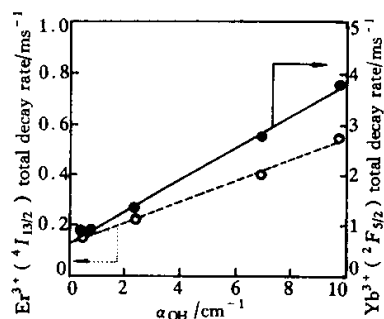


Fig. 10 The influence of OH^- content on the measured lifetime in $\text{LiEr}_{0.1}\text{La}_{0.9}\text{P}_4\text{O}_{12}$ and $\text{LiYb}_{0.45}\text{La}_{0.55}\text{P}_4\text{O}_{12}$ glasses

结论 1)相比 Er^{3+} 离子, Yb^{3+} 离子在 970 nm 处有更大的吸收截面,且 Yb^{3+} (${}^2F_{5/2} \rightarrow {}^2F_{7/2}$) 到 Er^{3+} (${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$) 的能量传递效率 η 很高(在 $\text{LiEr}_{0.025}\text{Yb}_{0.45}\text{La}_{0.525}\text{P}_4\text{O}_{12}$ 玻璃中 η 达 95%),因此 $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ 双掺比 Er^{3+} 单掺有强得多的荧光强度。

2)用 McCumber 理论计算出 Er^{3+} 离子在四磷酸盐 $1.54 \mu\text{m}$ 发射截面 σ_e 为 0.48 pm^2 。

3)对 $1.54 \mu\text{m}$ 发射,在 $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ 掺杂四磷酸盐玻璃中 Yb^{3+} 的最佳浓度约为 $1.82 \times 10^{21} \text{ ions/cm}^3$, Er^{3+} 最佳浓度约为 $0.96 \times 10^{20} \text{ ions/cm}^3$ 。同时降低玻璃中 OH^- 含量也是保证 $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ 体系 $1.54 \mu\text{m}$ 激光性能的重要因素之一。

参 考 文 献

- [1] Gapontsev V P, Mtisin S M, Isineev A A *et al.*. Erbium glass lasers and their applications. *Opt. & Laser Technol.*, 1989, **14**(4):189~196
- [2] Laporta P, Taccheo S, Longhi S *et al.*. Diode-pumped microchip Er-Yb:glass laser. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(15):1232~1234
- [3] MacFarlane D R, Javorniczky J, Newman P J *et al.*. High Er(3) content ZBN-glasses for microchip laser applications. *J. Non-Cryst. Solids*, 1997, **213**, **214**(1-3):158~163
- [4] Taccheo S, Laporta P, Longhi S *et al.*. Diode-pumped bulk erbium-ytterbium lasers. *Appl. Phys. (B)*, 1996, **63**(5):425~436
- [5] Ohtsuki T, Peyghambarian N, Honkanen S *et al.*. Gain characteristics of a high concentration Er^{3+} -doped phosphate glass waveguide. *J. Appl. Phys.*, 1995, **78**(6):3617~3621
- [6] Jiang S, Myers M J, Peyghambarian N. Er^{3+} doped phosphate glasses and laser. *J. Non-Cryst. Solids*, 1998, **239**(1-3):143~148
- [7] Ohtsuki T, Honkanen S, Najafi S I *et al.*. Cooperative upconversion effects on the performance of Er^{3+} -doped phosphate glass waveguide amplifiers. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1997, **14**(7):1838~1845
- [8] Hwang B C, Jiang S, Luo T *et al.*. Characterization of cooperative upconversion and energy transfer of Er^{3+} and $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ doped phosphate glasses. *Proc. SPIE*, 1999, **3622**:10~18
- [9] Qi Changhong, Gan Fuxi. Spectral properties of glassy tetraphosphate with high neodymium concentration. *J. Laser*, 1983, **9**(4):691~694
- [10] Choi Y G, Kim K H, Heo J. Spectroscopic properties of and energy transfer in $\text{PbO-Bi}_2\text{O}_3\text{-Ga}_2\text{O}_3$ glass doped with Er_2O_3 . *J. Am. Ceram. Soc.*, 1999, **82**(10):2762~2768
- [11] McCumber D E. Theory of phonon-terminated optical masers. *Phys. Rev. (A)*, 1964, **13**(2):299~306
- [12] Miniscalco W J, Quimby R S. General procedure for the analysis of Er^{3+} cross sections. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(4):258~260
- [13] Payne S A, Chase L L, Smith L K *et al.*. Infrared cross-section measurements for crystals doped with Er^{3+} , Tm^{3+} , and Ho^{3+} . *IEEE J. Quant. Electron.*, 1992, **QE-28**(6):2619~2630
- [14] Laporta P, Longhi S, Sorbello G *et al.*. Erbium-ytterbium miniaturized lasers devices for optical communication. *Proc. SPIE*, 1999, **3622**:82~91
- [15] Desurvire E. *Erbium-Doped Fiber Amplifiers: Principles and Applications*. New York: Wiley, 1992. 291
- [16] Wageber J L, Wysocki P F, Dignonner M J F *et al.*. Effects of concentration and clusters in erbium-doped fiber lasers. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(23):2014~
- [17] 干福熹. 无机玻璃中 Nd^{3+} 的能量转移过程. *科学通报*, 1978, **12**():723~729; 1979, **2**:59~66
- [18] Ebendorff-Heidepriem H, Seeber W, Ehrt D. Spectroscopic properties of Nd^{3+} ions in phosphate glasses. *J. Non-Cryst. Solids*, 1995, **183**(1,2):191~200
- [19] Snoeks E, Kik P G, Polman A. Concentration quenching in erbium implanted alkali silicate glasses. *Opt. Mater.*, 1996, **5**(1):159~167

Spectroscopic Properties of Er^{3+} and $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ -Doped $\text{LaLiP}_4\text{O}_{12}$ Glasses

Zhang Long Lin Fengying Qi Changhong Hu Hefang

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 17 May 2000; revised 24 July 2000)

Abstract: The tetraphosphate glasses with Er^{3+} and $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ dopant were prepared. The absorption and fluorescence emission spectra were measured, and the emission cross-section for ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ transition of Er^{3+} was calculated by using McCumber theory. Spectroscopic properties, concentration quenching, and the effect of $-\text{OH}$ groups on the emission at $1.54 \mu\text{m}$ in these glasses were investigated with diode laser at 970 nm. The optimization of Yb^{3+} and Er^{3+} ion concentrations are $1.82 \times 10^{21} \text{ ions/cm}^3$ and $0.96 \times 10^{20} \text{ ions/cm}^3$ respectively in the glasses.

Key words: Er^{3+} -doped; $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$ -doped; tetraphosphate glass; spectroscopic properties