

文章编号: 0253-2239(2003)04-0505-06

掺铒铝硅酸盐玻璃光谱和上转换荧光性质研究

张德宝 戴能利 祁长鸿 胡丽丽

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要: 利用 Judd-Ofelt(J-O)理论和吸收光谱计算了 Er^{3+} 、 Yb^{3+} 掺杂的铝硅酸盐玻璃的 J-O 参量、振子强度、跃迁几率、荧光寿命、量子效率以及上转换系数等参量, 比较了铒离子⁴ $I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ 跃迁的光谱参量的计算与测量值, 并讨论了玻璃中 OH⁻ 浓度与荧光寿命、绿色上转换发光强度与抽运光功率的关系。

关键词: 光学材料; 铝硅酸盐玻璃; Er^{3+} 、 Yb^{3+} 共掺; 光谱; Judd-Ofelt 参量; 上转换

中图分类号: TQ171.71·8.2 文献标识码: A

1 引 言

高浓度掺杂铒玻璃在平面波导放大器、光纤放大器上有重要应用^[1,2], 是很多有源器件的工作物质。掺铒铝硅酸盐玻璃具有荧光半峰全宽大、机械强度高、玻璃转变温度高等特征, 是制作宽带平面光波导器件和光纤放大器的理想材料^[2]。掺铒平面光波导可制成集成光放大器, 功能与光纤放大器相似, 但比后者更紧凑, 集成度更高, 因此需要更高的铒离子掺杂浓度以期获得相同的光输出^[3]。本文主要通过讨论掺铒铝硅酸盐玻璃的光谱性质, 探索 Er_2O_3 含量、 Yb^{3+} 敏化剂含量、玻璃组成对 Er^{3+} 离子的吸收截面、荧光光谱、荧光寿命、上转换荧光特性的影响规律, 为掺铒铝硅酸盐玻璃在平面光波导等高铒离子浓度掺杂的有源器件材料设计方面的应用提供重要参考。

2 实 验

制备样品的原料纯度分别为 Er_2O_3 : 99.9%、 Yb_2O_3 : 99.99%、 La_2O_3 : 99.99%、 Sb_2O_3 : 99.99%、 SiO_2 、 Al_2O_3 为分析纯。称取 200 g 左右的原料, 混合均匀后加入石英坩埚中, 将坩埚置于 1680 °C 的硅钼棒高温实验电炉中熔化 150 min, 把熔化的玻璃液浇铸到预热的铁模上成形后放入退火炉中退火。将退火后的玻璃加工成 20 mm×10 mm×5 mm 两大面抛光的样品, 用于测量吸收光谱和荧光光谱。

玻璃密度用排水法测定, 折射率用 V 型棱镜折

光仪测定, 红外吸收光谱用 HITACHI 270-50 红外光谱仪测定, 可见吸收光谱用 Perkin Elmer Lambda 900 分光光度仪测定。用 974 nm、2 W 的 InGaAs 半导体激光器作为激发源测量样品的荧光寿命、荧光光谱及上转换荧光。荧光寿命由 Hitachi 100M 示波器读出, 荧光光谱和上转换荧光实验用 JY Spex TriAx 550 完成。

3 结果和讨论

3.1 Er_2O_3 、 Yb_2O_3 、OH⁻ 含量对玻璃荧光寿命的影响

为了研究稀土离子含量对掺铒铝硅酸盐玻璃光谱性质的影响, 设计了如表 1 所示的稀土离子含量, 除对 S5 玻璃的基质中 Si-Al 含量比增大外, 其余玻璃样品的基质相同。表 1 玻璃除 S1 样品单掺铒离子外, 其余玻璃均为 Yb^{3+} 、 Er^{3+} 双掺。稀土离子最高含量均为 $3.59 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, S6 到 S9 样品中 Er^{3+} 含量不变, 而 Yb^{3+} 浓度逐渐增加。表 1 中 τ_f 为玻璃荧光寿命, 从中可以看出, 在低掺杂浓度下(S1~S5 样品), Er^{3+} 、 Yb^{3+} 的含量对荧光寿命的影响较小。表中所列玻璃没有经过除水处理, 对各个样品的红外光谱测试分析表明, OH⁻ 离子对掺铒铝硅酸盐玻璃荧光寿命的影响与 Er^{3+} 离子浓度有很大关系。当 Er^{3+} 离子浓度较低时(S1~S5 样品), OH 基团的存在对掺铒铝硅酸盐玻璃荧光寿命影响不大; 但是当 Er^{3+} 离子浓度较高时(S6~S9 样品), 玻璃中 OH 含量对荧光寿命影响很大, OH 离子能导致 Er^{3+} 的荧光猝灭, 使寿命降低。这主要是因为玻璃中 Er^{3+} 离子浓度升高, Er^{3+} 激活离子增多, OH 基团与激活 Er^{3+} 离子的距离相对减少, 从而

E-mail: zhangdebao@163.net

收稿日期: 2002-01-11; 收到修改稿日期: 2002-04-17

导致 Er^{3+} 离子通过 OH^- 发生无辐射跃迁的几率增加, 荧光寿命下降。表 1 中所列玻璃是在湿度较小时制备的, 只有 S9 玻璃的荧光寿命较小。

Table 1 The Er^{3+} , Yb^{3+} concentrations and spectral parameters of glasses

glass	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
$\text{Er}^{3+}/(10^{20} \text{ cm}^{-3})$	1.56	1.56	2.38	2.97	1.54	3.48	3.52	3.55	3.59
$\text{Yb}^{3+}/(10^{20} \text{ cm}^{-3})$	0	1.56	2.38	2.97	1.54	0.39	0.78	2.76	3.59
n_d	1.611	1.592	1.602	1.599	1.580	1.593	1.592	1.598	1.592
Density $/(g/cm^3)$	3.15	3.15	3.21	3.22	3.05	3.13	3.17	3.21	3.25
τ_f^*/ms	5.1	5.2	5.2	5.7	5.7	5.1	5.0	5.6	2.3
σ_{Er}/pm^2	0.53	0.61	0.54	0.47	0.62	0.48	0.46	0.44	0.54
$\sigma_{975 \text{ nm}}/pm^2$	0.18	2.66	2.29	1.79	2.83	3.46	1.90	1.89	1.98
FWHM $/nm$	59.6	58.1	60.0	56.5	56.5	59.8	60.0	61.1	61.4

图 1 为在不同湿度熔化的 S7 样品中 OH^- 离子的吸收系数与荧光寿命的关系, 从图 1 可以看出, 荧光寿命的倒数与 OH^- 的吸收系数成线性关系, 随着 OH^- 吸收系数的增加, 荧光寿命降低。在铝硅酸盐玻璃中, OH^- 浓度与 OH^- 在 $3 \mu\text{m}$ 附近的吸收系数 α_{OH^-} 存在如下关系:

$$N_{\text{OH}^-} = 1.227 \times 10^{19} \alpha_{\text{OH}^-}, \quad (1)$$

式中 N_{OH^-} 为 OH^- 离子数浓度, 单位是 cm^{-3} 。 OH^- 离子数浓度与吸收系数成正比。图 1 中 OH^- 离子浓度最高时为 $7.39 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, 荧光寿命是 2.6 ms, OH^- 离子浓度最低时为 $1.67 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, 荧光寿命是 5.8 ms。表明在这一玻璃中 OH^- 离子强烈影响 Er^{3+} 离子的荧光寿命。由荧光寿命与 OH^- 离子吸收系数的关系

$$\frac{1}{\tau_f} = k_{\text{OH}^-} N_{\text{Er}^{3+}} \alpha_{\text{OH}^-} + \frac{1}{\tau_0}, \quad (2)$$

和图 1 得出在 S7 玻璃中 Er^{3+} 离子与 OH^- 离子的相互作用强度参量 $k_{\text{OH}^-} = 1.34 \times 10^{-19} \text{ cm}^4 \text{ s}^{-1}$ 。式中 τ_0 为一常量。在掺铈磷酸盐玻璃中, Er^{3+} 浓度为 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, k_{OH^-} 大约在 $0.8 \times 10^{-19} \text{ cm}^4 \text{ s}^{-1} \sim 1.8 \times 10^{-19} \text{ cm}^4 \text{ s}^{-1}$ 之间^[4]。说明在高 Er^{3+} 离子浓度下, 铝硅酸盐玻璃中 OH^- 对荧光寿命的影响与对

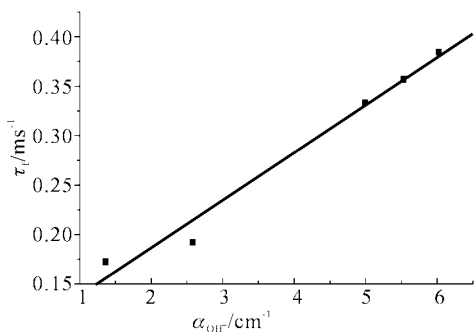


Fig.1 The relation between absorption coefficient of OH^- and fluorescent lifetime in sample S7

掺铈浓度较低的磷酸盐玻璃影响相当。在随后的经过除水的 S7 样品中, 荧光寿命可以达到 7 ms。

3.2 玻璃的吸收光谱和荧光光谱

图 2 为铝硅酸盐玻璃的吸收光谱和荧光光谱, 图中 Yb^{3+} 、 Er^{3+} 吸收峰位置分别在 975 nm 和 1529 nm。根据吸收光谱计算了 Yb^{3+} 、 Er^{3+} 峰值吸收截面 $\sigma_{975 \text{ nm}}$ 和 σ_{Er} , n_d 为玻璃样品在 589.3 nm 的折射率, 如表 1 所示。由于 Er^{3+} 在 975 nm 吸收较弱, 所以 S1 玻璃在 975 nm 的吸收截面远小于其它掺 Yb^{3+} 的玻璃。S2 样品中 Yb^{3+} 的掺入大大提高了玻璃在 975 nm 的吸收截面。在掺 Yb^{3+} 离子浓度为 $0.39 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 和 Er^{3+} 离子浓度为 $3.48 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 的 S6 玻璃中 Yb^{3+} 的吸收截面最高。表明 Er^{3+} 浓

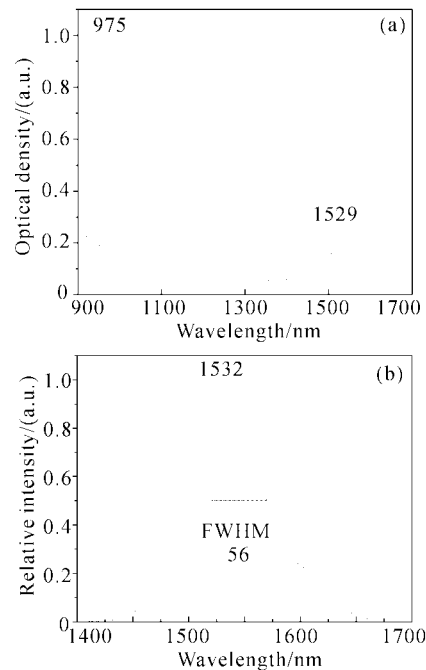


Fig.2 The absorption (a) and fluorescence (b) spectra excited at 980 nm of Yb^{3+} , Er^{3+} aluminosilicate glass

度高时,少量的 Yb^{3+} 可以极大地提高玻璃对抽运光的吸收能力。进一步增加 Yb^{3+} 离子浓度,玻璃在 975 nm 的吸收截面反而下降。表 1 数据表明掺钪铝硅酸盐玻璃中 S2 和 S5 具有较好的综合光谱特性,也就是说,当基体成份变化不大时,玻璃中 Yb^{3+} 离子从无到有, Er^{3+} 离子吸收截面增加最明显。从 S2 与 S5 光谱数据对比结果可知,在一定范围内 Si、Al 的调整对光谱性质的影响不大。硅铝酸盐玻璃荧光峰在 1532 nm,由于大量 Al_2O_3 的掺入,有效地增加了 1.55 μm 波段的荧光带宽,如表 1 掺钪铝硅酸盐玻璃荧光半高宽约为 56~60 nm,比掺钪磷酸盐玻璃的(约为 35~40nm)明显要高,说明掺钪硅酸盐玻璃较适合宽带放大器应用。

3.3 可见光区域吸收光谱与 Ω_λ ($\lambda = 2, 4, 6$) 参量计算

测量掺钪铝硅酸盐玻璃 300 nm~700 nm 可见光区域的吸收光谱,在这个范围内共观察到 7 个吸收峰,它们分别对应从 Er^{3+} 基态到 $^4F_{9/2}$ 、 $^4S_{3/2}$ 、 $^2H_{11/2}$ 、 $^4F_{7/2}$ 、 $^4F_{5/2}$ 、 $^2H_{9/2}$ 、 $^4G_{11/2}$ 的吸收跃迁,吸收中心波长分别为 652 nm、542 nm、520 nm、487 nm、446 nm、405 nm 和 376 nm。在 300 nm 附近基质的

吸收已经非常强。除了峰强度和位置的微小变化,各个玻璃的吸收光谱特征基本相同,这可能是由于玻璃的基质基本没有变化,从而稀土离子的配位场基本不变。由吸收光谱,根据 Judd-Ofelt 理论^[5~7],线性回归得出 Ω_λ 参量如表 2 所示。

线性回归的可靠性用均方根偏差 δ_{rms} 表示:

$$\delta_{\text{rms}} = \left[\frac{\sum (S_c - S_m)^2}{\sum S_m^2} \right]^{1/2}, \quad (3)$$

式中 S_c 和 S_m 分别是计算和测得的谱线强度,由于 Ω_λ 取决于基质材料的配位特性,仅与材料有关而与跃迁的能级无关,所以,可用求得的 Ω_λ 参量计算该材料 $^4I_{31/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ 跃迁的光谱性质。玻璃中 Er^{3+} 离子的一些主要发光性质就可由 Ω_2 、 Ω_4 、 Ω_6 进行计算。利用 Ω_λ 参量,分别求 $^4I_{13/2}$ 能级 Er^{3+} 离子的上转换系数 C_{cl} 、振子强度 f_{cal} 、辐射跃迁几率 A_{rad} 等参量^[6,7]。计算结果如表 2 所示。表 2 中 f_1 为 $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$ 能级跃迁振子强度, f_2 为 $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ 能级跃迁振子强度, $\tau_{\text{rad}} = 1/A_{\text{rad}}$ 为辐射跃迁寿命, η 为 $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ 跃迁的量子效率。除 S9 样品的 δ_{rms} 为 5.88%,其余样品的 δ_{rms} 均小于 5%,表明线性回归是可靠的。

Table 2 The calculated spectral parameters and upconversion intensity of Yb^{3+} , Er^{3+} doped aluminosilicate glasses

glass	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
$\Omega_2 / (10^{-20} \text{ cm}^2)$	6.65	7.64	5.97	5.65	7.64	5.63	6.20	5.19	6.00
$\Omega_4 / (10^{-20} \text{ cm}^2)$	1.52	1.75	1.35	1.31	1.79	1.31	1.23	1.06	1.26
$\Omega_6 / (10^{-20} \text{ cm}^2)$	1.02	1.29	1.08	1.00	1.21	0.98	1.06	1.00	1.26
$\delta_{\text{rms}} / \%$	1.52	2.71	3.27	3.46	2.54	4.10	2.94	4.68	5.88
$C_{\text{cl}} / (10^{28} \text{ cm}^{-6})$	0.78	1.15	1.95	2.68	1.01	3.57	4.10	3.76	5.61
$f_1 / 10^{-7}$	4.41	5.50	4.61	4.28	5.12	4.26	4.19	4.49	5.34
$f_2 / 10^{-6}$	1.88	2.18	1.91	1.82	2.08	1.79	1.79	1.87	2.09
$A_{\text{rad}} / (\times 10^2 \text{ s}^{-1})$	1.4	1.6	1.4	1.4	1.5	1.3	1.3	1.4	1.6
$\tau_{\text{rad}} / \text{ms}$	7.0	6.2	7.0	7.4	6.6	7.5	7.6	7.2	6.4
$\eta / \%$ *	73	84	74	77	86	68	66	77	36
I_S	0.01	0.75	1.03	1.39	1.22	0.12	0.22	1.20	0.64
I_{11} / I_S	0.66	0.79	0.82	1.18	1.18	0.47	0.58	1.03	1.16

比较表 2 中 Er^{3+} 离子在各个玻璃中的 Judd-Ofelt(J-O)参量, Ω_λ 参量的大小次序是 $\Omega_2 > \Omega_4 > \Omega_6$,与通常情况是一致的^[8~11]。可以看出,S2 和 S5 二玻璃的 Ω_2 、 Ω_4 、 Ω_6 均高于其它玻璃,尽管 S2 和 S5 的基质稍有不同,但 Er^{3+} 、 Yb^{3+} 掺杂浓度均相同,它们的 Ω_λ 参量几乎一样,而且都高于其它玻璃。其它玻璃样品的 Ω_λ 参量基本在同一水平振荡。这说明 Ω_λ 参量在基质成份变化较小的情况下,对敏化离子 Yb^{3+} 和激活离子 Er^{3+} 的含量有一定依赖性,在适当

的 Yb^{3+} 、 Er^{3+} 浓度可以获得较高的 Ω_λ 参量。从表中可以看出,S1 与 S2 相比,掺 Yb^{3+} 后辐射跃迁几率 A_{rad} 明显增大,S6 到 S9 的 A_{rad} 随 Yb^{3+} 浓度增加而增加,说明掺 Yb^{3+} 后提高了对抽运光的吸收,处于上能级 Er^{3+} 粒子数增加。S2 与 S5 样品的量子效率基本相同,大于其他样品,主要是因为双掺样品中,它们的掺杂浓度是最低的,所以由浓度引起的猝灭效应最小。尽管 S1 样品的 Er^{3+} 掺杂浓度与 S2、S5 相同,但由于只是单掺 Er^{3+} 离子,对抽运的

吸收不充分,上能级的粒子数较少,所以量子效率较 S2、S5 样品低。S6~S9 样品与掺杂浓度较低的前 5 个样品相比,由于浓度猝灭,量子效率有所降低。其中 S9 样品由于 Yb³⁺、Er³⁺ 浓度均很高,OH 诱发的荧光猝灭严重,Er³⁺ 荧光寿命很低,从而量子效率也低。

3.4 玻璃中的荧光上转换

由于 Er³⁺ 离子的能级较多,并且能级分布较均匀,这样的能级特点非常容易产生上转换荧光,这对 1540 nm 的激光效率将有很大的影响。在室温下采用 974 nm、2 W 的 InGaAs 半导体激光器激发上述玻璃样品,观察到了它们的绿色和红色上转换荧光。上转换荧光光谱如图 3 所示,共有三个发射峰,其中两个绿色发射波长分别为 527 nm 和 546 nm,一个红色发射波长为 657 nm,它们分别源于 ²H_{11/2}、⁴S_{3/2} 及 ⁴F_{9/2} 到基态的跃迁。

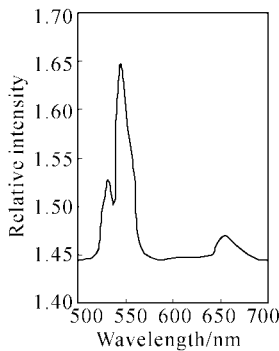


Fig. 3 The up-conversion fluorescence spectrum of S7 glass

上转换发光过程的机理如图 4 所示。由于 Yb³⁺ 离子对 974 nm 抽运光有较强的吸收,而 Yb³⁺

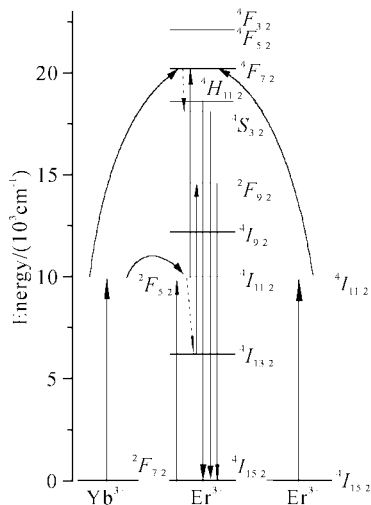


Fig. 4 The up-conversion mechanism of Yb³⁺、Er³⁺ co-doped glass

的 ²F_{5/2} 能级和 Er³⁺ 离子的 ⁴I_{11/2} 能级非常接近, Yb³⁺ 离子的 ²F_{5/2} 能级上的能量很快以共振转移方式转移到 Er³⁺ 离子 ⁴I_{11/2} 能级上,并且 Er³⁺ 离子的 ⁴F_{7/2} 与 ⁴I_{15/2} 之间的能隙差不多是 ⁴I_{11/2} 与 ⁴I_{15/2} 之间能隙的 2 倍,所以存在 Yb³⁺ 到 Er³⁺ 的能量传递上转换,同时也存在 Er³⁺ 离子间的能量传递上转换; Er³⁺ 离子浓度高时,处在激发态 ⁴I_{11/2} 的 Er³⁺ 离子也可能再吸收一个激发光子,实现激发态吸收过程的上转换,这三个过程最终都使 Er³⁺ 离子跃迁到 ⁴F_{7/2} 态,该态主要通过无辐射跃迁到 ²H_{11/2} 和 ⁴S_{3/2}, ²H_{11/2} 和 ⁴S_{3/2} 向基态跃迁产生绿色发光。源于 ⁴F_{9/2} 的红色上转换发光主要由 ⁴I_{13/2} 能级的激发态吸收导致。与大多数掺铒玻璃的上转换发光过程相同,绿色上转换荧光比红色上转换要强。

图 5 为上转换发光强度与抽运功率分别取对数拟合后的曲线,其斜率为 2.39±0.29,可以看出这个上转换过程为双光子过程^[12]。斜率略大于 2 是由于 Er³⁺ 离子激发态吸收对上转换荧光的贡献造成的。在实验中还发现,当激发光强度较大,样品持续受辐照时,图上曲线的斜率就增大,这可能是由于热效应和激发态吸收二因素对粒子数分布的影响造成的。

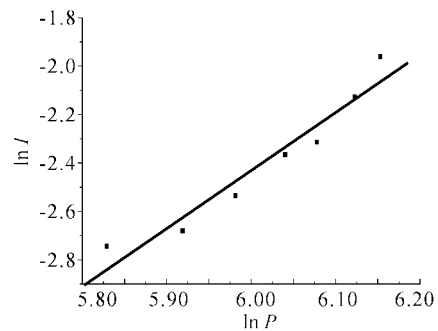


Fig. 5 The relationship between upconversion intensity and pumping power in S7 glass

利用 Ω_a 参量计算出振子强度 f₁ 和 f₂,由离子浓度 N_{Er} 和折射率 n 及公式

$$C_{cl} = f_1 f_2 N_{Er}^2 / n^2$$

得出上转换系数 C_{cl}^[13] 如表 2,结果表明随着 Yb³⁺、Er³⁺ 离子浓度的增加,上转换系数也增加,但 S8 的计算上转换系数 C_{cl} 比 S7 的小,可能是由实验误差引起。表 2 中 I_s 和 I_H/I_s 分别为 InGaAs 激发光源功率为 710 mW 时, ⁴S_{3/2} → ⁴I_{15/2} 上转换荧光强度以及 ²H_{11/2} → ⁴I_{15/2} 上转换荧光强度与 ⁴S_{3/2} → ⁴I_{15/2} 上转换荧光强度的比值。表 2 中随着 Yb³⁺、Er³⁺ 浓度增加, S1 到 S4 样品的上转换荧光强度 I_s 增强,这同

计算的上转换系数与掺杂浓度的依赖关系是相符的。在 Er^{3+} 掺杂同为 $3.59 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 的 S6~S9 样品中, 随 Yb^{3+} 离子浓度增加计算上转换系数和上转换荧光强度均增加, 但 S9 样品上转换荧光却较弱, 这是因为 S9 样品中 Yb^{3+} 、 Er^{3+} 离子浓度均很高, 在制备玻璃过程中没有经过除水处理, 玻璃中 OH^- 离子浓度很高, OH^- 离子的存在导致了 Er^{3+} 的荧光猝灭, 荧光寿命只有 2.3 ms, 远小于自发辐射寿命 τ_{rad} (6.4 ms), 所以上转换荧光较弱。上转换实验结果表明, 掺钪硅酸盐玻璃上转换荧光强度与 $1.53 \mu\text{m}$ 荧光强度存在对应关系, $1.53 \mu\text{m}$ 荧光强度高的玻璃, 其上转换荧光也较强。表 2 数据表明, 随着 Yb^{3+} 浓度的增加, $I_{\text{H}}/I_{\text{S}}$ 增加, 这是因为随着 Yb^{3+} 离子浓度增加, 对抽运光的吸收增强导致玻璃内部温度上升幅度增大, 热效应使得 $^2H_{11/2}$ 能级的粒子数增加, I_{H} 荧光强度增加。

结论 本文研究了掺钪铝硅酸盐玻璃的光谱性质和上转换荧光特性, 得出以下结论:

1) 在低 Er^{3+} 掺杂浓度下, OH^- 离子浓度对荧光寿命的影响不明显; Er^{3+} 掺杂浓度高时, 荧光寿命受 OH^- 离子浓度的影响较大, Er^{3+} 离子与 OH^- 基团的相互作用参量可以与掺钪磷酸盐玻璃的相当。当 Er^{3+} 离子掺杂浓度高达 $3.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 时经脱水处理后, Er^{3+} 荧光寿命可达 6 ms 以上。

2) 玻璃在 975 nm 的吸收截面与 Yb^{3+} 离子掺杂浓度有关, Yb^{3+} 浓度为 $0.39 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 时吸收截面最大可达 $3.46 \times 10^{20} \text{ cm}^2$ 。在掺 Yb^{3+} 和 Er^{3+} 离子浓度均为 $1.56 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 时, 玻璃的综合光谱性质最佳。掺钪硅铝酸盐玻璃荧光半高宽约在 60 nm 左右, 远大于掺钪磷酸盐玻璃, 适合于宽带放大应用。

3) 通过计算 Judd-Ofelt (J-O) 参量和光谱测试, 得出了量子效率、上转换系数与掺杂浓度关系, 表明掺杂浓度低时, 量子效率高, 上转换系数小; 掺杂浓度高时, 量子效率低, 上转换系数大, 上转换荧光强。适量的 Yb^{3+} 敏化离子浓度可以有效地改善钪离子的光谱性质和提高钪离子的发光效率。

4) 通过分析上转换发光强度与抽运功率的关

系, 表明上转换过程为双光子过程。上转换荧光强度与 $1.53 \mu\text{m}$ 荧光强度存在对应关系。随着 Yb^{3+} 和 Er^{3+} 离子浓度增加, 钪离子的上转换荧光增强。

参 考 文 献

- 1 Ycatman E M, Ahmad M M, McCarthy O *et al.*. Optical gain in Er-doped $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ waveguides fabricated by the sol-gel technique. *Opt. Commun.*, 1999, **164**(1~3):19~25
- 2 Polman A. Exciting erbium-doped planar optical amplifier materials. *Proc. SPIE*, 2000, **3942**:2~11
- 3 Almeida R M. Sol-gel planar waveguides for integrated optics. *J. Non-Cryst. Solids*, 1999, **259**(1~3):176~181
- 4 Liu Zhuping, Dai Shixun, Qi Changhong *et al.*. The effect of OH^- groups on the spectroscopy of erbium phosphate glasses. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 2001, **30**(11):1413~1417 (in Chinese)
- 5 Tanabe S, Ohyagi T, Soga N *et al.*. Compositional dependence of Judd-Ofelt parameters of Er^{3+} ions in alkali-metal borate glasses. *Phys. Rev. (B)*, 1992, **46**(6):3305~3310
- 6 Ofelt G S. Intensity of crystal spectra rare-earth ions. *J. Chem. Phys.*, 1962, **37**(3):511~518
- 7 Tanabe S. Optical transitions of rare earth ions for amplifiers: how the local structure works in glass. *J. Non-Cryst. Solids*, 1999, **259**(1~3):1~9
- 8 Helen M P, Cockroft N J, Gosnell T R *et al.*. Uniform upconversion in high-concentration Er^{3+} -doped soda lime silicate and aluminosilicate glasses. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(11):772~774
- 9 Yong Gyu Choi, Kyong Hon Kim. Spectroscopic properties of and energy transfer in $\text{PbO-Bi}_2\text{-Ga}_2\text{O}_3$ glass doped with Er_2O_3 . *J. Am. Ceram. Soc.*, 1999, **82**(10):2762~2768
- 10 Ponnusamy Nachimuthu, Ranga Jagannathan. Judd-Ofelt parameters, and emission characteristics of Ln^{3+} (Nd^{3+} , Ho^{3+} , Er^{3+}) ions in PbO-PbF_2 glasses. *J. Am. Ceram. Soc.*, 1999, **82**(2):387~392
- 11 Qi Changhong, Zhang Xiurong, Hu Hefang. Spectral Properties of Ho^{3+} in ZBLAN glass. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1994, **14**(6):583~588 (in Chinese)
- 12 Chen Xiaobo, Chen Jinhai. Up-conversion luminescence phenomenon of Er^{3+} ions in $\text{ErP}_5\text{O}_{14}$ noncrystal glass. *Chinese J. Lasers*, 1992, **B1**(5):389~393
- 13 Hehlen M P, Cockroft N J, Gosnell T R *et al.*. Uniform upconversion in high-concentration Er^{3+} -doped soda lime silicate and aluminosilicate glasses. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(11):772~774

Spectroscopic and Upconversion Fluorescence Properties of Er³⁺ Doped Aluminosilicate Glass

Zhang Debao Dai Nengli Qi Changhong Hu Lili

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

(Received 11 January 2002; revised 17 April 2002)

Abstract: The Judd-Ofelt parameters, oscillator strengths, radiative transition probability, radiative lifetime, quantum efficiency and upconversion coefficient of the Er³⁺, Yb³⁺ co-doped aluminosilicate glasses were calculated by the Judd-Ofelt theory, fluorescent lifetime and absorption spectra. The effect of Yb³⁺ and Er³⁺ ion concentrations, OH groups on the spectroscopic and upconversion fluorescence properties was studied in this Er³⁺, Yb³⁺ co-doped aluminosilicate glass. It is found that at $1.56 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ Yb³⁺ and Er³⁺ ion concentrations, the glass has the best spectroscopic properties.

Key words: optical material; aluminosilicate glass; Er³⁺, Yb³⁺ co-doping; spectra; Judd-Ofelt parameters; upconversion

(上接封四)

3.7 参考文献 参考文献应是公开出版物,以便审者、编者、读者查证。文后参考文献以 GB/T 7714-1987 顺序编码制列出,每条内容应包括:全体作者(译者),文题,期刊名(或书名、或会议名),出版年、卷、期(书或会议文集应相应列出版次、出版地、出版者、出版年、会议地点时间),页码。专利文献需列出专利性质及专利号。引用的网上出版物必须是固定的、可一直查阅的文献。参考文献请全部译英,用出版语言和英语双语标出。

3.8 资助来源 所投文章项目受到资助的,应标明资助名称及编号。在审稿结论相同的情况下,符合以下条件的予以优先发表:1)属省、部級以上的重大科技成果、获奖项目和具有明显经济效益的项目(均请在来稿中注明);2)有国家级或省部级基金资助项目的论文。

3.9 投寄要求 所投稿件需一式三份,注明稿件联系人姓名、地址、邮政编码、联系电话和电子信箱(用于编辑部通知作者收到稿件),以便联系,以及标明“稿件内容不涉及国家机密”、“此稿无一稿两投”、“作者排名不再随意更改”的证明件(盖章),一并挂号寄往:201800 上海 800-211 信箱 光学学报编辑部(请不要寄交个人,以免延误稿件的受理时间)。

3.10 本刊现已进入《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和《万方数据数字化期刊网》,不再另行通知作者,对版权有特殊要求者,请事先声明。

4 审稿程序 论文类稿件收到评审费后分送两位同行评议(必要时需作者修改及复审,作者对于审稿意见应当逐一给出书面回答)、主编终审、择优录用;编辑部自收稿日起 4 个月内将初审意见函告作者,逾期,作者可另行处理原稿,但需告知编辑部。

5 录用与否 编辑部有权对录用稿件作编辑意义的增删加工。录用稿作者应遵照中国科协有关文件精神,支付适量版面费以聊补期刊的高额亏损。录用稿一经本刊刊登,本刊享有版权,并向作者酌付稿酬、该期期刊一册和抽印本 17 份。作者如不同意本刊录用刊登稿件由本刊供它刊转载、译载、引摘,务请在投稿时声明。编辑部负责向作者退回不录用稿件及先期收到的版面费。由于近年来来稿量猛增,为了缩短发表周期,请作者精炼文章内容,否则,超过 4 页的文章将加收版面费。

6 投稿及回复时,请告知你的有效联系方式:除“姓名、通讯地址、邮编”外;E-mail、电话(办公室及家庭或宿舍)、手机、QQ 号等是必不可少的。并用 E-mail 回复修改稿和投稿。最好注明通讯作者(工作单位相对稳定)。