

Yb^{3+} , Er^{3+} 离子共掺磷酸盐钇玻璃的 Judd-Ofelt 光谱参数与光谱性质

柳祝平 胡丽丽 张德宝 戴世勋 祁长鸿 姜中宏

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

(2002 年 3 月 14 日收到, 2002 年 4 月 20 日收到修改稿)

研究了含 Er^{3+} 离子浓度较高 ($1.55 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) 的磷酸盐玻璃中 Yb^{3+} 敏化离子浓度和 Al_2O_3 含量对 Er^{3+} 离子光谱性质的影响. 根据掺 Er^{3+} 磷酸盐玻璃的吸收光谱, 利用 Judd-Ofelt 理论计算了强度参数 Ω_t ($t = 2, 4, 6$)、 Er^{3+} 离子的 $^4\text{I}_{13/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ 能级跃迁振子强度、自发辐射几率等光谱参数. 用 McCumber 理论计算了 Er^{3+} 离子的受激发射截面. 结果表明 Yb^{3+} 离子浓度不影响 Er^{3+} 离子的受激发射截面, 但会影响 Er^{3+} 离子荧光强度. Yb^{3+} 含量越高, Er^{3+} 的荧光越强. 对掺 Er^{3+} 磷酸盐玻璃的荧光上转换光谱测试表明, Yb^{3+} 含量越高, 上转换荧光越强. 玻璃上转换主要表现为双光子吸收机理.

关键词: Er^{3+} 离子, 磷酸盐玻璃, 光谱性质, Judd-Ofelt 参数

PACC: 7855, 4255R, 7840

1. 引 言

磷酸盐钇玻璃由于其激光波长为 $1.53\text{--}1.56\mu\text{m}$ 荧光寿命长的特性, 在军事、光通讯等领域具有极大的应用前景, 对这种材料的研究一直受到广泛的重视. 近年来由于全光通讯对集成光器件的需求, 在掺 Er^{3+} 平面光波导器件的研究方面开展了很多工作^[1,2]. 高稀土掺杂浓度是平面波导器件的特征. 磷酸盐玻璃由于其对 Er^{3+} 离子溶解度较高、 Er^{3+} 离子在磷酸盐玻璃中受激发射截面较高、荧光寿命长、不易发生荧光淬灭, 以及上转换强度较弱等优点, 是这类器件的首选基质材料^[3]. 本文研究了含较高 Er^{3+} 离子浓度 ($1.55 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$) 的 Yb^{3+} , Er^{3+} 共掺磷酸盐钇玻璃在不同敏化剂 Yb^{3+} 离子浓度和 Al_2O_3 含量对 Er^{3+} 离子光谱性质的变化规律, 通过测得的吸收光谱计算了 Er^{3+} 在磷酸盐玻璃中的 Judd-Ofelt (J-O) 参量, 并由此计算得到 Er^{3+} 离子在磷酸盐玻璃中的光谱特性. 对不同敏化剂 Yb^{3+} 离子浓度和 Al_2O_3 含量的玻璃光谱性质的差异进行解释. 同时测定该玻璃的荧光上转换特性, 探明其上转换机理和敏化剂 Yb^{3+} 含量对上转换荧光的影响, 为确定掺 Er^{3+} 平面波导器件的成分提供参考.

2. 实 验

选取 $\text{P}_2\text{O}_5\text{-Na}_2\text{O-BaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Yb}_2\text{O}_3\text{-Er}_2\text{O}_3$ 磷酸盐玻璃系统为研究对象. 基质玻璃分为两组, 一组 Al_2O_3 含量为 13mol%, 编号为 1#, 2#, 3#; 另一组 Al_2O_3 含量为 4mol%, 编号为 4#, 5#, 6#. 玻璃中 Yb^{3+} 和 Er^{3+} 离子浓度见表 1, 其中 Yb^{3+} 离子浓度范围为 $(1.5\text{--}2.0) \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$, Er^{3+} 离子浓度为 $1.55 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 左右. 玻璃熔制所用原料均为分析纯.

称取 80g 左右的玻璃料, 混合均匀, 倒入石英坩埚中, 再将石英坩埚置于温度约 1300°C 的硅碳棒电炉中熔化约 30min, 待充分熔化后, 通气除水. 分别在除水不同时间取样, 并将样品浇注在铁模上, 移到预先升温的马弗炉中退火, 待玻璃完全冷却至室温后取出玻璃. 将玻璃加工成 $15\text{mm} \times 20\text{mm} \times 4\text{mm}$ 的三面抛光 (两大面、一端面) 的样品, 用于测试光谱性质.

用排水法测玻璃比重, 用 PERKIN-ELMER LAN-BDA 9 型分光光度仪测玻璃的吸收光谱, 用发光波长为 976nm 、输出功率为 500mW 的半导体激光器作抽运光源测试 Er^{3+} 离子的荧光光谱和荧光寿命. 抽运光从端面入射, 荧光信号从样品侧面接收, 与抽运光成 90° 直角. 发射信号经过一个截止波长为 $1.2\mu\text{m}$

的滤波片,经探测仪和锁相放大后,分别传递到记录仪和示波器上,以记录荧光光谱,测定荧光寿命。

3. 结果与讨论

3.1. J-O 理论在玻璃光谱参数计算中的应用

按照 J-O 理论,稀土离子的光辐射主要是 4f 态电子跃迁引起,稀土离子的 4f 内壳层跃迁由于不涉及宇称的改变,因而是禁戒的,但在配位场中,由于结构网络的振动和配位场位能展开其中奇宇称部分,消除了一定的禁戒,因此 4f 态之间能产生辐射跃迁。

在晶体或非晶态玻璃中,稀土离子吸收的精细结构往往分辨不开,这些分辨不开的吸收(或发射)线是各个成分的锐线吸收之和。对于两个 J 簇能级之间的跃迁($J \rightarrow J'$),为了简化计算过程,需要进行 4 种假设^[4]。(1) 4f^N 配位能级被视为 Russell-Saunders 相关能级(中间态)的线性拟合。(2) 假定粒子数在初能级 J 的子能级上平均分布。(3) 进入 4f^N 结构的粒子能级比其高。(4) 局部场简化。最后,可得到 4f^N 电子组态的谱线强度 S 计算公式为^[5]

$$S(aJ; bJ') = \sum_{t=2,4,6} \Omega_t |aJ \parallel U^{(t)} \parallel bJ'|^2, \quad (1)$$

式中 Ω_t 为谱线强度参数,取决于基质材料的配位特性。J, J' 分别为初末态总角动量量子数。在文献[6]中查得基态能级 J 到各上能级 J' 的跃迁约化矩阵元 $\parallel U^{(t)} \parallel^2$, 通过实验测定的吸收光谱计算谱线强度 S, 利用最小二乘法拟合方法,可计算强度参数 Ω_t 。

实验振子强度 f_{exp} 可根据样品的吸收光谱由下式得到^[7]:

$$f_{\text{exp}} = \frac{m_e c^2}{\pi e^2 \lambda \bar{N}_0} \int \alpha(\lambda) \lambda d\lambda \\ = \frac{m_e c^2}{\pi e^2 \lambda \bar{N}_0} \frac{1}{0.43l} \int OD(\lambda) \lambda d\lambda. \quad (2)$$

跃迁的电偶极子振子强度 $f_{\text{cal}}^{[8]}$ 为

$$f_{\text{cal}} = \frac{8\pi^3 m_e c}{3h\lambda(2J+1)n} \left[\frac{(n^2+2)^2}{9} \right] S_{\lambda l}. \quad (3)$$

上述计算中,磁偶极子的谱线强度被忽略,因为在一般情况下它与电偶极子相比是很小的^[9]。但对满足跃迁选择定则 $\Delta S = \Delta L = 0, \Delta J = 0, \pm 1$ 的磁偶极子

跃迁谱线强度 f_{md} 是要考虑的。例如 Er^{3+} 离子的 $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ 跃迁中磁偶极子跃迁对振子强度有影响,它的 f_{exp} 值应为电偶极子跃迁振子强度 f_{ed} 和磁偶极子跃迁振子强度 f_{md} 之和。

对满足跃迁选择定则 $\Delta S = \Delta L = 0, \Delta J = 0, \pm 1$ 的磁偶极子振子强度 f_{md} 由下式确定^[9,10]:

$$f_{\text{md}} = \frac{2\pi^2 n}{3hmc\lambda(2J+1)} \left| \sum_{SL, S'L'} \alpha(SL)\alpha(S', L') \right. \\ \left. \times 4f^N [SL] J \parallel L+2S \parallel 4f^N [S', L'] J' \right|^2. \quad (4)$$

利用计算出的 Ω_t , 采用文献[5]给出从 1D_2 能级到其他能级跃迁的约化矩阵元 $\parallel U^t \parallel^2$, 再利用(2)式计算发射谱线强度,由此可计算从 J 多重态到 J' 多重态的自发辐射跃迁概率 $A^{[5-9]}$:

$$A(aJ; bJ') = \frac{64\pi^4 e^2}{3h(2J+1)\lambda^3} \frac{n(n^2+2)^2}{9} S(aJ; bJ'). \quad (5)$$

测量材料的吸收光谱,按波长或波数变化的光密度曲线 $D(\lambda)$, 从谱线上可查出每个吸收带对应的 J' 值(初能级基态的量子数为 J)。在吸收光谱上每个吸收带的面积代表积分光密度,由此可以计算出吸收系数。进一步按(2)式计算吸收光谱中每个吸收带的实验振子强度 f_{exp} 和吸收谱线强度 $S_{JJ'}$ 。

根据实验测得的荧光寿命 τ_f 和由(4)式所计算得的 $A_{JJ'}$, 即可计算出非辐射跃迁概率 W_{NR} 和辐射量子效率 $\eta^{[9]}$:

$$W_{\text{NR}} = \tau_f^{-1} - A_{JJ'}, \quad (6)$$

$$\eta = \tau_f A_{JJ'}. \quad (7)$$

3.2. Er^{3+} 离子在磷酸盐玻璃中的吸收光谱和光谱参数

图 1 为 1# 玻璃在 1400—1700nm 和 300—700nm 范围内的吸收光谱,所有样品厚度为 0.5cm。所有玻璃的 Er^{3+} 和 Yb^{3+} 离子浓度和它们在 1532 和 974nm 的吸收截面见表 1。玻璃中的 Er^{3+} 离子浓度基本不变,而从 1# 到 3# 及 4# 到 6# 玻璃中的 Yb^{3+} 离子浓度逐渐减少。 Er^{3+} 离子的吸收截面受 Yb^{3+} 离子浓度的影响不大,但受 Al_2O_3 含量的影响较大,在 Al_2O_3 含量较高的玻璃中, Er^{3+} 离子的吸收截面较低,而 Al_2O_3 含量较低的玻璃中, Er^{3+} 离子的吸收截面较高。两组玻璃中, Yb^{3+} 离子的吸收截面都随其浓度的增高而下降,这表明浓度高时单位稀土离子对吸收截面的贡献减弱。

表 1 Er³⁺, Yb³⁺ 离子共掺磷酸盐玻璃的稀土离子浓度和吸收截面

	Er ³⁺ / 10 ²⁰ cm ⁻³	Yb ³⁺ / 10 ²⁰ cm ⁻³	σ _{Er} / pm ²	σ _{Yb} / pm ²
1 #	1.55	10.3	0.53	0.78
2 #	1.54	5.17	0.56	1.07
3 #	1.55	2.58	0.54	1.24
4 #	1.54	10.3	0.67	0.91
5 #	1.54	5.13	0.67	1.10
6 #	1.54	2.56	0.69	1.30

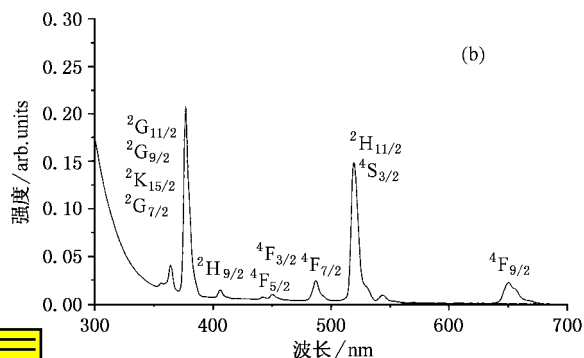
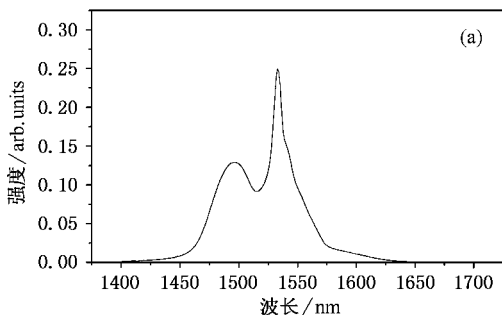


图 1 1# 玻璃在 1400—1700nm 和 300—700nm 范围内的吸收光谱

利用图 1 中 Er³⁺ 离子的 6 个吸收带和 J-O 理论计算 Er³⁺ 离子光谱参数 Ω_t 。它们的中心波长分别为 378, 407, 450, 487, 521 和 652nm。各个吸收带所对应的能级及其约化矩阵元可以由文献 [6] 查得。

因为 Ω_t 只与材料有关,而与在哪两个能级之间跃迁无关,所以由实验吸收光谱确定的 Ω_t 可以用于计算该材料的任意两个能级之间跃迁的光谱参数。

根据实验测试结果用 378, 407, 450, 487, 521 和 652nm 6 个峰的实验振子强度值来计算磷酸盐玻璃中 Er³⁺ 离子能级跃迁的 J-O 参数 Ω_t ($t = 2, 4, 6$)。 $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ 跃迁振子强度和自发辐射跃迁概率 A_{rad} 。计算结果如表 2。从表 2 数据可见,随玻璃中 Al₂O₃ 含量变化, Ω_4 变化较大, Al₂O₃ 含量低的 4#—6# 玻璃的 Ω_4 较大些。对应同样 Er³⁺, Yb³⁺ 离子浓度,

Ω_2 随玻璃中 Al₂O₃ 含量减小略有增加。

表 2 磷酸盐玻璃中 Er³⁺ 离子能级跃迁的 J-O 参数 Ω_t ($t = 2, 4, 6$) $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ 跃迁振子强度和自发辐射跃迁概率 A_{rad}

	$\Omega_2 / 10^{-20}$ cm ²	$\Omega_4 / 10^{-20}$ cm ²	$\Omega_6 / 10^{-20}$ cm ²	$f / 10^{-6}$	$A_{\text{rad}} / \text{s}^{-1}$
1 #	5.15	1.06	0.67	1.46	100.3
2 #	5.07	1.09	0.74	1.46	100.7
3 #	5.5	1.13	0.63	1.35	93
4 #	5.49	1.73	0.72	1.49	102
5 #	5.27	1.69	0.71	1.48	98
6 #	5.79	1.71	0.79	1.57	109

以往的研究表明, Ω_2 与玻璃结构和配位场的对称性、有序性密切相关^[6]。玻璃基体的共价键性越强, Er—O 键共价性越弱, Ω_2 就越小。Al₂O₃ 作为中间体氧化物,能起到修补磷酸盐玻璃网络结构的作用,玻璃的共价键性随 Al₂O₃ 含量增加而加强。所以 1#—3# 玻璃的 Ω_2 值也比 4#—6# 玻璃的略小些。一般认为 Ω_4 和 Ω_6 受玻璃键性和结构对称性影响较小,它们主要受玻璃的酸碱度影响。根据 J-O 理论, Ω_t 可以由下式表述^[6]:

$$\Omega_t = (2t + 1) \sum_{p,s} |A_{sp}|^2 \Xi(s, t) (2s + 1)^{-1}, \quad (8)$$

式中 A_{sp} 为配位场能级的奇宇称部分,反映了配位场的非对称性,受玻璃的键性和对称性影响, $\Xi(s, t)$ 为反映 4f 电子组态能量差异和杂化轨道电子密度的参数,主要受玻璃的酸碱度影响,玻璃的碱性越大, $\Xi(s, t)$ 就越小。一般 Ω_4 和 Ω_6 受 A_{sp} 的影响较小,受 $\Xi(s, t)$ 影响较大,玻璃碱性越大, Ω_4 和 Ω_6 就越小。磷酸盐玻璃中 Al₂O₃ 含量的增加,相应地增加了玻璃的碱性,所以 1#—3# 玻璃的 Ω_4 也小于 4#—6# 玻璃。

3.3. Er³⁺ 离子在磷酸盐玻璃中的荧光光谱、荧光寿命和上转换荧光

图 2 为 1# 样品中 Er³⁺ 离子在磷酸盐玻璃中 974nm 激发下的荧光光谱,荧光峰值位于 1534nm 附近,荧光半高宽为 27nm。Er³⁺ 离子浓度为 1.55×10^{20} cm⁻²。

图 3 为 Er³⁺ 离子在磷酸盐玻璃中 974nm 激发下的上转换荧光光谱。可见峰位于 525nm ($^2H_{11/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$)、545nm ($^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$) 和 652nm ($^4F_{9/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$) 的三

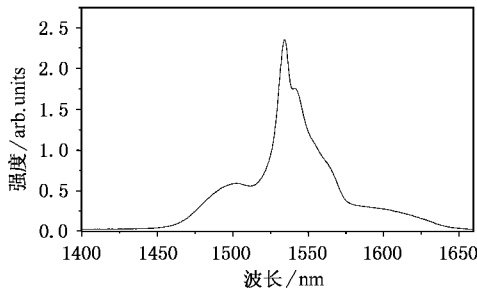


图2 Er³⁺离子在磷酸盐玻璃中的荧光光谱

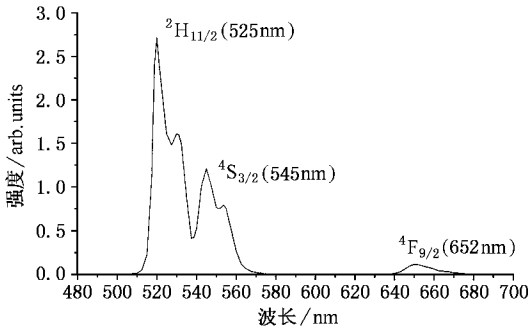


图3 Er³⁺离子在磷酸盐玻璃中974nm激光二极管激发下的上转换荧光光谱

个上转换荧光带,其中前两个峰的 Stark 分裂都很明显.

根据掺 Er³⁺ 磷酸盐玻璃的荧光光谱、荧光寿命和上转换荧光测试的结果,得出表3所示光谱数据.表3中受激发射截面 σ_{em} 是由 McCumber 公式计算得出^[11],上转换荧光系数 C_{el} 为^[12]

$$C_{el} = \frac{f_{\uparrow} f_{\downarrow} N_{Er}^2}{n^2}, \quad (9)$$

式中 f_{\uparrow} 为 $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$ 跃迁振子强度, f_{\downarrow} 为 $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ 跃迁振子强度, n 为玻璃折射率, N_{Er} 为 Er³⁺ 离子浓度.

与氟磷酸盐、碲酸盐、氟化物和硅酸盐玻璃相比^[12-14],在 Er³⁺ 离子浓度相同情况下,掺 Er³⁺ 磷酸盐玻璃的上转换荧光明显较弱,上转换荧光系数也最小.掺 Er³⁺ 磷酸盐玻璃的荧光寿命较长,受激发射截面较大,上转换荧光较弱,表明其作为激光器工作物质具有较大的优点.表3玻璃都经过除水处理,经测试其 OH 基含量都较低,量子效率除5#玻璃外均高于90%.各玻璃计算的上转换荧光系数变化并不大,主要是因为这些玻璃中 Er³⁺ 离子浓度几乎相同.实验结果表明这些玻璃上转换荧光强弱受 Yb³⁺

离子含量影响较大, Yb³⁺ 离子浓度越高, 1.54 μ m 荧光强度越高,上转换荧光也越强.本工作上转换荧光强度和计算上转换荧光屏系数没有对应关系,可能是因为(9)式中未考虑 Yb³⁺ 共掺的影响所致.

表3 玻璃的振子强度、受激发射截面、荧光寿命、量子效率和上转换荧光参数

	$f_{\uparrow}/10^{-6}$	$f_{\downarrow}/10^{-6}$	$\sigma_{em}/\mu\text{m}^2$	τ_{rad}/ms	τ_f/ms	$\eta/\%$	$C_{el}/10^{28}\text{cm}^{-6}$
1#	0.276	1.46	0.58	10.0	9.3	93	0.406
2#	0.305	1.46	0.62	9.9	9.2	93	0.442
3#	0.26	1.35	0.59	10.7	10.4	97	0.354
4#	0.298	1.489	0.74	9.8	9.2	94	0.440
5#	0.243	1.322	0.74	10.2	8.0	78	0.314
6#	0.329	1.573	0.76	9.2	9.0	98	0.485

图4 给出绿光上转换(545nm)荧光强度随980nm 激光二极管激发源功率的变化关系,横轴表示抽运功率的常用对数,纵轴表示荧光强度的常用对数,由图4可见二者有很好的线性关系.线性拟合后的斜率为2.5,可见545nm 上转换荧光是一个准双光子过程.

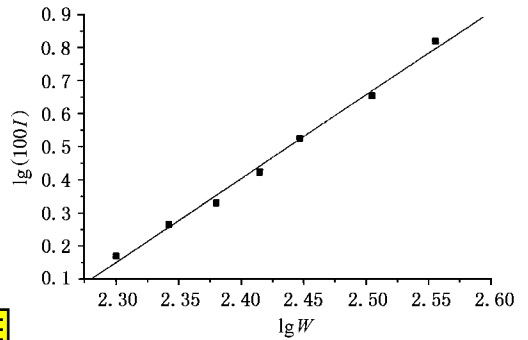


图4 545nm上转换荧光强度与抽运功率的对数关系

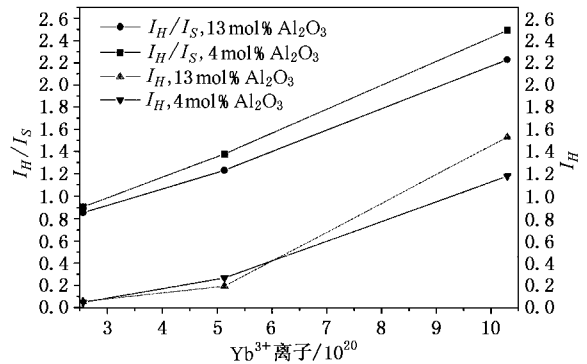


图5 Yb³⁺离子浓度对 Er³⁺离子浓度上转换荧光的影响

图 5 为同一激发功率条件下玻璃在 525 和 545nm 上转换荧光强度与 Yb^{3+} 离子浓度变化关系. 其中 I_H 为 525nm 波长的上转换荧光强度, I_S 为 545nm 波长的上转换荧光强度. 由图 5 可以看出, 随 Yb^{3+} 离子浓度的增高, I_H 和 I_H/I_S 相应增大. 这说明玻璃中 Yb^{3+} 离子的增加, Er^{3+} 离子的上转换荧光越强, 而且由于 Yb^{3+} 离子浓度增高对抽运光吸收增大导致的热效应使 $^2\text{H}_{11/2}$ 能级粒子数增多, I_H 和 I_H/I_S 也在增加, 也就是 525nm 峰在增强. 实验中还观察到, 当激发光功率很高时, 红色上转换荧光增强, 可能是由于激发光功率增大, $^4\text{I}_{13/2}$ 能级激发态吸收增强, 造成 $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ 跃迁(652nm 发光)强度增强.

4. 结 论

在 Er^{3+} , Yb^{3+} 离子共掺的磷酸盐钬玻璃中, 研究了 Er^{3+} 离子浓度固定为 $1.55 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, Yb^{3+} 离

子浓度和 Al_2O_3 含量的变化对光谱性质的影响. 用 J-O 理论计算了 Er^{3+} 离子的光谱强度参量 Ω_i , 并根据 Ω_i 值计算了 Er^{3+} 离子在磷酸盐玻璃中 1530nm 波长的吸收和辐射跃迁光谱参数. 结果表明强度参量 Ω_i 随玻璃中 Al_2O_3 含量有所变化, Al_2O_3 含量低的玻璃 Ω_2 和 Ω_4 较大, Ω_4 受玻璃中 Al_2O_3 含量的影响较大, Al_2O_3 含量较低的玻璃在 1530nm 的受激发射截面较高. 经过除水处理的磷酸盐钬玻璃量子效率可以超过 90%. 对 Yb^{3+} , Er^{3+} 离子共掺磷酸盐钬玻璃上转换荧光的研究结果表明, 在磷酸盐玻璃中, 存在 525, 545 和 652nm 三个玻璃的上转换荧光, 在 Er^{3+} 离子浓度相同的情况下, 计算上转换荧光系数没有很大变化, 上转换荧光强度主要受 Yb^{3+} 离子浓度的影响, Yb^{3+} 浓度越高, 上转换荧光越强, 同时 525nm 上转换荧光强度变强. 上转换荧光机理主要为双光子吸收.

- [1] Veasey D L, Funk D S, Sanford N A and Hayden J S 1999 *Appl. Phys. Lett.* **74** 789
- [2] Veasey D L et al 2000 *J. Non-cryst. Sol.* **263&264** 369
- [3] Yan Y C, Faber A J and de Waal H 1995 *J. Non-cryst. Sol.* **181** 283
- [4] Hehlen M P, Cockroft N J and Gosnell T R 1997 *Opt. Lett.* **22** 772
- [5] Weber M J 1967 *Phys. Rev.* **157** 262
- [6] Tanabe S, Ohyagi T, Soga N and Hanada T 1992 *Phys. Rev. B* **46** 3305
- [7] Guo C X, Lin Y, Yao L Z and Deng Y 1995 *Chin. J. Lasers A* **22** 223 [in Chinese] 郭常新、林泳、姚连增、邓颖 1995 中国激光 A **22** 223]
- [8] Zheng H X, Wu G Z and Gan F X 1985 *Acta Phys. Sin.* **34** 1582 [in Chinese] 郑海兴、吴光照、干福熹 1985 物理学报 **34** 1582]
- [9] Tanabe S 1999 *J. Non-cryst. Sol.* **259** 1
- [10] Takebe H, Nageno Y and Morinaga K 1995 *J. American Ceramic Society* **78** 1161
- [11] Liu Z P, Dai S X, Hu L L, Qi C H and Jiang Z H 2001 *Chin. J. Lasers A* **28** 467 [in Chinese] 柳祝平、戴世勋、胡丽丽、祁长鸿、姜中宏 2001 中国激光 A **28** 467]
- [12] Hehlen M P, Cockroft N J and Gosnell T R 1997 *Opt. Lett.* **22** 772
- [13] Wang Y J, Lin F Y and Hu H F 1997 *Acta Opt. Sin.* **17** 155 [in Chinese] 王英剑、林凤英、胡和方 1997 光学学报 **17** 155]
- [14] Rolli R et al 2001 *Proc. SPIE* **4282** 109

Judd-Ofelt parameter analysis and spectroscopic properties of Er^{3+} -doped phosphate glasses

Liu Zhu-Ping Hu Li-Li Zhang De-Bao Dai Shi-Xun Qi Chang-Hong Jiang Zhong-Hong

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

(Received 14 March 2002 ; revised manuscript received 20 April 2002)

Abstract

The spectroscopic properties and fluorescent up-conversion of Er^{3+} ions-doped phosphate glasses have been studied in this work. The effect of Al_2O_3 contents and Yb^{3+} co-doping concentration on the spectroscopic properties and up-conversion was explored. According to Judd-Ofelt (J-O) theory, J-O parameters Ω_t ($t = 2, 4, 6$) of erbium phosphate glasses have been calculated from the measured absorption spectra. The glasses with lower Al_2O_3 contents have larger Ω_4 and slightly larger Ω_2 . The Yb^{3+} ion concentration does not affect J-O parameters. The oscillator strength, spontaneous emission probability, quantum efficiency, up-conversion coefficient of Er^{3+} have been calculated from the measured fluorescent lifetime and the calculated J-O parameters. The stimulated emission cross section of Er^{3+} ions was calculated by using McCumber theory. It is found that the stimulated emission cross section of Er^{3+} ion is larger in the glass with lower Al_2O_3 concentration. The Yb^{3+} ion concentration strongly affects the up-conversion intensity of the glasses studied. It increases with Yb^{3+} ion concentration. It is deduced from experiment results that the double-photon absorption involves the up-conversion process. The calculated up-conversion coefficient is small in Er^{3+} phosphate glasses. It is mainly determined by Er^{3+} ion concentration. After water removing treatment, the quantum efficiency can be larger than 90% in the erbium phosphate glasses.

Keywords : Er^{3+} ion , phosphate glass , spectroscopic properties , Judd-Ofelt parameter

PACC : 7855 , 4255R , 7840