

掺铒锆钛酸铅镧陶瓷的上转换动力学分析*

李小燕¹⁾ 郑志强^{1)†} 冯卓宏¹⁾ 刘 1) 姜翠华¹⁾ 孔令凯¹⁾ 明 海²⁾

1) 福建师范大学物理与光电信息科技学院, 福州 350007)

2) 中国科学技术大学物理系, 合肥 230026)

(2007 年 9 月 21 日收到, 2007 年 10 月 23 日收到修改稿)

测量了掺铒锆钛酸铅镧($\text{Er}^{3+}:\text{PLZT}$)陶瓷的吸收光谱和上转换荧光光谱, 利用 $\text{Er}^{3+}:\text{PLZT}$ 的吸收光谱, 计算 Er^{3+} 离子的辐射跃迁概率. 分析了 980 nm 激发下 $\text{Er}^{3+}:\text{PLZT}$ 的上转换荧光光谱, 观察到明显的上转换荧光, 且峰值位于 540, 564 nm 附近的绿色荧光带比 678 nm 附近的红色荧光带强. 建立了 Er^{3+} 离子跃迁的速率方程, 通过求解速率方程并采用拟合荧光衰减实验曲线的方法, 得出 $\text{Er}^{3+}:\text{PLZT}$ 的频率上转换系数 $C_{22} = 0.91 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$, $C_{33} = 18.23 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$. 分析表明, $\text{Er}^{3+}:\text{PLZT}$ 透明陶瓷中 ${}^4\text{I}_{1/2}$ 能级上的 Er^{3+} 离子较容易发生频率上转换.

关键词: 频率上转换, Er^{3+} 离子, 锆钛酸铅镧陶瓷, 速率方程

PACC: 7820, 3350, 7855, 7840

1. 引 言

1966 年 Auzel 等人提出稀土离子反斯托克斯效应后, 稀土上转换发光引起了人们的广泛重视^[1,2]. 近年来, 随着信息处理、高密度数据存储、海底通信及其激光医疗等领域的迅速发展^[3], 对蓝绿波段乃至更短波长的激光器的需求越来越多, 从而促进了频率上转换发光研究的进一步发展. 而上转换发光技术是实现全固体化、简单廉价、结构紧凑的可见光激光器的最有前途的手段之一. 经过几十年的研究, 人们在上转换发光材料体系以及上转换发光技术的研究做了许多工作, 有些材料已经达到实用程度^[4-10].

陶瓷激光材料因其优良的特性越来越引起人们的兴趣^[11], 自从 1971 年 PLZT 陶瓷问世以来, 人们对其结构以及光学、电光等方面特性进行了大量的研究^[12,13]. PLZT 是一种 ABO_3 钙钛矿结构的透明陶瓷, 一般被写为 $(\text{Pb}, \text{La}) (\text{Zr}, \text{Ti}) \text{O}_3$, 它一大优点就是具有较低的声子能量 (750 cm^{-1}) 以及较高的折射率 (2.401), 可提高上转换发光效率, 同时它有较大的电光系数, 是一种新型的电光陶瓷, 广泛应用于光

开关、光衰减器和光滤波器等方面^[14,15]. 近年来, 有关稀土离子掺杂的 PLZT 透明陶瓷的研究也引起了广泛的关注^[16-19], Li 等人^[18] 分析了 $\text{Nd}^{3+}:\text{PLZT}$ 陶瓷的光谱特性, Camargo 等人^[19] 报道了 $\text{Er}^{3+}:\text{PLZT}$ 的上转换发光现象, 因此该材料在光放大、集成光学器件和上转换器件等方面有潜在的应用.

本文研究了 $\text{Er}^{3+}:\text{PLZT}$ 中频率上转换的动力学过程. 通过分析 Er^{3+} 离子的能级结构及上转换荧光光谱, 建立了 $\text{Er}^{3+}:\text{PLZT}$ 在 980 nm 抽运下的速率方程. 通过求解速率方程并进行一系列的模拟, 研究了 $\text{Er}^{3+}:\text{PLZT}$ 频率上转换荧光产生的动力学过程并确定其上转换系数.

2. 实验与分析

本实验所采用的 PLZT 透明陶瓷采用加压烧结技术获得, 组分为 $\text{PbO} + \text{La}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiO}_2 + \text{Er}_2\text{O}_3$, 铒离子的掺杂浓度(摩尔分数)为 2%, 在 700 °C 温度下退火 15 min, 使其自然冷却到室温, 制成的样品切割成 $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 的长方体, 通过研磨、抛光后备用. 用 Perkin-Elmer 的 Lambda 900 型 UV-VIS-NIR 分光光度计测量得到吸收光谱(图

* 福建省自然科学基金(A0510014), 福建省科技厅资助项目(2006F5025)资助的课题.

† E-mail: zqzheng@fjnu.edu.cn

1) 测量波长范围为 400 nm—1700 nm, 在 451 nm, 493 nm, 522 nm, 552 nm, 656 nm, 806 nm, 976 nm, 1540 nm 处附近观察到明显的吸收峰, 这些吸收峰分别对应基态 $^4I_{15/2}$ 至激发态 $^4F_{5/2}$, $^4F_{7/2}$, $^2H_{11/2}$, $^4S_{3/2}$, $^4F_{9/2}$, $^4I_{9/2}$, $^4I_{11/2}$, $^4I_{13/2}$ 的能级跃迁, 其中最强的吸收峰位于 522 nm 处. 通过 Judd-Ofelt 理论^[20-23] 计算得到三个强度参量分别为 $\Omega_2 = 2.2230 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_4 = 0.2773 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_6 = 0.1285 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, 其中较小的 Ω_2 反映了 Er^{3+} 离子与周围基质 PLZT 之间有较强的离子键存在, 表明 Er^{3+} 周围环境相对较好的对称性. 应用强度参量可以计算得到 Er^{3+} 离子各个能级的辐射跃迁概率(表 1).

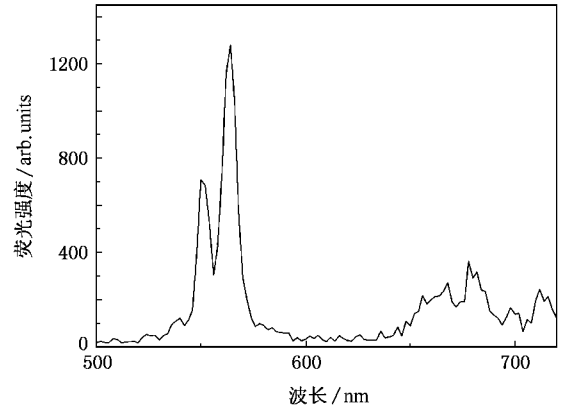


图 2 掺钕 PLZT 透明陶瓷的上转换荧光光谱

子无辐射跃迁至 $^4F_{9/2}$ 能级, $^4F_{9/2}$ 能级上粒子通过自发辐射跃迁至基态 $^4I_{15/2}$ 能级, 产生 678 nm 的红光.

为深入了解掺钕 PLZT 陶瓷材料中上转换荧光产生的动力学过程及其上转换机理, 我们建立了描述系统动力学过程的速率方程.

3. 计算与结果分析

3.1. 速率方程

980 nm 抽运下 Er^{3+} :PLZT 陶瓷中 Er^{3+} 离子的上转换能级跃迁如图 3 所示, 其中 1—7 分别对应于 $^4I_{15/2}$, $^4I_{13/2}$, $^4I_{11/2}$, $^4I_{9/2}$, $^4F_{9/2}$, $^4S_{3/2}$, $^4F_{7/2}$ 各个能级, N_1 — N_7 对应各个能级的 Er^{3+} 数密度. 由于 $^2H_{11/2}$ 和 $^4S_{3/2}$ 能隙小且 $^4S_{3/2}$ 能级的寿命较大, $^2H_{11/2}$ 能级上的粒子很快无辐射弛豫到 $^4S_{3/2}$ 能级, 两个能级间的粒子数分布满足热平衡关系^[24], 因此在建立速率方程时 2 个能级做为 1 个整体加以分析. 箭头标示出在 980 nm 抽运情况下各个能级可能的自发辐射跃迁、无辐射跃迁、与抽运光子能量有关的基态吸收过程以及能量转换和激发态吸收的上转换过程.

Er^{3+} 吸收一个 980 nm 激发光子跃迁到 $^4I_{11/2}$ 态, 由于 $^4I_{11/2}$ 至 $^4F_{7/2}$ 能级间隔与抽运光能量相匹配, 处于激发态 $^4I_{11/2}$ 态的 Er^{3+} 离子可再吸收一个激发光子跃迁至 $^4F_{7/2}$ 能级, 方程中考虑了 $^4I_{11/2} \rightarrow ^4F_{7/2}$ 能级的激发态吸收, $^4I_{11/2} + ^4I_{11/2} \rightarrow ^4F_{7/2} + ^4I_{15/2}$ 和 $^4I_{13/2} + ^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{9/2} + ^4I_{15/2}$ 能量转换的上转换过程. 动力学过程速率方程如下:

$$\frac{dN_1}{dt} = -R_{13}N_1 + R_{31}N_3 + A_{21}N_2 + A_{31}N_3$$

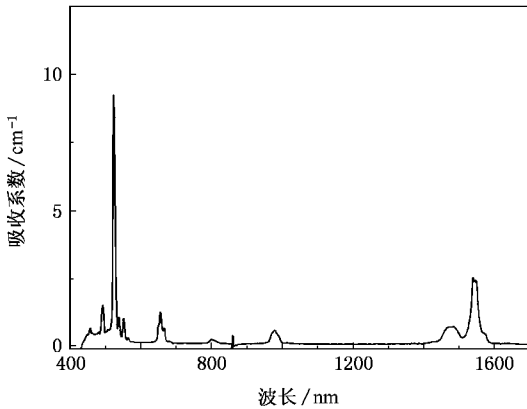


图 1 掺钕 PLZT 透明陶瓷的吸收光谱

图 2 为用 Edinburgh FLS 920 型光谱仪在室温下测量的 Er^{3+} :PLZT 上转换荧光光谱, 激发波长为 980 nm, 上转换荧光由 540 nm, 564 nm, 678 nm 三个发光带组成, 分别对应于激发能级 $^2H_{11/2}$, $^4S_{3/2}$ 和 $^4F_{9/2}$ 到基态 $^4I_{15/2}$ 的跃迁.

Er^{3+} 离子 $^4I_{11/2}$ 能级具有相对较长的荧光寿命 (228 μs), 使跃迁到 $^4I_{11/2}$ 能级上的粒子可能产生明显的上转换现象, 上转换产生的过程可能为: 能量转换 (ETU) $^4I_{11/2} + ^4I_{11/2} \rightarrow ^4F_{7/2} + ^4I_{15/2}$, 同时, 激发态吸收 (ESA) $^4I_{11/2} + h\nu \rightarrow ^4F_{7/2}$, 增加了 $^4F_{7/2}$ 能级上的粒子数积累, $^4F_{7/2}$ 能级上的粒子无辐射跃迁弛豫至 $^2H_{11/2}$ 能级和 $^4S_{3/2}$ 能级. $^2H_{11/2}$ 能级上的粒子一部分以自发辐射跃迁的方式返回到基态 $^4I_{15/2}$ 能级, 产生 540 nm 的绿光, 另一部分粒子则无辐射跃迁至 $^4S_{3/2}$ 能级, 该能级上大部分粒子通过自发辐射返回基态 $^4I_{15/2}$, 产生 564 nm 的绿光. $^4S_{3/2}$ 能级与相邻能级 $^4F_{9/2}$ 能级能量间隔较小, 因此该能级上也有部分粒

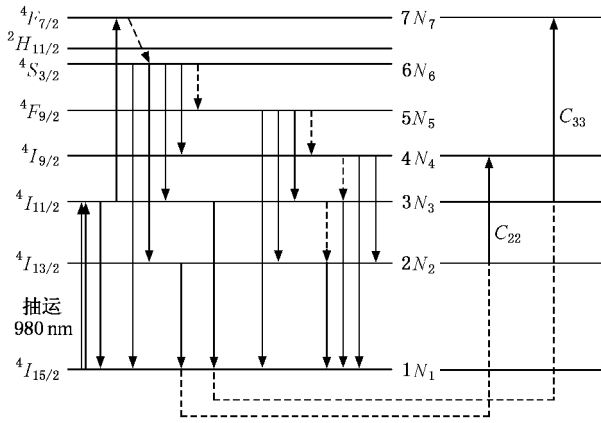


图3 980 nm 抽运时铒离子的能级跃迁

$$A_{41}N_4 + A_{51}N_5 + A_{61}N_6 + C_{22}N_2^2 + C_{33}N_3^2,$$

$$\frac{dN_2}{dt} = -A_{21}N_2 + A_{32}^{NR}N_3 + A_{42}N_4 + A_{52}N_5 + A_{62}N_6 - 2C_{22}N_2^2,$$

$$\frac{dN_3}{dt} = R_{13}N_1 - R_{31}N_3 - R_{37}N_3 - A_{31}N_3 - A_{32}^{NR}N_3 + A_{43}^{NR}N_4 + A_{53}N_5 + A_{63}N_6 - 2C_{33}N_3^2,$$

$$\frac{dN_4}{dt} = -A_{41}N_4 - A_{42}N_4 - A_{43}^{NR}N_4 + A_{54}^{NR}N_5 + A_{64}N_6 + C_{22}N_2^2,$$

$$\frac{dN_5}{dt} = -A_{51}N_5 - A_{52}N_5 - A_{53}N_5 - A_{54}^{NR}N_5 + A_{65}^{NR}N_6,$$

$$\frac{dN_6}{dt} = -A_{61}N_6 - A_{62}N_6 - A_{63}N_6 - A_{64}N_6 - A_{65}^{NR}N_6 + A_{76}^{NR}N_7,$$

$$\frac{dN_7}{dt} = R_{37}N_3 - A_{76}^{NR}N_6 + C_{33}N_3^2,$$

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6 + N_7. \quad (1)$$

速率方程中的各参数如表 1, 其中 R_{13} 和 R_{31} 代表抽运吸收速率和受激发射概率, R_{36} 代表激发态吸收速率, C_{22} , C_{33} 分别为 ${}^4I_{13/2} + {}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{9/2} + {}^4I_{15/2}$ 和 ${}^4I_{11/2} + {}^4I_{11/2} \rightarrow {}^4I_{15/2} + {}^4F_{7/2}$ 的频率上转换系数, N_i 表示第 i 能级上的 Er^{3+} 数密度, N 表示总的 Er^{3+} 数密度. 基态吸收速率 (R_{GSA}) 和激发态吸收速率 (R_{ESA}) 由下式给出^[25]:

$$R_{\text{GSA}} = \frac{\sigma I}{h\nu}, \quad (2)$$

$$R_{\text{ESA}} = \frac{\sigma' I}{h\nu}, \quad (3)$$

$$\sigma = \frac{2e^2}{mc^2} f, \quad (4)$$

σ, σ' 代表光子频率 ν 处基态和激发态的吸收截面, f 代表振子强度, $\bar{\nu}$ 代表波数, I 为激发光束的强度. A^R, A^{NR} 分别代表辐射跃迁概率和无辐射跃迁概率, 根据图 1 的吸收光谱以及铒离子的约化矩阵元^[26] 可计算得到 A^R , 再根据“能隙定律”^[27] (式 (5)) 得到无辐射弛豫概率.

$$A^{NR} = C e^{-\alpha \Delta E}, \quad (5)$$

其中 ΔE 为能量间隙, C, α 为系统的特征参量.

在稳态的情况下有

$$\frac{dN_i}{dt} = 0. \quad (6)$$

由此可以求出以上方程的稳态解, 得到 Er^{3+} 离子各能级的粒子数分布的情况.

表 1 掺铒 PLZT 的辐射跃迁概率、无辐射跃迁概率等参数

参量	测量或计算的值	参量	测量或计算的值
$A_{76}^{NR}/\text{s}^{-1}$	34143	$A_{43}^{NR}/\text{s}^{-1}$	277121.9
$A_{65}^{NR}/\text{s}^{-1}$	82304	A_{42}^R/s^{-1}	27.36
A_{64}^R/s^{-1}	36.18	A_{41}^R/s^{-1}	91.62
A_{63}^R/s^{-1}	22.03	$A_{32}^{NR}/\text{s}^{-1}$	3345.2
A_{62}^R/s^{-1}	279.47	A_{31}^R/s^{-1}	127.10
A_{61}^R/s^{-1}	655.56	A_{21}^R/s^{-1}	202.53
$A_{54}^{NR}/\text{s}^{-1}$	3000	R_{13}/s^{-1}	0.225
A_{53}^R/s^{-1}	80.06	R_{31}/s^{-1}	0.179
A_{52}^R/s^{-1}	63.16	R_{37}/s^{-1}	0.279
A_{51}^R/s^{-1}	943.2	$C_{22}(\times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s})$	0.91
		$C_{33}(\times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s})$	18.23

3.2. 结果分析

用龙格-库塔 (Runge-Kutta) 四阶数值法对速率方程进行求解, 初始条件为 $N_1 = 1, N_i = 0 (i \neq 1)$, 取稳定后的值为方程的稳态解. 上转换系数是分析上转换过程的一个重要的参数, 由于实验上难以估算 C_{22} 和 C_{33} 这两个频率上转换系数未知参量, 因此采取拟合 1550 nm 和 980 nm 荧光衰减曲线进行判断和分析, 得到 C_{22} 和 C_{33} 两个频率上转换系数.

图 4 为 1550 nm 的实验归一化荧光衰减曲线和理论拟合曲线. 图中实线 a 为实验得到的归一化荧光衰减曲线, 点线 b , 虚线 c 和点虚线 d 分别为当 $C_{22} = 0.91 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$, $C_{33} = 18.23 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$, $C_{22} = 0 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$, $C_{33} = 18.23 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$ 和 $C_{22} =$

$3.64 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$, $C_{33} = 9.12 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$ 拟合得到的衰减曲线,从中可以看出点线 b 与实验曲线 a 最符合。由拟合参数 C_{22} 和 C_{33} 的值,可以反映出 $2\text{mol}\% \text{Er}^{3+}:\text{PLZT}$ 透明陶瓷在 980 nm 抽运下 ${}^4I_{11/2} + {}^4I_{11/2} \rightarrow {}^4F_{7/2} + {}^4I_{15/2}$ 频率上转换相比于 ${}^4I_{13/2} + {}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{9/2} + {}^4I_{15/2}$ 频率上转换现象明显,但当 $C_{22} = 0 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$ 时,计算得到的曲线将与实验曲线明显不符合,因此速率方程中考虑了 ${}^4I_{11/2}$ 和 ${}^4I_{13/2}$ 能级上的两个频率上转换过程。

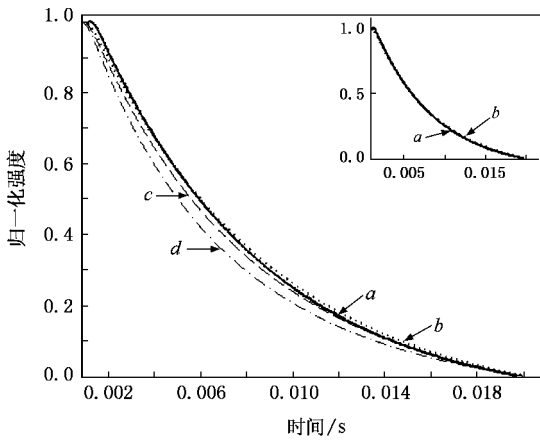


图4 1550 nm 的实验归一化荧光衰减曲线和理论拟合曲线(其中实线 a 为实验得到的归一化荧光衰减曲线,点线 b 、虚线 c 和点虚线 d 分别为当 $C_{22} = 0.91 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$, $C_{33} = 18.23 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$, $C_{22} = 0 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$, $C_{33} = 18.23 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$ 和 $C_{22} = 3.64 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$, $C_{33} = 9.12 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$ 拟合得到的衰减曲线)

图5为 ${}^4I_{11/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ 跃迁的荧光衰减曲线的拟合图示,实线曲线 a 为实验荧光衰减曲线,点线 b 为理论计算得到的曲线。把上述多组 C_{22} 和 C_{33} 上转换系数代入进行拟合,当 $C_{22} = 0.91 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$, $C_{33} = 18.23 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$ 时,两曲线拟合最符合。从实验曲线的拟合中得到的上转换系数 C_{33} 较大,说明在 ${}^4I_{11/2}$ 能级的 Er^{3+} 离子容易产生上转换,粒子跃

迁到 ${}^4F_{7/2}$ 能级形成较多的粒子数积累, ${}^4F_{7/2}$ 能级上的大部分粒子以无辐射跃迁的方式至 ${}^2H_{11/2}$ 能级和 ${}^4S_{3/2}$ 能级,产生 540 nm 附近和 564 nm 附近的绿色发光。

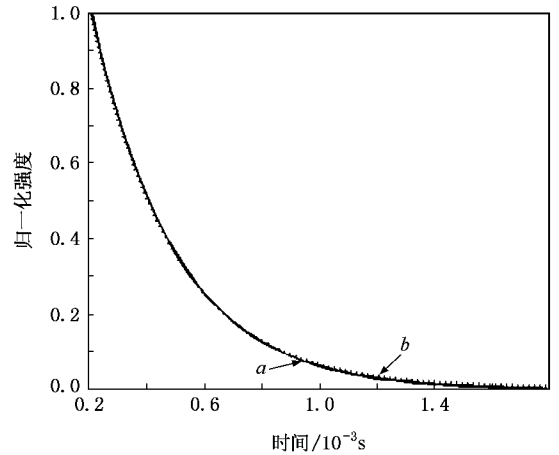


图5 ${}^4I_{11/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ 跃迁的荧光衰减曲线的拟合(其中实线 a 为实验得到的归一化荧光衰减曲线,点线 b 为当 $C_{22} = 0.91 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$, $C_{33} = 18.23 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$ 拟合得到的衰减曲线)

4. 结 论

本文测量并分析了 $\text{Er}^{3+}:\text{PLZT}$ 透明陶瓷的吸收光谱和上转换荧光光谱。考虑能量转换、激发态吸收等上转换机理以及无辐射弛豫、基态吸收等因素,利用速率方程理论,建立了描述钕离子掺杂的 PLZT 在 980 nm 抽运下的频率上转换动力学过程的模型。通过求解速率方程并采用拟合 1550 nm 和 980 nm 的荧光衰减实验曲线的方法,得到了上转换系数 $C_{22} = 0.91 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$ 和 $C_{33} = 18.23 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$ 。从实验曲线的拟合中得到的上转换系数 C_{33} 较大,说明在 ${}^4I_{11/2}$ 能级的钕离子较容易产生上转换,这与 $\text{Er}^{3+}:\text{PLZT}$ 透明陶瓷在 980 nm 抽运下观察到较强的绿色上转换荧光相符合。

[1] Auzel F 1966 *J. Compt. Rend.* **263**(B)819

[2] Auzel F 1973 *J. Proc. IEEE* **61** 758

[3] Yang J H, Dai S X, Jiang Z H 2003 *Progress in Physics* **23** 284 [杨建虎、戴世勋、姜中宏 2003 物理学进展 **23** 284]

[4] Lin H, Pun E Y, Liu X R 2001 *J. Non-Cryst. Solids* **283** 27

[5] Higuchi H, Takahashi M, Kawahara Y 1998 *J. Appl. Phys.* **83** 19

[6] Takahashi M, Izuki M, Kanno R, Kawamoto Y 1998 *J. Appl. Phys.* **83** 3920

[7] Ding Q L, Xiao S G, Zhang X H 2006 *Acta. Phys. Sin.* **55** 5140 (in Chinese) [丁庆磊、肖思国、张向华 2006 物理学报 **55** 5140]

[8] Song F, Tan H, Shang M R, Zhang G Y, Cheng Z X, Chen H C

- 2002 *Acta. Phys. Sin.* **51** 2375 (in Chinese) [宋 峰、谭 浩、商美茹、张光寅、程振祥、陈焕鑫 2002 物理学报 **51** 2375]
- [9] Chen X B , Li M X , Sawanobori N , Zeng Z , Nie Y X 2000 *Acta. Phys. Sin.* **49** 2482 (in Chinese) [陈晓波、李美仙、Sawanobori N、曾 哲、聂玉昕 2000 物理学报 **49** 2482]
- [10] Wen L , Zhang L Y , Yang J H , Wang G N , Chen W , Hu L L 2006 *Acta. Phys. Sin.* **55** 1486 (in Chinese) [温 磊、张丽艳、杨建虎、汪国年、陈 伟、胡丽丽 2006 物理学报 **55** 1486]
- [11] Liu S H. 2005 *Laser & Infrared* **35** 385 (in Chinese) [刘頔豪 2005 激光与红外 **35** 385]
- [12] Krumins A , Fritsberg V 1981 *Ferroelectrics* **35** 149
- [13] Guto-Nelle A , Schichl H , Springer J 1983 *Ferroelectrics* **49** 151
- [14] Ballato J , Esmacher R , Schwartz R , Dejneka M 2000 *J. Lumin.* **8** 101
- [15] Murakami S , Herren M , Morita M , Ohkubo S , Suzuki T 1995 *J. Lumin.* **66** 294
- [16] Gene H , Haertling 1987 *Ferroelectrics* **75** 25
- [17] Kadono K , Yazawa T , Jiang S B , Porque J , Hwang B C , Peyghambarian N 2003 *J. Non-Cryst. Solids* **331** 79
- [18] Li B Z , Zheng Z Q , Yang J W , Li K 2005 *Chin. Phys. Lett.* **22** 80
- [19] Camargo A S S , Possatto J F , Nunes L A O , Botero É R , Andreetta E R M , Garcia D , Eiras J A 2006 *J. Sol. Sta. Commu.* **137** 1
- [20] Judd B R 1962 *J. Phys. Rev.* **127** 750
- [21] Ofelt G S 1962 *J. Chem. Phys.* **37** 511
- [22] Mendez-Ramos J , Lavin V , Martin I R 2001 *J. Alloy. Comp.* **323** 735
- [23] Zheng Z Q , Liang H , Ming H , Zhang Q J , Chen B , Sun X H , Xie J P 2003 *Chin. Phys. Lett.* **20** 654
- [24] Yeh D C , Sibley W A , Suscavage M , Drexhage M G 1987 *J. Appl. Phys.* **62** 266
- [25] Maciel G S , Araújo C B 1997 *J. Phys. Rev. B* **55** 6335
- [26] Weber M J 1967 *J. Phys. Rev.* **157** 262
- [27] Miyakawa T , Dexter D L 1970 *J. Phys. Rev. B* **1** 2961

Analysis of the dynamics of upconversion in erbium-doped transparent lead lanthanum zirconate titanate ceramic^{*}

Li Xiao-Yan¹⁾ Zheng Zhi-Qiang^{1)†} Feng Zhuo-Hong¹⁾ Liu Jing¹⁾ Jiang Cui-Hua¹⁾ Kong Ling-Kai¹⁾ Ming Hai²⁾

¹⁾ *School of Physics and Optoelectronics Technology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China*

²⁾ *Department of Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China*

(Received 21 September 2007 ; revised manuscript received 23 October 2007)

Abstract

The absorption and upconversion fluorescence spectra of Er^{3+} ions in Er^{3+} doped transparent lead lanthanum zirconate titanate (PLZT) ceramic were measured at room temperature. The radiative transition probabilities of the Er^{3+} ions were calculated using the absorption spectrum of Er^{3+} doped PLZT. Strong upconversion emission was observed in the upconversion luminescence of Er^{3+} doped PLZT. The green emission intensities at 540 nm and 564 nm were stronger than the red emission intensity at 678 nm. The upconversion rate equations describing the dynamic process of the system have been deduced. The upconversion coefficients were estimated by numerically solving the rate equations and fitting the simulated curves to the measured data. The coefficients C_{22} and C_{33} obtained are $0.91 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$ and $18.23 \times 10^{-18} \text{ cm}^3/\text{s}$, respectively. The results show that evident upconversion phenomenon can be observed in Er^{3+} : PLZT transparent ceramics, which is consistent with our observation.

Keywords : frequency upconversion , Er^{3+} ions , lead lanthanum zirconate titanate ceramic , rate equation

PACC : 7820 , 3350 , 7855 , 7840

^{*} Project supported by the Natural Science Foundation of Fujian Province (Grant No. A0510014), and the Science foundation of the Department of Science and Technology of Fujian Province of China (Grant No. 2006F5025).

[†] E-mail : zqzheng@fjnu.edu.cn