

$Tm_{0.03}Yb_{0.18}La_{0.79}P_5O_{14}$ 和 $Tm(0.1)Yb(3) \cdot ZBLAN$ 玻璃的 上转换敏化蓝色发光*

陈晓波^{1,2} 冯 衍² 李美仙^{1,2} 宋 峰²

李 昆² 张光寅² 闻 鸥³ 陈荣声³ 程肇天³

(¹ 北京师范大学 北京 100875; ² 南开大学物理系 天津 300071; ³ 北京玻璃研究院 北京 100062)

提要 报道了 $Tm_{0.03}Yb_{0.18}La_{0.79}P_5O_{14}$ 玻璃和 $Tm(0.1)Yb(3) \cdot ZBLAN$ 玻璃中 Tm^{3+} 离子 1G_4 能级的直接上转换敏化发光和间接上转换敏化发光并进行了初步的比较研究,发现在间接上转换敏化的情况下,五磷酸盐中 Tm^{3+} 离子的上转换发光极大地增强,达到与 ZBLAN 玻璃可比的水平,它有助于促进上转换研究推向实际应用。

关键词 上转换敏化, $Tm_{0.03}Yb_{0.18}La_{0.79}P_5O_{14}$ 玻璃, $Tm(0.1)Yb(3) \cdot ZBLAN$ 玻璃

1 引 言

频率上转换研究在近十年有了突飞猛进的发展^[1~4],但仍然面临着进一步提高上转换效率的任务。由于 Yb^{3+} 离子能级结构的特殊性,它的引入既可以通过能量传递导致共掺稀土离子上转换发光的较大增强,又可能不引起较明显的荧光淬灭。因而研究 Yb 作为敏化中心的上转换敏化研究是有重要意义的^[5,6]。另一方面,ZBLAN 体系虽然上转换效率较高,但它的化学稳定性和机械强度差、激光损伤阈值低、工艺制作难的缺点也非常突出,制约了上转换实际应用的发展,因而寻找性能更好的材料对于促使上转换的研究非常重要。

本文进行了 $Tm(0.1)Yb(3) \cdot ZBLAN$ 玻璃和 $Tm_{0.03}Yb_{0.18}La_{0.79}P_5O_{14}$ 玻璃中 Tm^{3+} 离子 1G_4 能级的上转换敏化发光的比较研究,发现在间接上转换敏化的情况下,五磷酸盐中 Tm^{3+} 离子的上转换发光极大地增强,达到与 ZBLAN 玻璃可比的水平,它有助于促进上转换研究推向实际应用。

2 实验和结果

选择了 $Tm(0.1)Yb(3) \cdot ZBLAN$ 玻璃和 $Tm_{0.03}Yb_{0.18}La_{0.79}P_5O_{14}$ 玻璃进行了 Tm^{3+} 离子 1G_4 能级上转换敏化发光的比较研究。实验所用半导体激光器的波长为 800 nm 和 960 nm, 荧

* 国家自然科学基金和国家教育部博士点基金资助课题。

收稿日期: 1997-11-14; 收到修改稿日期: 1998-01-19

光收集处理系统采用 SPEX 的 Fluorolog-2 型荧光分光光度计, 荧光收集方向与激光激发方向垂直, 样品厚度均为 5 mm, 不同样品的测量条件和测量状态完全相同, 可以保证不同样品间的相对强度可以比较。

首先选用 960 nm 激光作激发源, 测量了上述两个样品的上转换发光, 其发光谱和相对强度如图 1 和表 1 所示, 改变激光功率测量了上转换发光强度, 如图 2 所示, 说明在 960 nm 激光激发下 Tm^{3+} 离子 1G_4 能级的上转换发光是三光子荧光。

表 1 800 nm 和 960 nm 激光激发下 $Tm(0.1)Yb(3) \cdot ZBLAN$ 和 $Tm_{0.03}Yb_{0.18}La_{0.79}P_5O_{14}$ 玻璃的 1G_4 能级的上转换荧光强度

Table 1 The upconversion fluorescence intensity of 1G_4 level of $Tm(0.1)Yb(3) \cdot ZBLAN$ and $Tm_{0.03}Yb_{0.18}La_{0.79}P_5O_{14}$ glasses induced by 800 nm and 960 nm laser

	Fluorescence intensity induced by 800 nm laser	Fluorescence intensity induced by 960 nm laser
$Tm(0.1)Yb(3) \cdot ZBLAN$ $\lambda_f^* = 478 \text{ nm}$	7.56×10^6	1.00×10^{10}
$Tm_{0.03}Yb_{0.18}La_{0.79}P_5O_{14}$ $\lambda_f^* = 475 \text{ nm}$	4.84×10^5	2.26×10^5

* λ_f : Fluorescence wavelength.

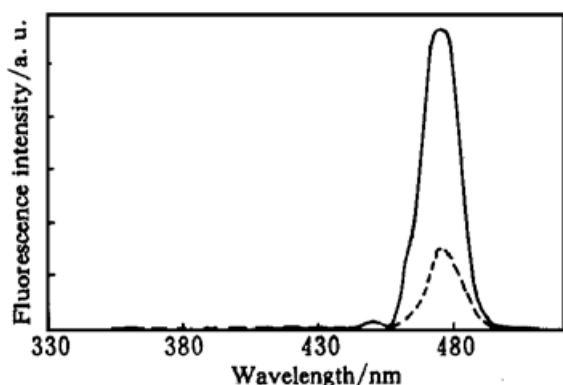


图 1 960 nm 半导体激光激发下两个样品的上转换发光谱

Fig. 1 The upconversion luminescence spectrum of two samples induced by a 960 nm diode laser

—: $ZBLAN \cdot Tm(0.1)Yb(3)$;

--- Pentaphosphate sample: multiplied by 10000

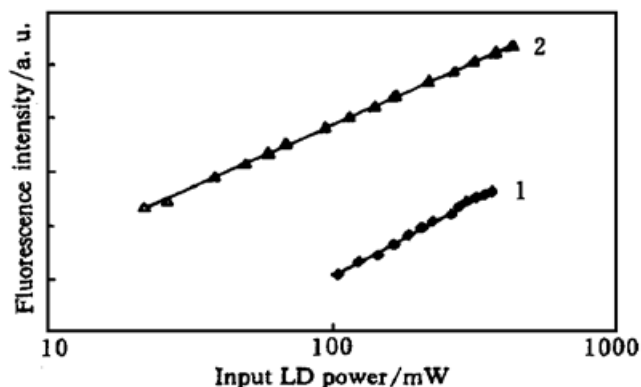


图 2 上转换荧光强度随 960 nm 激光功率的变化

Fig. 2 The dependence of upconversion fluorescence intensity upon 960 nm pumping laser power

curve 1: Pentaphosphate sample slope= 2.87

curve 2: $ZBLAN: Tm(0.1)Yb(3)$ slope= 2.31

然后选用 800 nm 激光激发, 也测量了上述两个样品的上转换发光, 其发光谱和相对强度如图 3 和表 1 所示, 改变激光功率测量了上转换发光强度, 如图 4 所示, 说明在 800 nm 激光激发下 Tm^{3+} 离子 1G_4 能级的上转换发光是双光子荧光。

3 分 析

对于稀土激活中心(本文为 Tm^{3+} 离子)和敏化中心 Yb^{3+} 离子共掺的发光材料, 若用激光直接激发敏化中心 Yb^{3+} 离子, 通过 Yb^{3+} 离子对激活中心的多步能量传递再将稀土激活中心激发至高能级(如图 5 所示)而产生上转换荧光的这类过程称之为直接上转换敏化。

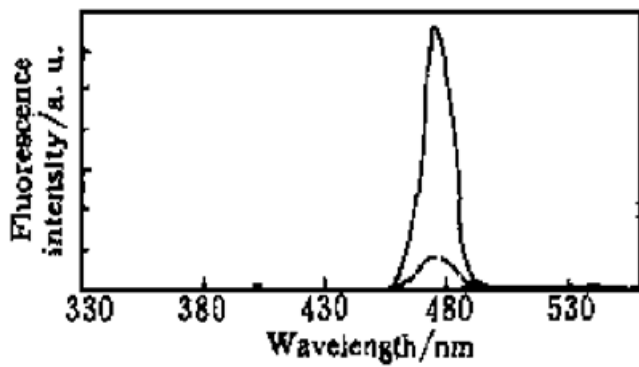


图 3 800 nm 半导体激光激发下两个样品的上转换发光谱

Fig. 3 The upconversion luminescence spectrum of two samples induced by a 800 nm diode laser
 —: Pentaphosphate sample: multiplied by 100
 - - - ZBLAN ·Tm(0.1)Yb(3)

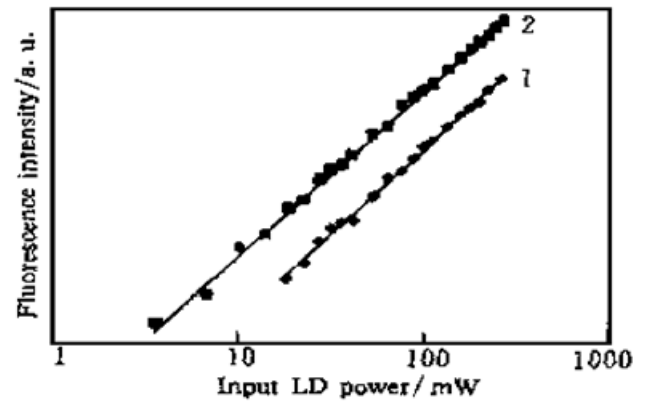
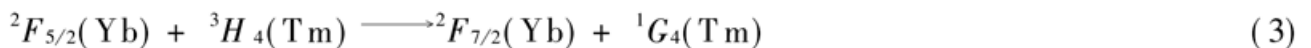
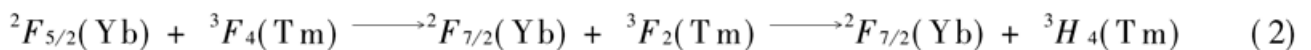
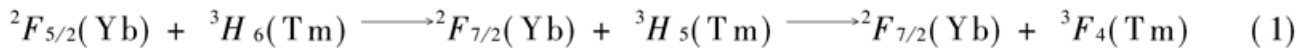


图 4 上转换荧光强度随 800 nm 激光功率的变化

Fig. 4 The dependence of upconversion fluorescence intensity upon 800 nm pumping laser power
 curve 1: Pentaphosphate sample: slope= 1.515
 curve 2: ZBLAN ·Tm(0.1)Yb(3) slop= 1.493

若直接激发激活中心,如本文采用波长约为 800 nm 的激光直接激发 Tm^{3+} 离子的 3H_4 能级,通过 $Tm \rightarrow Yb$ 的能量传递使 Yb 的 $^2F_{5/2}$ 能级上有一定布居,再使敏化中心 Yb 离子 $^2F_{5/2}$ 上的布居经能量传递至 Tm 离子的更高能级 1G_4 而导致上转换发光的这类过程,称之为间接上转换敏化,如图 5 所示。

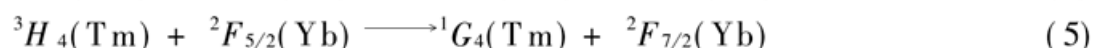
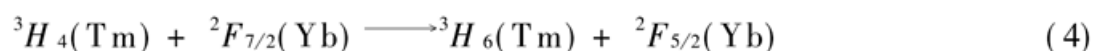
对于图 1 和表 1 的直接上转换敏化实验结果中, $Tm(0.1)Yb(3) \cdot ZBLAN$ 和 $Tm_{0.03}Yb_{0.18}La_{0.79}P_5O_{14}$ 直接上转换敏化的通道是相似的,如图 5 所示为



但上转换发光的强度却相差极大,由表 1 可见, $Tm_{0.03}Yb_{0.18}La_{0.79}P_5O_{14}$ 玻璃比 $Tm(0.1)Yb(3) \cdot ZBLAN$ 玻璃的发光弱了 4.45 万倍。

我们知道,声子能量越大,无辐射弛豫越强,图 6 给出了不同材料中多声子无辐射弛豫速率和能级间隔的关系^[7]。对于 Yb, Tm 共掺体系在直接上转换敏化下主要的 $^1G_4(Tm)$ 能级上转换发光, $^3F_4(Tm)$ 和 $^3H_4(Tm)$ 能级起着重要的作用,假如其无辐射弛豫 W_n 越强,则其亚稳性就越弱,激发态上的布居再次被激发至更高激发态的分支比就越小, $^1G_4(Tm)$ 能级上转换发光就越弱,因而表 1 的上转换实验结果正是 ZBLAN 玻璃的约 580 cm^{-1} 的截止声子能量较小,而五磷酸盐玻璃约 1200 cm^{-1} 截止声子能量极大的原因造成如此巨大的差别,因而 ZBLAN 体系成为目前上转换应用的不可替代的首选材料,但它的化学稳定性和机械强度差、激光损伤阈值低、工艺制作难的缺点也非常突出,制约了上转换实际应用的发展。

对于图 3 和表 1 的间接上转换敏化发光的实验结果,它们的间接上转换通道也是类似的,如图 5 所示为



但上转换发光的强度却有了很大变化, $Tm_{0.03}Yb_{0.18}La_{0.79}P_5O_{14}$ 玻璃比 $Tm(0.1)Yb(3) \cdot ZBLAN$ 玻璃的发光仅弱了 15.6 倍,即五磷酸盐中 Tm^{3+} 离子 1G_4 能级上转换发光与在

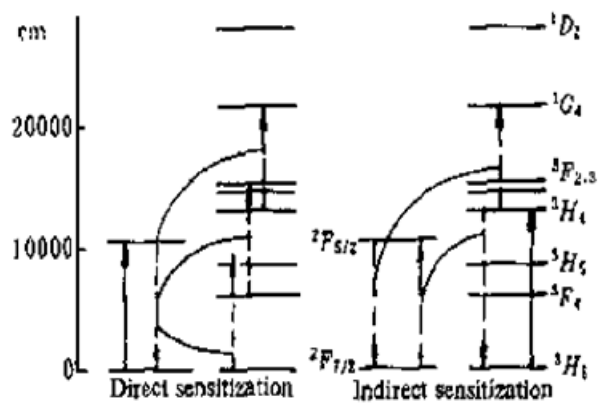


图5 Yb^{3+} 和 Tm^{3+} 双离子系统的能级结构及直接敏化和间接敏化上转换过程的示意图

Fig. 5 The schematic diagram of direct and indirect upconversion sensitization programs and the energy structure of the Yb^{3+} , Tm^{3+} codoped system

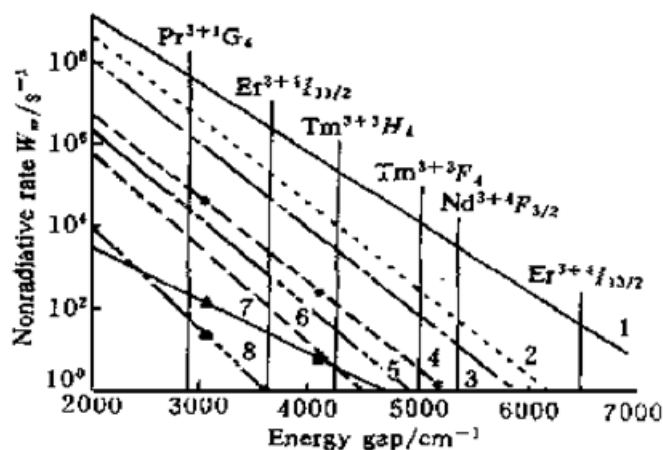


图6 不同材料中多声子无辐射弛豫速率和能级间隔的关系

Fig. 6 The relationship between the multi-phonon nonradiative relaxation rate and energy gap in different materials

1: Borate; 2: Phosphate; 3: Silicate; 4: Tellurite; 5: Germanate; 6: Fluorozirconate; 7: LaF_3 crystal; 8: sulfide

ZBLAN 玻璃中的比值从直接敏化的 2.25×10^{-5} 增强至 6.40×10^{-2} , 增强了 2853 倍, 达到了与 ZBLAN 可比的水平。突破了过去形成的一种简单地认为石英、五磷酸盐等截止声子能量大于 1000 cm^{-1} 的材料的上转换发光比氟化物一概小约 1 万倍的概念与框框, 它的意义在于有可能寻找到较大声子能量, 但化学稳定性和机械强度高、工艺制作容易、激光损伤阈值高的材料, 它在间接上转换敏化下, 易于实现可实际应用各类高效上转换器件。

对于 Tm 在五磷酸盐中间接上转换敏化发光很强的原因从图 5, 图 6 中可以看出, 虽然由于声子能量大无辐射弛豫增大, 但是 $^3\text{H}_4$ 和 $^1\text{G}_4$ 与下能级间隔较大, 多声子无辐射弛豫所占的分支比较小, 对上转换的破坏也较小, 而同时由 $^3\text{H}_4$ (Tm^{3+}) 非共振能量传递至 $^2\text{F}_{5/2}$ (Yb^{3+}) 的布居大大增加, 再由 $^2\text{F}_{5/2}$ (Yb^{3+}) 反向非共振能量传递至 $^1\text{G}_4$ (Tm^{3+}) 的传递几率 $\rho^{[8]}$ 也大大增加, 因而导致了 Tm^{3+} 离子在五磷酸盐中的间接上转换敏化发光强度很强, 声子充分显示出它在上转换中的价值。

虽然要定量分析声子对上转换的影响是比较困难的, 其解析表达式是很复杂的, 并且对于不同的上转换过程它也是不同的, 但还是可以从其物理意义上定性分析声子对上转换的影响。

上转换的类型有三种, 即步进吸收上转换、能量传递上转换和雪崩上转换, 在上转换的过程中同时存在着向更高能级的激发 R_{up} 和向更低能级的弛豫 R_{down} ; R_{up} 可能是光激发速率也可能是能量传递速率, 在共振激发的情况下 R_{up} 均与声子的作用无关, 只有在非共振的情况下 R_{up} 与声子的作用有关, 此时声子体现出有益的价值; 而对于 R_{down} 则更复杂, 它包括自发辐射过程、多声子无辐射弛豫过程、光激发过程和能量传递过程四个因素, 特别值得注意的是自发辐射过程 A 和多声子无辐射弛豫过程 W_n 是同时起作用的; 因此为了考察自发辐射过程对上转换的影响, 可简单地认为激发态上的布居再次被激发至更高激发态的分支比 β 是自发辐射过程 A 与多声子无辐射弛豫过程 W_n 之和的函数, 即

$$\beta = R_{\text{up}}/R_{\text{down}} \approx 1/R_{\text{down}} = f(A + W_n)^{-1} \quad (6)$$

由图 6 可以看出, 截止声子能量不同的各种基质的多声子无辐射弛豫过程 W_n 是差别很大

的,例如对于起源于 Er^{3+} 离子与下能级的能隙为约 2300 cm^{-1} 的 ${}^4I_{9/2}$ 能级(或与下能级的能隙为约 3600 cm^{-1} 的 ${}^4I_{11/2}$ 能级)的上转换,其自发辐射过程 $A({}^4I_{9/2}) \approx A({}^4I_{11/2}) \approx 10^2\text{ s}^{-1}$,多声子无辐射弛豫速率 W_n 对于磷酸盐为约 $W_n^P({}^4I_{9/2}) \approx 10^8\text{ s}^{-1}$,对于氟锆玻璃为约 $W_n^F({}^4I_{9/2}) \approx 10^5\text{ s}^{-1}$,由于 $W_n \gg A$ (或对于 ${}^4I_{11/2}$ 能级, $W_n^P({}^4I_{11/2}) \approx 10^5\text{ s}^{-1}$, $W_n^F({}^4I_{11/2}) \approx 10^2\text{ s}^{-1}$, $W_n \gg A$ 也基本成立),因此其上转换的分支比 β 就仅是无辐射弛豫速率 W_n 的函数,即有

$$\beta = f(W_n)^{-1} \quad (7)$$

由于 $W_n^P({}^4I_{9/2})/W_n^F({}^4I_{9/2}) \approx 10^3$ (同样也有 $W_n^P({}^4I_{11/2})/W_n^F({}^4I_{11/2}) \approx 10^3$),再加上上转换发光能级的荧光量子效率的不同,因此,对于起源于 Er^{3+} 离子的 ${}^4I_{9/2}$ 能级(或 ${}^4I_{11/2}$ 能级)的上转换,磷酸盐的上转换发光强度将比氟锆玻璃小 1 万以上,其原因就是多声子无辐射弛豫速率 W_n 远大于自发辐射速率 A 。这也就是过去形成的一种简单地认为石英、五磷酸盐等截止声子能量大于 1000 cm^{-1} 的材料的上转换发光比氟化物一概小约 1 万倍的概念与框框的原因。

而对于 Yb, Tm 共掺体系的 ${}^1G_4(Tm)$ 能级上转换发光, ${}^3F_4(Tm)$ 和 ${}^3H_4(Tm)$ 能级(其自发辐射速率 $A({}^3F_4) \approx 10^2$, $A({}^3H_4) \approx 10^3\text{ s}^{-1}$)起着重要的作用,假如其无辐射弛豫 W_n 越强,则其亚稳性就越弱,激发态上的布居再次被激发至更高激发态的分支比 β 就越小。

由图 6 可知

$$W_n^P({}^3F_4) \approx 10^3\text{ s}^{-1} \gg A({}^3F_4), W_n^P({}^3H_4) \approx 10^4\text{ s}^{-1} \gg A({}^3H_4) \quad (8)$$

$$W_n^F({}^3F_4) \approx 10^0\text{ s}^{-1} \ll A({}^3F_4), W_n^F({}^3H_4) \approx 10^1\text{ s}^{-1} \ll A({}^3H_4) \quad (9)$$

因此直接上转换敏化的上转换分支比 β^d 为

$$\beta^d(P) = f[A + W_n^P({}^3F_4)]^{-1} \cdot f[A + W_n^P({}^3H_4)]^{-1} = f[W_n^P({}^3F_4)]^{-1} \cdot f[W_n^P({}^3H_4)]^{-1} = f(10^{-3}) \cdot f(10^{-4}) \quad (10)$$

$$\beta^d(F) = f[A + W_n^F({}^3F_4)]^{-1} \cdot f[A + W_n^F({}^3H_4)]^{-1} = f[A({}^3F_4)]^{-1} \cdot f[A({}^3H_4)]^{-1} = f(10^{-2}) \cdot f(10^{-3}) \quad (11)$$

再加上上转换发光能级的荧光量子效率的不同等原因就不难理解在直接上转换敏化下五磷酸盐玻璃比 ZBLAN 玻璃的上转换发光强度要小 1 万倍。

而在间接上转换敏化下的上转换分支比 β^i 为

$$\beta^i(P) = f[A + W_n^P({}^3H_4)]^{-1} = f[W_n^P({}^3H_4)]^{-1} = f(10^{-4}) \quad (12)$$

$$\beta^i(F) = f[A + W_n^F({}^3H_4)]^{-1} = f[A({}^3H_4)]^{-1} = f(10^{-3}) \quad (13)$$

因此这也就不难理解在间接上转换敏化下五磷酸盐玻璃比 ZBLAN 玻璃的上转换发光强度仅小十余倍。这其中很重要的原因是 $W_n(P) \gg A(P)$, 而同时 $W_n(F) \ll A(F)$ 。

特别值得注意的是由图 6 可知, $W_n^P({}^3H_4) \approx 10^4\text{ s}^{-1}$, $W_n^F({}^3H_4) \approx 10^1\text{ s}^{-1}$, 而 $A({}^3H_4) \approx 10^3\text{ s}^{-1}$, 假如适当减小基质的截止声子能量至约 $800 \sim 900\text{ cm}^{-1}$ 以下时,即可使无辐射弛豫 $W_n({}^3H_4)$ 略小于自发辐射速率 $A({}^3H_4)$, 那么这种基质下 3H_4 能级的寿命 τ 以及基于 Tm^{3+} 离子 3H_4 能级的间接上转换敏化的上转换分支比 β 就仅是自发辐射弛豫速率 A 的函数而与无辐射弛豫 W_n 无关,即

$$\beta^i \approx f(A)^{-1} \quad (14)$$

$$\tau = \tau(A)^{-1} \quad (15)$$

也就是若基质的截止声子能量减小至约 $800 \sim 900\text{ cm}^{-1}$ 以下时,这种基质将有和 ZBLAN 玻璃接近的 3H_4 能级寿命,也有和 ZBLAN 玻璃接近的间接上转换敏化发光强度。

造成间接上转换敏化下五磷酸盐玻璃比 ZBLAN 玻璃的上转换发光强度仅小十余倍的原

因不仅仅是上述向更低能级的弛豫 R_{down} 这一项相差较小,而且还与五磷酸盐玻璃可能有更大的向更高能级的激发速率 R_{up} 有关。

激发速率 R_{up} 是取决于由 Yb^{3+} 离子的 ${}^2F_{5/2}$ 能级至 Tm^{3+} 离子的 1G_4 能级的非共振能量传递,

$$R_{\text{up}} = \rho[{}^3H_4(\text{Tm}) {}^2F_{5/2}(\text{Yb})] \cdot n({}^3H_4) \cdot N({}^2F_{5/2}) \quad (16)$$

$$n({}^3H_4) = n_0({}^3H_4) - \eta \cdot N({}^2F_{5/2}) \quad (17)$$

$$\rho = W_0 S_0 \exp(-|\Delta v_g|/\nu) \quad (18)$$

$$S_0 = \frac{\Gamma}{\Gamma^2 + \Delta v_g^2} \quad (19)$$

其中, W_0 为能量失配为零时的能量传递几率, S_0 为重叠积分, ν 为基质的声子能量, Δv_g 为能量失配, η 为比例系数, $n_0({}^3H_4)$ 为单掺 Tm^{3+} 离子时同等光激发下的 3H_4 能级的布居。

显然, 声子能量的增加将导致非共振能量传递几率 ρ 的增加和 Yb^{3+} 离子 ${}^2F_{5/2}$ 能级上的布居 $N({}^2F_{5/2})$ 的增加, 但却将导致 Tm^{3+} 离子 3H_4 能级上的布居 $n({}^3H_4)$ 的减小, 这说明要使 Tm^{3+} 离子 1G_4 能级上的布居 $n({}^1G_4) \propto \rho \cdot n({}^3H_4) \cdot N({}^2F_{5/2})$ 值最大, 一定会有个最佳的截止声子能量。

由式(16), (17) 有

$$d[R_{\text{up}}]/d[N({}^2F_{5/2})] = \rho[{}^3H_4(\text{Tm}) {}^2F_{5/2}(\text{Yb})] \cdot \{n_0({}^3H_4) - 2 \cdot \eta \cdot N({}^2F_{5/2})\} \quad (20)$$

所以, 极值点应位于

$$N_{\text{max}}({}^2F_{5/2}) = n_0({}^3H_4) / [2 \cdot \eta] \quad (21)$$

结合公式(1)~(15)的分析, 可以看出要使 Tm^{3+} 离子 3H_4 能级的间接上转换敏化的上转换发光强度最大, 其基质的声子能量应是落在 $600 \sim 900 \text{ cm}^{-1}$ 之间。因而寻找合适的截止声子能量的材料使之既有高的间接上转换敏化发光强度, 又有良好的化学稳定性、机械强度和激光损伤阈值, 就将成为上转换研究的一个重要方向, 相信它将促使上转换的研究迅速走向实际应用, 因而有着重大的意义。

4 结 论

在直接上转换敏化中, $\text{Tm}_{0.03}\text{Yb}_{0.18}\text{La}_{0.79}\text{P}_5\text{O}_{14}$ 玻璃中 Tm^{3+} 离子 1G_4 能级的发光比 $\text{Tm}(0.1)\text{Yb}(3) \cdot \text{ZBLAN}$ 玻璃小 4.45 万倍, 说明在此类上转换激发机制下, 大截止声子能量材料无实用意义。

在间接上转换敏化中, $\text{Tm}_{0.03}\text{Yb}_{0.18}\text{La}_{0.79}\text{P}_5\text{O}_{14}$ 玻璃中 Tm^{3+} 离子 1G_4 能级的发光仅比 $\text{Tm}(0.1)\text{Yb}(3) \cdot \text{ZBLAN}$ 玻璃小 15.6 倍, 达到与 ZBLAN 玻璃可比的水平, 说明在此类上转换激发机制下, 较大的截止声子能量材料可能有最佳的上转换效率, 它有助于上转换研究迅速走向实际应用。

致谢 谨向南开大学物理学院毕诗章和北京玻璃研究院孙桂芳同志致以衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 D. S. Funk, S. B. Stevens, J. G. Eden. Excitation spectra of the green Ho: fluorozirconate glass fiber laser. *IEEE Photo. Tech. Lett.*, 1993, **5**(2): 154~ 157
- 2 J. Y. Allain, M. Monerie, H. Poignant. Tunable green upconversion erbium fibre laser. *Electron. Lett.*, 1992, **28**(2): 111~ 113
- 3 Yuxing Zhao, S. Fleming, S. Poole. 22 mW blue output power from a Pr^{3+} fluoride fibre upconversion laser. *Opt. Comm.*, 1995, **114**(3/4): 285~ 288
- 4 Chen Xiaobo, Zhang Guangyi, Song Fuqiang. Research and development about upconversion luminescence and lasers rare earth ions materials. *Spectroscopy and Spectral Analysis* (光谱学与光谱分析), 1995, **15**(3): 1~ 6 (in Chinese)
- 5 T. Miyakawa, D. L. Dexter. Cooperative and stepwise excitation of luminescence: trivalent rare-earth ions in Yb^{3+} -sensitized crystals. *Phys. Rev. B*, 1970, **1**(1): 70~ 80
- 6 Chen Xiaobo, Hao Zhao, Zhang Guangyin *et al.*. Multiphoton upconversion process in Er-doped and Er- and Yb-codoped ZBLAN. *SPIE*, 1996, **2897**: 279
- 7 Michel J. F. Digonnet. Rare Earth Doped Fibers Laser and Amplifier. New York: Marcel Dekker, 1993. 19
- 8 T. Miyakawa, D. L. Dexter. Phonon sidebands, multiphonon relaxation of excited states and phonon-assisted energy transfer between ions in solids. *Phys. Rev. B*, 1970, **1**(2): 2961~ 2969

The Yb^{3+} Sensitized Upconversion Blue Luminescence of $Tm_{0.03}Yb_{0.18}La_{0.79}P_5O_{14}$ and $Tm(0.1)Yb(3) \cdot ZBLAN$ glasses

Chen Xiaobo^{1,2} Feng Yan² Li Meixian^{1,2} Song Feng²
 Li Kun² Zhang Guangyin² Wen Ou³ Chen Rongsheng³ Cheng Zhaotian³

¹Beijing Normal University, Beijing 100875

²The College of Physics Science, Nankai University, Tianjin 300071

³Beijing Glass Research Institute, Beijing 100062

Abstract In this paper the direct and indirect Yb^{3+} sensitized up-conversion luminescence of 1G_4 level of Tm^{3+} ion in $Tm_{0.03}Yb_{0.18}La_{0.79}P_5O_{14}$ and $Tm(0.1)Yb(3) \cdot ZBLAN$ glasses is reported. The results indicate that the upconversion luminescence intensity in the pentaphosphate glass is much enhanced and nearly comparable to that in the ZBLAN glass when the glass is excited by the indirect upconversion sensitized method. This work and the results may promote the upconversion research to practical application.

Key words upconversion sensitization, $Tm_{0.03}Yb_{0.18}La_{0.79}P_5O_{14}$ glass, $Tm(0.1)Yb(3) \cdot ZBLAN$ glass