

文章编号: 1000-5862(2018)05-0459-05

# Ho<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> 共掺杂 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 上转换发光性质的研究

董 浩, 朱光平\*, 代 凯, 刘亲壮, 张永兴

(淮北师范大学物理与电子信息学院, 安徽 淮北 235000)

摘要: 通过高温固相法合成了 Ho<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> 共掺杂 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 上转换荧光粉. 在 980、1 064 以及 800 nm 3 种不同波长的激光激发下, 样品产生了明显的上转换荧光. 利用 980 nm 的激光作为激发源, 在 Ho<sup>3+</sup> 掺杂量为 0.5% 的条件下, 研究了 Yb<sup>3+</sup> 掺杂量的变化对样品上转换荧光强度的影响. 研究表明: Yb<sup>3+</sup> 掺杂浓度为 10% 样品产生的上转换荧光最强, 相比未掺 Yb<sup>3+</sup> 的样品, 绿光强度提高了 65 倍. 对样品的上转换发光机理进行了详细的研究.

关键词: 稀土荧光粉; 上转换; La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 高温固相

中图分类号: O 43 文献标志码: A DOI: 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2018.05.04

## 0 引言

最近的研究表明上转换发光在温度传感、3 维显示、细胞成像、指纹检测、太阳能电池以及生物荧光标记等领域具有潜在的应用前景<sup>[1-6]</sup>. 理想的上转换发光材料要求基质材料具有宽透光范围、高化学稳定性、良好的耐热性以及低声子能量, 而激活离子具有长激发态寿命. 稀土激活离子掺杂的惰性稀土氧化物(Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 因具备上述的特点, 已成为上转换发光材料的研究热点. 尽管已有大量文献报道了 Er<sup>3+</sup>、Tm<sup>3+</sup>、Ho<sup>3+</sup> 单掺或与 Yb<sup>3+</sup> 共掺的 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 体材料/纳米材料的上转换发光的性质及应用<sup>[7-15]</sup>, 但是有关 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的上转换发光性质研究较少<sup>[16-17]</sup>. 与其它 3 种惰性氧化物相比, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 原材料价格相对低廉, 且其声子能量(约为 400 cm<sup>-1</sup>) 低于其它 3 种氧化物(约为 600 cm<sup>-1</sup>)<sup>[7,10,15-16]</sup>. 因此, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基的上转换发光材料可望具有更高的上转换效率.

该文以 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为原料, 通过高温固相法合成了 Ho<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> 共掺杂 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 上转换荧光粉. 考虑到 Ho<sup>3+</sup> 的激发态<sup>5</sup>I<sub>6</sub> 与基态<sup>5</sup>I<sub>8</sub> 能级差与 980 nm 激发光子能量失配较大<sup>[18]</sup>, 实验中共掺了 Yb<sup>3+</sup> 作为敏化剂来提高材料对激发光的吸收效率. 样品在 980 nm 红外激光激发下产生了较强的上转

化荧光, 其主要成分为绿光. 对比研究表明, 样品的发光强度甚至超过目前公认的发光效率最高的 NaYF<sub>4</sub> 基的上转换发光材料, 并具有更好的热稳定性. 此外, 利用 800 nm 及 1 064 nm 波长的激光作为激发光源, 在样品中也获得了明显的上转换荧光, 而在掺杂条件相同的 NaYF<sub>4</sub> 中没有观察到明显的上转换荧光. 这表明 Ho<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> 共掺杂 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 具有更宽的有效激发范围, 这一性质可望用于增加太阳能电池吸收带宽, 提高电池的光电转换效率.

## 1 实验

在保持原材料总质量为 2 g 不变的条件下, 按摩尔比分别为 99.5:0:0.5、94.5:5.0:0.5、89.5:10.0:0.5、84.5:15.0:0.5 以及 79.5:20.0:0.5 称取纯度为 99.9% 的 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. 将它们的混合物充分研磨后倒入刚玉坩埚, 在 900 °C 条件下预烧 8 h, 然后将预烧物再次充分研磨后于 1 500 °C 条件下进行高温煅烧, 煅烧时间也为 8 h. 对应的 5 组样品号分别记为 1、2、3、4、5. 利用 X-射线衍射仪(PANalytical, Empyrean)、紫外-可见-近红外吸收光谱仪(PerkinElmer Lambda 950 UV-vis) 以及光学多通道分析仪(Princeton Instruments, SP2556) 对样品微结构、光吸收性质及上转换发光性质进行了表征. 上转换激发光源为 980、800 nm 的红外半导体激光器.

收稿日期: 2018-04-21

基金项目: 国家自然科学基金(11004071, 51302101) 和安徽省高校自然科学研究(KJ2016SD53) 资助项目.

通信作者: 朱光平(1964-) 男, 江苏泗阳人, 教授, 主要从事低维发光材料的合成及性质研究. E-mail: gpzhu@chnu.edu.cn

以及波长为 1 064 nm 的  $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$  固体激光器.

## 2 实验结果与讨论

图 1 是 5 个样品的 XRD 谱,所有样品的 XRD 强峰位都与标准的六方相的  $\text{La}_2\text{O}_3$  相对应.这表明  $\text{Ho}^{3+}$ 、 $\text{Yb}^{3+}$  充分掺入  $\text{La}_2\text{O}_3$  晶格中,微弱的杂相峰可能是由  $\text{La}_2\text{O}_3$  粉末吸附空气中水蒸气及  $\text{CO}_2$  形成的  $\text{La}(\text{OH})_3$ 、 $\text{LaOOH}$  或  $\text{La}_2(\text{CO}_3)_3$  等化合物造成的<sup>[19-20]</sup>.

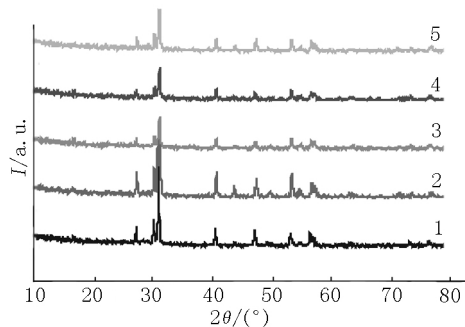


图 1 样品的 XRD 谱图

图 2(a) 是样品在波长为 980 nm 激光激发下的上转换荧光谱,激发功率为 730 mW. 它包含绿光、红光及近红外 3 个带,波长范围分别为 533 ~ 563 nm、636 ~ 677 nm 以及 740 ~ 774 nm,主要成分为绿光. 绿光及红光分别由  $\text{Ho}^{3+}$  的  $^5\text{F}_4/^5\text{S}_2$  态及  $^5\text{F}_5$  态跃迁到基态  $^1\text{I}_8$  产生的,而红外光则是由  $^5\text{F}_4/^5\text{S}_2$  态向  $^5\text{I}_7$  态跃迁产生的. 图 2(b) 是样品的上转换荧光强度随  $\text{Yb}^{3+}$  浓度变化的曲线. 可以看出当  $\text{Yb}^{3+}$  掺杂量较低时 3 种光的强度均随着  $\text{Yb}^{3+}$  浓度的增大而增大,但绿光的强度增加明显快于红光及红外光. 当  $\text{Yb}^{3+}$  掺杂浓度为 10% 时 3 种荧光强度均为最大,其中绿光强度比未掺  $\text{Yb}^{3+}$  的样品提高了 65 倍左右. 此后样品的发光强度随  $\text{Yb}^{3+}$  浓度增加逐渐减小,这是由浓度猝灭效应引起的. 因为在稀土离子偶极相互作用中,离子间能量传递的速率与离子间的距离 6 次方成反比<sup>[21]</sup>,所以当  $\text{Yb}^{3+}$  浓度超过最佳掺杂浓度时,不断减小的离子间的距离将造成  $\text{Yb}^{3+}$  之间能量传递以及  $\text{Er}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{3+}$  的反向能量传递增加,从而减弱了  $\text{Yb}^{3+}$  向  $\text{Er}^{3+}$  能量传递的效率,由此出现浓度猝灭效应.

图 3 是  $\text{Yb}^{3+}$  掺杂浓度为 10% 的样品 3 的荧光强度随激发功率的变化图线(对数关系). 3 条线性拟合的直线分别相应于绿光、红光及红外光,其斜率分别为 1.703 71、1.648 64 以及 1.566 36. 对于非饱和上转换发光,其发光强度  $I_f$  与激发功率  $P$  的  $n$  次

幂成正比<sup>[22]</sup>,即  $I_f \propto P^n$  或  $\ln I_f \propto n \ln P$ ,其中  $n$  为产生一个辐射光子所需要的激发光子数,相应于  $\ln I_f - \ln P$  直线的斜率. 由于 3 条直线的斜率均大于 1.5,所以 3 种荧光主要是由双光子吸收产生的.

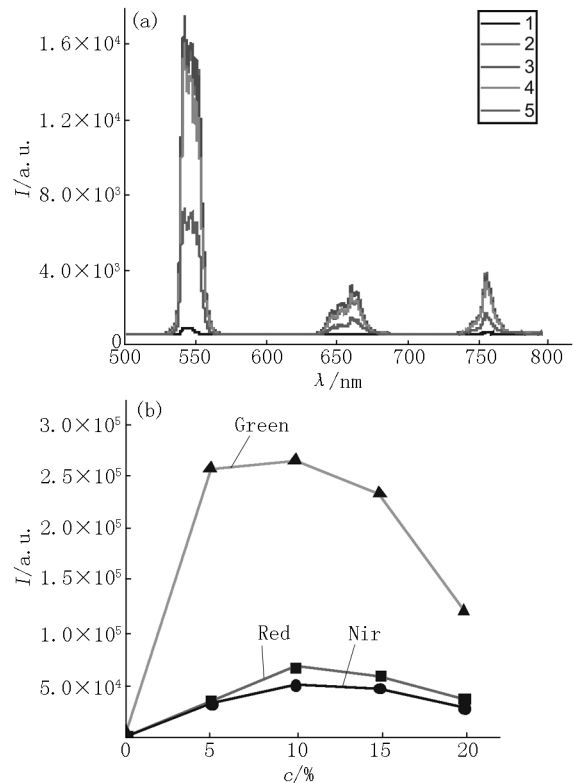


图 2 样品的上转换光谱(a)及荧光强度随  $\text{Yb}^{3+}$  掺杂浓度的变化曲线(b)

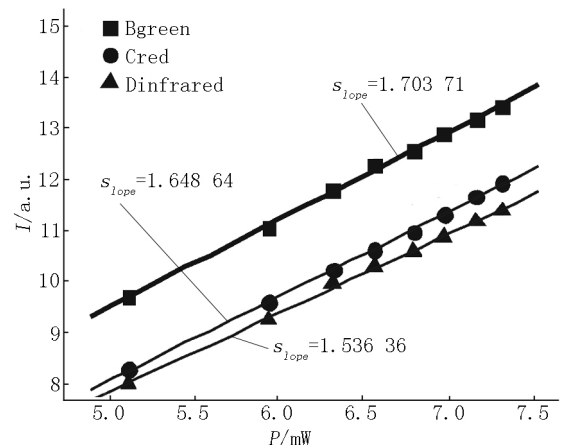


图 3 样品 3 的荧光强度随激发功率变化曲线

$\text{Ho}^{3+}-\text{Yb}^{3+}$  共掺  $\text{La}_2\text{O}_3$  的上转换发光机理可以通过图 4 所示的能级示意图来解释. 首先  $\text{Yb}^{3+}$  吸收一个激发光子从基态  $^2\text{F}_{7/2}$  跃迁到激发态  $^2\text{F}_{5/2}$  (ET1), 然后传递给  $\text{Ho}^{3+}$  离子,使其从基态  $^5\text{I}_8$  跃迁到中间态  $^5\text{I}_6$ . 跃迁到  $^5\text{I}_6$  的  $\text{Ho}^{3+}$  部分通过  $\text{Yb}^{3+}$  的 2 次能量传递跃迁到激发态  $^5\text{F}_4/^5\text{S}_2$  (ET2), 然后通过辐射跃迁方式回到  $^5\text{I}_8$  及  $^5\text{I}_7$  产生绿光与红外光,或者无辐射弛豫到  $^5\text{F}_5$ ,再跃迁回  $^5\text{I}_8$  产生红光;另一部

分处于 $^5\text{I}_6$ 态上的 $\text{Ho}^{3+}$ 首先无辐射弛豫到 $^5\text{I}_7$ 态上,随后吸收 $\text{Yb}^{3+}$ 能量跃迁到 $^5\text{F}_5$ (ET3)然后再跃迁回基态辐射出红光.根据T. Miyakawa等<sup>[23]</sup>的理论,多声子参与的无辐射弛豫速率公式表示为

$$W(\Delta E) = W_0 \exp(-\alpha \Delta E), \quad (1)$$

其中

$$a = (hn)^{-1} (\ln N/g(n+1) - 1), \quad (2)$$

$$n = (\exp(hv/(kT)) - 1)^{-1}, \quad (3)$$

$\Delta E$ 为上下能级间隔, $W_0$ 为常数, $N$ 为参与无辐射弛豫声子的个数, $\nu$ 为声子频率, $h$ 、 $k$ 分别为普朗克常数及玻尔兹曼常数, $g$ 为声子-电子的耦合常数.由(1)~(3)式可看出,多声子无辐射弛豫率随声子数增加而快速减小.因为 $\text{Ho}^{3+}$ 的 $^5\text{I}_6$ 与 $^5\text{I}_7$ 之间的能量间隔约为 $3\,500\text{ cm}^{-1}$ <sup>[18]</sup>相当于9个 $\text{La}_2\text{O}_3$ 声子的能量,它从 $^5\text{I}_6$ 能级弛豫到 $^5\text{I}_7$ 能级的可能性很小,因此样品中的红光主要是由从 $^5\text{F}_4/{}^5\text{S}_2$ 能级弛豫到 $^5\text{F}_5$ 能级的 $\text{Ho}^{3+}$ 产生的.与此类似, $\text{Ho}^{3+}$ 的 $^5\text{F}_4/{}^5\text{S}_2$ 与 $^5\text{F}_5$ 的能级间隔(约 $2\,700\text{ cm}^{-1}$ <sup>[18]</sup>)近似为7个 $\text{La}_2\text{O}_3$ 声子的能量,所以处于 $^5\text{F}_4/{}^5\text{S}_2$ 的 $\text{Ho}^{3+}$ 无辐射弛豫到 $^5\text{F}_5$ 上的概率也很低,因而绿光强度远大于红光.红外光远弱于绿光的原因可通过Judd-Ofelt理论来解释,稀土离子 $4f^N$ 电子能级间电偶极跃迁的强度可表示为<sup>[24]</sup>

$$S = \sum_{\lambda} \Omega_{\lambda} (U^{(\lambda)})^2, \quad (4)$$

其中 $U^{(\lambda)} = \langle S' L' J' \| U^{(\lambda)} \| S L J \rangle$ 表示能级间跃迁的约化矩阵元, $\lambda = 2, 4, 6$ , $\Omega_{\lambda}$ 为唯象强度参数,与基质材料的性质有关.对于 $\text{Ho}^{3+}$ 的 $^5\text{F}_4/{}^5\text{S}_2$ 能级到 $^5\text{I}_7$ 能级及 $^5\text{I}_8$ 能级的辐射跃迁,相应的 $(U^{(2)})^2$ 、 $(U^{(4)})^2$ 、 $(U^{(6)})^2$ 分别为0、0、0.409 6及0、0.240 2、0.707 9(文献[24]对应专著的第246页).把它们代入(4)式可得出绿光的发射强度远高于红外光发射强度.

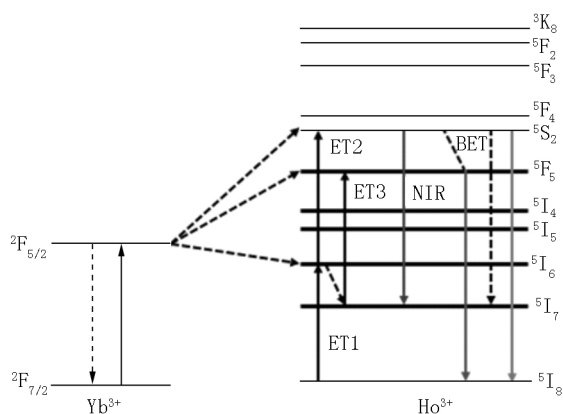


图4  $\text{Ho}^{3+}-\text{Yb}^{3+}$  能级结构及能量传递示意图

图5(a)是样品在1 064 nm的红外激光激发下

的荧光谱,其成分与980 nm的激发光所产生的光谱相同,只是红光的强度很弱,这可能与材料的热效应减小有关.由吸收光谱图5(b)可看出,样品对波长为1 064 nm光的吸收远弱于对波长为980 nm光的吸收,所以前者对样品产生的热效应远小于后者,对应于1 064 nm激光激发的样品的声子能量更低,这将导致 $^5\text{F}_4/{}^5\text{S}_2$ 能级到 $^5\text{F}_5$ 能级无辐射弛豫的几率更小,从而布局在 $^5\text{F}_5$ 能级上的粒子数更小,所以红光更弱.

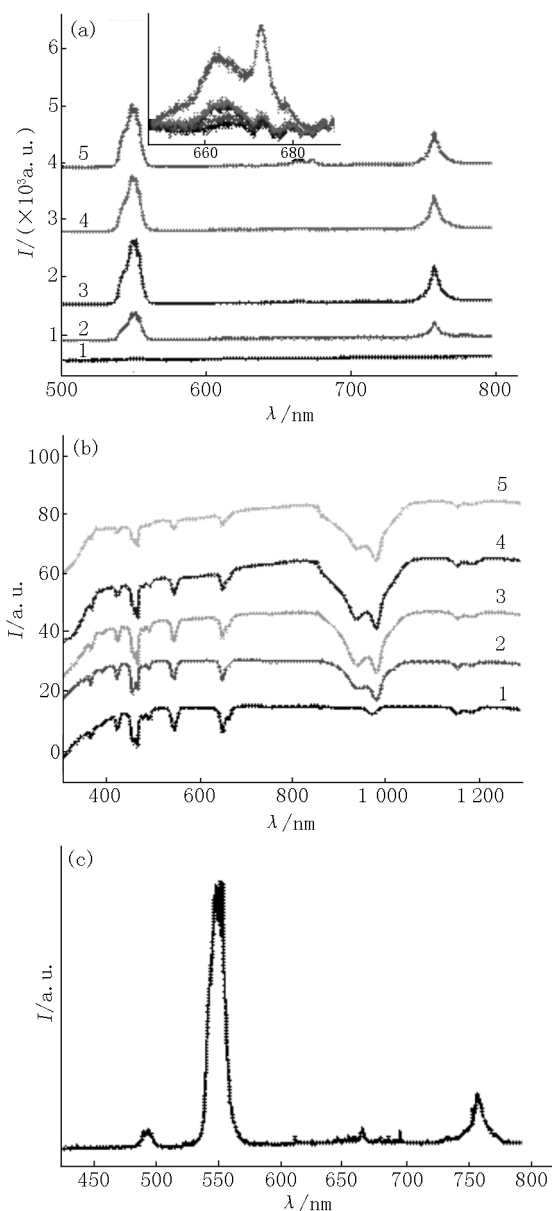


图5 (a) 1 064 nm 红外光激发下样品的荧光谱, (b) 样品的吸收谱, (c) 样品3在800 nm 红外激光激发下的光谱

另外,利用800 nm的红外激光作为激发光源,在样品3中也观察到了较明显的上转换荧光(如图5(c)).从图5(b)可看出,800 nm波长的光已经不在样品的吸收波长范围内,相比于前2种激发光,

它产生的热效应更小,因而红光也更弱.这种情况下样品的上转换发光不是由  $\text{Yb}^{3+}$  敏化产生的,而是直接由  $\text{Ho}^{3+}$  通过基态-激发态吸收产生的.即处于基态  $^5\text{I}_8$  的  $\text{Ho}^{3+}$  先后吸收 2 个 800 nm 的激发光子经  $^5\text{I}_5$  跃迁到  $^3\text{K}_8/^5\text{F}_2$ ,再无辐射弛豫到  $^5\text{F}_3$  能级,少部分处在  $^5\text{F}_3$  能级上的  $\text{Ho}^{3+}$  直接跃迁到基态产生波长在 486 nm 附近的弱黄光,绝大部分  $\text{Ho}^{3+}$  无辐射弛豫到  $^5\text{F}_4$ ,由此产生绿光、红光及红外光.值得一提的是,用 800 nm 或 1 064 nm 激发相同掺杂条件的  $\text{NaYF}_4$  样品,没有发现明显的上转换发光,这表明  $\text{La}_2\text{O}_3$  在近红外有更宽的激发范围,这一性质可被用于增加太阳能电池吸收带宽,提高太阳能电池的效率.

为了说明  $\text{La}_2\text{O}_3$  的上转换荧光的强度,把样品 3 与相同掺杂条件下用水热法制备的  $\text{NaYF}_4$  微晶发光强度进行了比较.图 6(a) 是 2 样品在激发功率为 730 mW、波长为 980 nm 红外激光激发下的荧光光谱.可以看出,  $\text{La}_2\text{O}_3$  的上转换发光强度甚至强于  $\text{NaYF}_4$ ,而后者是目前公认的上转换发光效率最高的基质材料.图 6(b) 是 2 个样品的绿光强度随激发功率变化图线.可以看出在较低的激发功率下  $\text{NaYF}_4$  和  $\text{La}_2\text{O}_3$  上转换发光强度相差不大,但是在较大激发功率下,材料的热效应导致  $\text{NaYF}_4$  的发光强度明显弱于  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,这表明  $\text{La}_2\text{O}_3$  具有更好的耐热性.

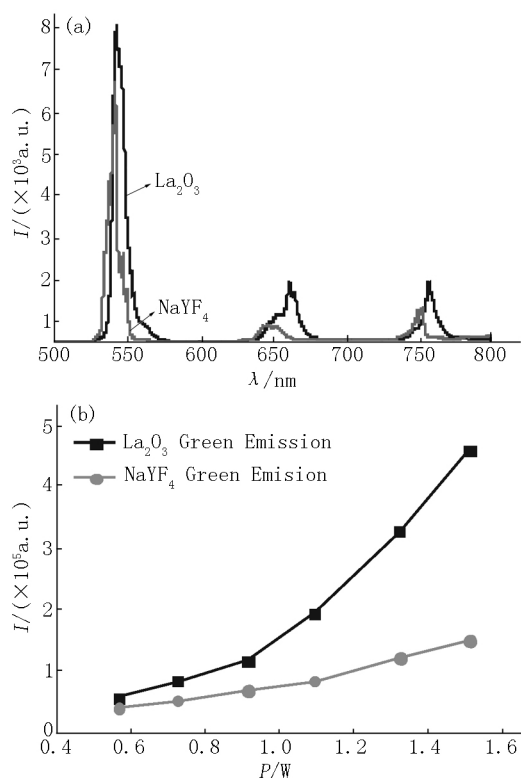


图 6  $\text{Ho}^{3+}\text{-Yb}^{3+}$  共掺的  $\text{La}_2\text{O}_3$  及  $\text{NaYF}_4$  的上转换光谱 (a) 及荧光强度随激发功率变化的图线 (b)

### 3 结论

本文通过高温固相法合成了  $\text{Ho}^{3+}\text{-Yb}^{3+}$  共掺杂  $\text{La}_2\text{O}_3$  上转换荧光粉,通过  $\text{Yb}^{3+}$  的敏化作用获得了强的上转换荧光.相比于同样掺杂条件的  $\text{NaYF}_4$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$  不仅发光强度高,而且具有更好的耐热性及更宽的激发范围,这预示着它在上转换发光材料及器件方面具有潜在的应用前景.

### 4 参考文献

- [1] Xi Junhua, Ding Mingye, Dai Jianbin, et al. Comparison of upconversion luminescent properties and temperature sensing behaviors of  $\beta\text{-NaYF}_4\text{:Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$  nano/microcrystals prepared by various synthetic methods [J]. Journal of Materials Science Materials in Electronics, 2016, 27(8): 8254-8270.
- [2] Hinklin T R, Rand S C, Laine R M. Transparent polycrystalline upconverting nanoceramics: towards 3-D displays [J]. Advanced Materials, 2008, 20(7): 1270-1273.
- [3] Lin Syue-Liang, Chen Zirong, Chang C A.  $\text{Nd}^{3+}$  sensitized core-shell-shell nanocomposites loaded with IR806 dye for photothermal therapy and up-conversion luminescence imaging by a single wavelength NIR light irradiation [J]. Nanotheranostics, 2018, 2(3): 243-257.
- [4] Huang Feng, Gao Yan, Zhou Jiangcong, et al.  $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$  co-doped  $\text{CaMoO}_4$ : a promising green upconversion phosphor for optical temperature sensing [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2015, 639(5): 325-329.
- [5] Huang Xiaoyong, Han Sanyang, Huang Wei, et al. Enhancing solar cell efficiency: the search for luminescent materials as spectral converters [J]. Chemical Society Reviews, 2013, 42(1): 173-201.
- [6] Wang Meng, Mi Congcong, Wang Wenxing, et al. Immunolabeling and NIR-excited fluorescent imaging of HeLa cells by using  $\text{NaYF}_4\text{:Yb}^{3+}, \text{Er}^{3+}$  upconversion nanoparticles [J]. ACS Nano, 2009, 3(6): 1580-1586.
- [7] De Gejihu, Qin Weiping, Zhang Jishen, et al. Upconversion luminescence properties of  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{:Yb}^{3+}, \text{Er}^{3+}$  nanostructures [J]. Journal of Luminescence, 2006, 119: 258-263.
- [8] Leng Jing, Tang Jing, Xie Wanying, et al. Impact of pH and urea content on size and luminescence of upconverting  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{:Yb,Er}$  nanophosphors [J]. Materials Research Bulletin, 2018, 100: 171-177.
- [9] Lü Qiang, Li Aihua, Guo Feng, et al. Experimental study on the surface modification of  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{:Tm}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$  nanoparticles to enhance upconversion fluorescence and weaken aggregation [J]. Nanotechnology, 2008, 19(14): 145701.

- [10] Guo Hai ,Dong Ning ,Yin Min ,et al. Visible upconversion in rare earth ion-doped  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  nanocrystals [J]. The Journal of Physical Chemistry B ,2004 ,108 ( 10 ) : 19205–19209.
- [11] Zheng Kezhi ,Zhang Daisheng ,Zhao Dan ,et al. Bright white upconversion emission from  $\text{Yb}^{3+}$  , $\text{Er}^{3+}$  and  $\text{Tm}^{3+}$  -codoped  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  nanotubes [J]. Physical Chemistry Chemical Physics Pccp ,2010 ,12( 27 ) : 7620–7625.
- [12] Liu Jun ,Huang Long ,Tian Xiumei ,et al. Magnetic and fluorescent  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ :  $\text{Yb}^{3+}$  / $\text{Ln}^{3+}$  nanoparticles for simultaneous upconversion luminescence/MR dual modal imaging and NIR-induced photodynamic therapy [J]. International Journal of Nanomedicine ,2017 ,12: 1–44.
- [13] Li Li ,Cao Xueqin ,Zhang You ,et al. Synthesis and upconversion luminescence of  $\text{Lu}_2\text{O}_3$ :  $\text{Yb}^{3+}$  , $\text{Tm}^{3+}$  nanocrystals [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China , 2012 ,22( 2 ) : 373–379.
- [14] Liu Qiang ,Li Jinbang ,Dai Jiawei ,et al. Fabrication ,micro-structure and spectroscopic properties of  $\text{Yb}^{3+}$ :  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  transparent ceramics from co-precipitated nanopowders [J]. Ceramics International ,2018 ,44( 10 ) : 11635–11643.
- [15] An Liqiong ,Zhang Jian ,Liu Min ,et al. Up-conversion properties of  $\text{Yb}^{3+}$  , $\text{Ho}^{3+}$ :  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  sintered ceramic [J]. Journal of Luminescence ,2007 ,122( 1 ) : 125–127.
- [16] Singh S K ,Singh A K ,Kumar D ,et al. Efficient UV-visible upconversion emission in  $\text{Er}^{3+}$  / $\text{Yb}^{3+}$  co-doped  $\text{La}_2\text{O}_3$  nano-crystalline phosphor [J]. Appl Phys B ,2010 ,98 ( 1 ) : 173–179.
- [17] Gao Guojun ,Busko D ,Kauffmann-Weiss S ,et al. Finely-tuned NIR-to-visible up-conversion in  $\text{La}_2\text{O}_3$ :  $\text{Yb}^{3+}$  , $\text{Er}^{3+}$  microcrystals with high quantum yield [J]. Journal of Materials Chemistry C ,2017 ,5( 42 ) : 11010–11017.
- [18] 张思远 ,毕宪章. 稀土光谱理论 [M]. 长春: 吉林科学技术出版社 ,1991: 174.
- [19] 刘光华. 稀土固体材料 [M]. 北京: 机械工业出版社 , 1995: 52.
- [20] Fleming P ,Farrell R A ,Holmes J D ,et al. The rapid formation of  $\text{La}(\text{OH})_3$  from  $\text{La}_2\text{O}_3$  powders on exposure to water vapor [J]. Journal of the American Ceramic Society ,2010 ,93( 4 ) : 1187–1194.
- [21] 徐叙瑗 ,苏勉曾. 发光学与发光材料 [M]. 北京: 化学工业出版社 ,2004: 47.
- [22] Park J K ,Park S M ,Kim C H. Photoluminescence properties of the  $\text{Eu}^{3+}$  in  $\text{La}_2\text{O}_3$  [J]. Journal of Materials Science Letters ,2001 ,20( 24 ) : 2231–2232.
- [23] Miyakawa T ,Dexter D L. Phonon sidebands ,multiphonon relaxation of excited states ,and phonon – assisted energy transfer between ions in solids [J]. Phys Rev B ,1970 , 1( 7 ) : 2961–2969.
- [24] 臧竞存. 新型晶体材料 [M]. 北京: 化学工业出版社 , 2006: 161.

## The Study on Upconversion Luminescence Properties of $\text{Ho}^{3+}$ - $\text{Yb}^{3+}$ Codoped $\text{La}_2\text{O}_3$

DONG Hao ,ZHU Guangping\* ,DAI Kai ,LIU Qinzhuang ,ZHANG Yongxing

( School of Physics and Electronic Information ,Huabei Normal University ,Huabei Anhui 235000 ,China)

**Abstract:**  $\text{Ho}^{3+}$ - $\text{Yb}^{3+}$  codoped  $\text{La}_2\text{O}_3$  upconversion phosphor is synthesized by high-temperature solid-state method. Under excitation of 980 ,1 064 and 800 nm laser ,obvious upconversion luminescence is observed in the samples. With 980 nm laser as excitation source ,the effect of  $\text{Yb}^{3+}$  concentration on upconversion luminescence intensity of the samples is studied when  $\text{Ho}^{3+}$ -doped concentration is kept at 0.5% . The result shows that the sample doped with 10%  $\text{Yb}^{3+}$  has the strongest upconversion luminescence ,and the green light intensity is increased by 65 compared to the sample without  $\text{Yb}^{3+}$  . The upconversion luminescence mechanism of the samples is investigated in detail.

**Key words:** rare earth phosphor; upconversion;  $\text{La}_2\text{O}_3$ ; high temperature solid phase

( 责任编辑: 冉小晓)