

# $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 共掺 $(\text{Y}_x \text{Gd}_y \text{Lu}_{1-x-y})_2 \text{O}_3 : 0.5\% \text{Pr}^{3+}$ 荧光粉的制备及发光特性研究

唐娟<sup>1,2,3</sup>, 叶颖<sup>1,2,3</sup>, 赵海琴<sup>1,2,3</sup>, 王林香<sup>1,2,3\*</sup>

- (1. 新疆师范大学 物理与工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830054;  
2. 新疆师范大学 新疆矿物发光材料及其微结构实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054;  
3. 新疆师范大学 物理学重点学科, 新疆 乌鲁木齐 830054)

**摘要:**用高温固相法制备了  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  共掺  $(\text{Y}_x \text{Gd}_y \text{Lu}_{1-x-y})_2 \text{O}_3 : 0.5\% \text{Pr}^{3+}$  荧光粉末。用 XRD 对样品进行结构表征, 用扫描电镜观测了样品的形貌, 测量了样品的激发光谱、发射光谱及发光衰减曲线。结果显示,  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  和  $\text{Pr}^{3+}$  的掺杂没有引起  $(\text{Y}_x \text{Gd}_y \text{Lu}_{1-x-y})_2 \text{O}_3$  立方晶相结构的改变。在单一基质中掺杂的  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  可有效改善晶粒尺寸, 在复合基质中掺杂的  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ , 不仅可以有效改善晶粒尺寸, 还使得样品有陶瓷化的趋势。在 272 nm 激发下, 粉末样品在 632 nm 处均呈现较强的  $\text{Pr}^{3+}$  红色发射。不同条件下, 1 000 °C 煅烧 2 h 获得的  $(\text{Y}_{0.05} \text{Gd}_{0.05} \text{Lu}_{0.9})_2 \text{O}_3 : 0.5\% \text{Pr}^{3+}$ , 2.5%  $\text{Li}^+$ , 1%  $\text{Na}^+$  荧光粉末的发光最强, 且荧光寿命较短。

**关键词:** 荧光粉末;  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  共掺  $(\text{Y}_x \text{Gd}_y \text{Lu}_{1-x-y})_2 \text{O}_3 : 0.5\% \text{Pr}^{3+}$ ; 发光强度; 荧光寿命

中图分类号: O482.31 PACC; 78.55. Hx PACS; 3250F; 7855 文献标识码: A doi: 10.3788/CO.20191206.1279

## Preparation and luminescence properties of $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ co-doped $(\text{Y}_x \text{Gd}_y \text{Lu}_{1-x-y})_2 \text{O}_3 : 0.5\% \text{Pr}^{3+}$ phosphors

TUO Juan<sup>1,2,3</sup>, YE Ying<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Hai-qin<sup>1,2,3</sup>, WANG Lin-xiang<sup>1,2,3\*</sup>

- (1. Department of Physics, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China;  
2. Key Laboratory of Novel Luminescent Materials and Nanostructures,  
Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China;  
3. Key Discipline of Physics, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

\* Corresponding author, E-mail: wanglinxiang23@126.com

**Abstract:**  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  co-doped  $(\text{Y}_x \text{Gd}_y \text{Lu}_{1-x-y})_2 \text{O}_3 : 0.5\% \text{Pr}^{3+}$  phosphors were synthesized with a high tem-

收稿日期: 2018-11-29; 修订日期: 2019-01-30

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金 (No. 2017D01A60)

Supported by Natural Science Foundation of Xinjiang (No. 2017D01A60)

perature solid-state reaction. The structures of the samples were characterized by XRD. The excitation spectra, emission spectra and fluorescence lifetime of the samples were measured and analyzed using a fluorescence spectrophotometer. The results show that they are still the cubic phase of the matrix for  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , doped  $(\text{Y}_x\text{Gd}_y\text{Lu}_{1-x-y})_2\text{O}_3:\text{Pr}^{3+}$  samples. The doping of  $\text{Li}^+$  and  $\text{Na}^+$  in a single matrix can effectively improve the grain size while the doping of  $\text{Li}^+$  and  $\text{Na}^+$  in a composite matrix not only effectively improves the grain size, but also causes the sample to become ceramic. Under excitation at 272 nm, the powder samples present strong red emissions of  $\text{Pr}^{3+}$  at 632 nm. Under different conditions,  $(\text{Y}_{0.05}\text{Gd}_{0.05}\text{Lu}_{0.9})_2\text{O}_3:0.5\%\text{Pr}^{3+}$ , 2.5%  $\text{Li}^+$ , 1%  $\text{Na}^+$  fluorescent powder obtained by calcination at 1 000 °C for two hours has the strongest luminescence, while the lifetime of the sample is shorter.

**Key words:** fluorescent powder;  $\text{Li}^+$  and  $\text{Na}^+$  co doped  $(\text{Y}_x\text{Gd}_y\text{Lu}_{1-x-y})_2\text{O}_3:0.5\%\text{Pr}^{3+}$ ; luminous intensity; fluorescence lifetime

## 1 引言

现如今,稀土元素在显示、照明、医疗、通讯等众多领域都有广泛应用<sup>[1-5]</sup>。为了提高探测器的探测效率和检测成像的质量,制备出具有高密度、高光输出、衰减快的无机闪烁体材料是该领域的一个研究热点。在医疗和工业用 CT 上得到成功应用的代表性透明陶瓷  $\text{Y}_{1.34}\text{Gd}_{0.6}\text{Eu}_{0.06}\text{O}_3$ <sup>[6]</sup>是在  $\text{Y}_2\text{O}_3$  中固溶  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ , 来增加透明陶瓷的 X 射线阻止本领。相对于  $\text{Y}_2\text{O}_3$  和  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  来说,  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  的密度高达 9.42 g/cm<sup>3</sup>, 具有极高的物理化学稳定性, 而且还具有光吸收系数高、热膨胀系数低、热导率高、有效声子能量低以及呈现立方晶相结构及光学各向同性的特点, 并且  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  价带和导带的带间隙很宽(6.5 eV), 可容纳许多激活剂离子的发射能级<sup>[7-8]</sup>, 是一种制备多晶透明闪烁陶瓷的良好基质材料, 但  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  价格较昂贵, 限制了它的应用。国内外一些研究者使用  $\text{Gd}^{3+}$  取代  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  中的  $\text{Lu}^{3+}$ , 以此为基础开展了光学材料的相关研究。Hélène Rétot 等人<sup>[9]</sup>用  $\text{Gd}^{3+}$  部分代替  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  中的  $\text{Lu}^{3+}$ , 所获得的透明陶瓷  $(\text{Lu}_{0.5}\text{Gd}_{0.5})_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  (密度约为 8.4 g/cm<sup>3</sup>) 仍然可以高效吸收 X 射线, 且缩短了衰减时间。Seeley Z M<sup>[10]</sup> 等人采用热等静压-真空烧结法制备的  $(\text{GdLu})_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  陶瓷透明度较  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  陶瓷有所提高。张琳<sup>[11]</sup> 等人合成了  $(\text{Gd}_{0.45}\text{Lu}_{0.5}\text{Eu}_{0.05})_2\text{O}_3$  透明陶瓷, 由于存在  $\text{Gd}^{3+}$  向  $\text{Eu}^{3+}$  的有效能量传递, 其发光强度

是  $(\text{Lu}_{0.95}\text{Eu}_{0.05})_2\text{O}_3$  透明陶瓷的 1.7 倍。代雨航<sup>[12]</sup> 等人通过在  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  中添加  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  来降低陶瓷的烧结温度和气孔对光的散射, 使得陶瓷透过率提高至 76.9%, 且降低了生产成本。据相关文献报道, 通过掺杂碱金属及过渡金属离子可以实现对发光材料的光学改性, 如刘成<sup>[13]</sup> 和 Ezra L 等人<sup>[14]</sup> 利用溶胶凝胶法制备的  $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Pr}^{3+}$ ,  $\text{Li}^+$  上转换荧光材料中的  $\text{Li}^+$  使  $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Pr}^{3+}$  由低温 X1 型转变为高温 X2 型, 同时  $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Pr}^{3+}$  材料转晶型温度降低, Ezra L 等人还发现  $\text{Li}^+$  掺杂可令晶体尺寸变大, 减少激活剂离子聚集。N. Dhananjaya 等人<sup>[15]</sup> 通过低温溶解燃烧法在短时间内合成了  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ 。研究发现掺杂的  $\text{Li}^+$  促使  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  荧光粉从单斜晶相转变为立方晶相, 且  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  荧光粉发射强度增加了 4 倍。Du Qingqing 等人<sup>[16]</sup> 通过溶胶凝胶法和燃烧法制备的新型蓝白色  $\text{Y}_2\text{Zr}_2\text{O}_7:\text{Dy}^{3+}$ ,  $\text{Li}^+$  荧光材料中的  $\text{Li}^+$  促进了基质到激活中心的能量转移, 使其有更高的量子产率, 且样品的发光强度和结晶度显著提高。基于以上对发光材料的基质组份及金属离子掺杂对其发光性能改进的相关研究, 为降低  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  基质材料成本, 改善合成材料的发光性能, 利用高温固相法<sup>[17]</sup>, 本工作选择与  $\text{Lu}^{3+}$  半径(0.086 1 nm) 相近, 且化学性质相似的  $\text{Y}^{3+}$ (0.090 0 nm),  $\text{Gd}^{3+}$ (0.093 8 nm) 合成了以  $(\text{Y}_x\text{Gd}_y\text{Lu}_{1-x-y})_2\text{O}_3$  为基质、 $\text{Pr}^{3+}$  做激活剂的  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  共掺  $(\text{Y}_x\text{Gd}_y\text{Lu}_{1-x-y})_2\text{O}_3:0.5\%\text{Pr}^{3+}$  荧光粉。同时分析不同基质组份,  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  掺杂和煅烧温

度对合成样品发光强度及荧光寿命的影响。

## 2 样品的制备及测试

按照表1的化学配比及掺杂浓度,并用

AL104 电子天平称取 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (99.99%), Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (99.99%), Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (99.99%), Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (99.99%), Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (96%), Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (分析纯) 试剂,混合后研磨 30 min,放入微波马弗炉在空气中不同温度下煅烧 2 h 获得样品。

表1 Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>共掺(Y<sub>x</sub>Gd<sub>y</sub>Lu<sub>1-x-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:0.5%Pr<sup>3+</sup>(摩尔浓度)样品

Table 1 Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> co-doped (Y<sub>x</sub>Gd<sub>y</sub>Lu<sub>1-x-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:0.5%Pr<sup>3+</sup> samples (molar concentration)

Sample	(Y <sub>x</sub> Gd <sub>y</sub> Lu <sub>1-x-y</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sup>3+</sup> /%	Li <sup>+</sup> /%	Na <sup>+</sup> /%	Temperature/°C
1	(Y <sub>0.3</sub> Lu <sub>0.7</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	0	0	800
2	(Y <sub>0.3</sub> Gd <sub>0.05</sub> Lu <sub>0.65</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	0	0	800
3	(Y <sub>0.3</sub> Gd <sub>0.1</sub> Lu <sub>0.6</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	0	0	800
4	(Y <sub>0.3</sub> Gd <sub>0.2</sub> Lu <sub>0.5</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	0	0	800
5	(Y <sub>0.3</sub> Gd <sub>0.3</sub> Lu <sub>0.4</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	0	0	800
6	(Y <sub>0.05</sub> Gd <sub>0.05</sub> Lu <sub>0.9</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	0	0	800
7	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	0	0	800
8	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	2.5	1	800
9	(Y <sub>0.3</sub> Gd <sub>0.3</sub> Lu <sub>0.4</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	2.5	1	800
10	(Y <sub>0.05</sub> Gd <sub>0.05</sub> Lu <sub>0.9</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	2.5	1	800
11	(Y <sub>0.05</sub> Gd <sub>0.05</sub> Lu <sub>0.9</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	2.5	1	600
12	(Y <sub>0.05</sub> Gd <sub>0.05</sub> Lu <sub>0.9</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	2.5	1	700
13	(Y <sub>0.05</sub> Gd <sub>0.05</sub> Lu <sub>0.9</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	2.5	1	900
14	(Y <sub>0.05</sub> Gd <sub>0.05</sub> Lu <sub>0.9</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	2.5	1	1 000
15	(Y <sub>0.05</sub> Gd <sub>0.05</sub> Lu <sub>0.9</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	2.5	1	1 150

使用日本津岛 XRD-6100 衍射仪对粉体进行物相分析,用日立 E-1045 磁控溅射器对样品进行喷金处理后,再用 SUPRA 55VP 扫描电镜对粉体进行形貌分析,用爱丁堡 FLS920 全功能型稳态/瞬态荧光光谱仪测量样品的激发光谱、发射光谱和荧光寿命。为消除激发光源的杂散光和倍频峰的影响,在观测光栅入口处放置了相应的滤光片。所用的仪器在使用前均进行了校正,测量均在室温下进行。

## 3 实验结果与讨论

### 3.1 晶体结构

图1(a)是Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>共掺(Y<sub>x</sub>Gd<sub>y</sub>Lu<sub>1-x-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:0.5%Pr<sup>3+</sup>荧光粉末样品 XRD 图。所有样品的衍射峰分别与 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 标准卡片 JCPDS 43-1036、Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 标准卡片 JCPDS 43-1014 和 Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 标准卡片 JCPDS 43-1021 进行对比,单一基质样品仍为纯的

Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 立方晶相,复合基质样品含有 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的衍射峰。由此可知, Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 和 Pr<sup>3+</sup> 的掺杂没有引起基质材料立方晶相结构的改变。对比 6 号与 10 号、7 号与 8 号样品发现,掺杂了 Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 样品的衍射峰强度增加,衍射峰半高宽变窄,说明掺杂 Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 可以提高相应样品的结晶度。Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的晶胞参数为  $a = b = c = 1.039$  nm,通过计算后,实验室制备的 6、7、8、10、14 号样品的晶胞参数分别为 0.990 37、1.036 68、1.102 96、1.106 67 和 1.051 28 nm,结果如图 1(b) 所示。6 号和 7 号样品相比较发现,当基质组分中的 Lu<sup>3+</sup> 被 Y<sup>3+</sup>、Gd<sup>3+</sup> 取代后,合成粉体衍射峰强度有所降低,这可能是由于离子半径较大的 Y<sup>3+</sup>、Gd<sup>3+</sup> 取代 Lu<sup>3+</sup> 造成了一定程度的晶格畸变, Lu<sup>3+</sup> 被 Y<sup>3+</sup>、Gd<sup>3+</sup> 取代后基质晶胞参数减小,从而使得衍射峰强度减小<sup>[18]</sup>。煅烧温度从 800 °C 上升至 1 000 °C 时,样品的衍射峰半宽逐渐变窄,强度增加,说明晶粒不断长大,结晶性能更加完善。

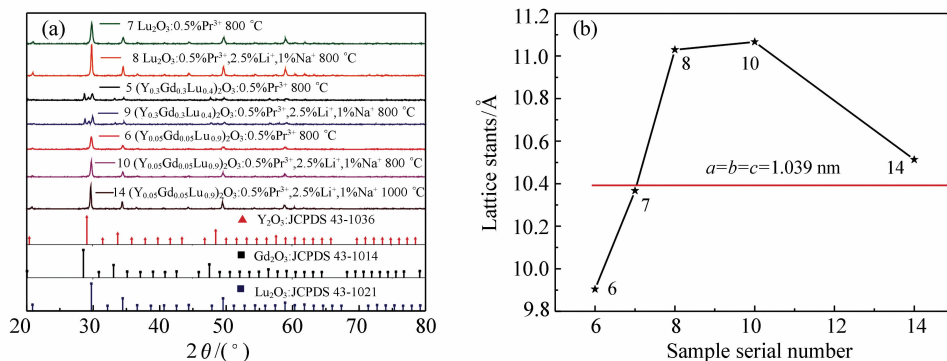


图1  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 共掺 $(\text{Y}_x\text{Gd}_y\text{Lu}_{1-x-y})_2\text{O}_3:0.5\%\text{Pr}^{3+}$ 的X射线衍射图(a)与晶胞参数(b)

Fig. 1 X ray diffraction patterns of  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$  co-doped  $(\text{Y}_x\text{Gd}_y\text{Lu}_{1-x-y})_2\text{O}_3:0.5\%\text{Pr}^{3+}$  (a) and unit cell parameters (b)

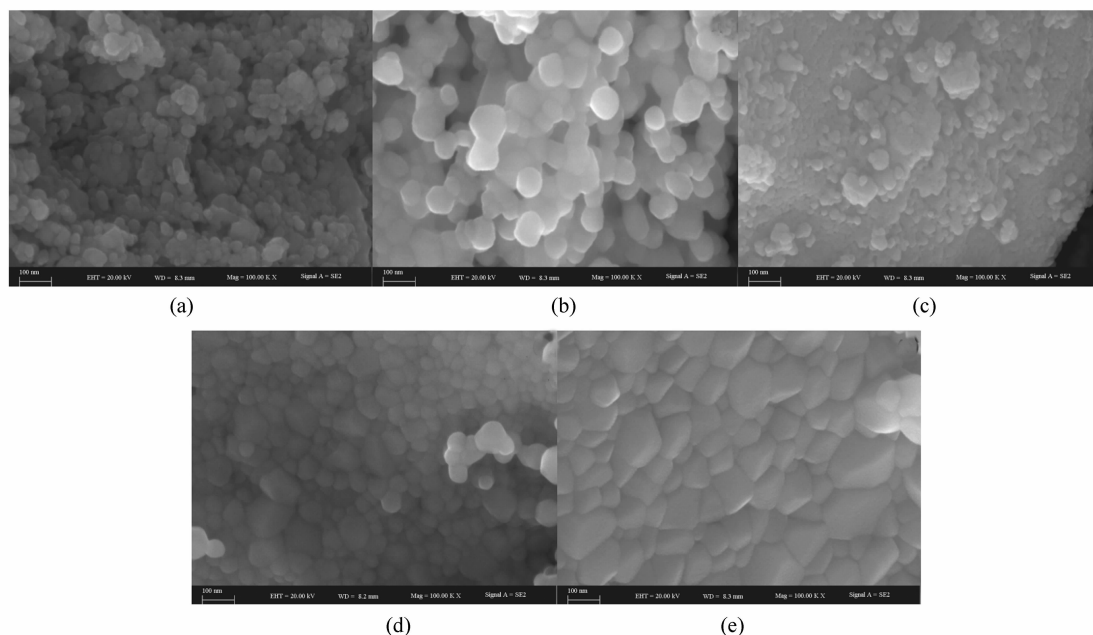


图2 7号(a)、8号(b)、6号(c)、10号(d)和14号(e)样品的扫描电子显微镜照片

Fig. 2 SEM images of samples No. 7 (a), No. 8 (b), No. 6 (c), No. 10 (d) and No. 14 (e)

### 3.2 $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 共掺 $(\text{Y}_x\text{Gd}_y\text{Lu}_{1-x-y})_2\text{O}_3:0.5\%\text{Pr}^{3+}$ 粉末样品的形貌

图2的(a)、(b)、(c)、(d)分别是800℃下煅烧2h的 $\text{Lu}_2\text{O}_3:0.5\%\text{Pr}^{3+}$ (7号),2.5% $\text{Li}^+$ 、1% $\text{Na}^+$ 共掺 $\text{Lu}_2\text{O}_3:0.5\%\text{Pr}^{3+}$ (8号), $(\text{Y}_{0.05}\text{Gd}_{0.05}\text{Lu}_{0.9})_2\text{O}_3:0.5\%\text{Pr}^{3+}$ (6号),2.5% $\text{Li}^+$ 、1% $\text{Na}^+$ 共掺 $(\text{Y}_{0.05}\text{Gd}_{0.05}\text{Lu}_{0.9})_2\text{O}_3:0.5\%\text{Pr}^{3+}$ (10号)样品形貌,图2(e)是1000℃下煅烧2h的2.5% $\text{Li}^+$ 、1% $\text{Na}^+$ 共掺 $(\text{Y}_{0.05}\text{Gd}_{0.05}\text{Lu}_{0.9})_2\text{O}_3:0.5\%\text{Pr}^{3+}$ (14号)样品形貌。所有形貌均是用牙签沾取少量样品抖在导电胶带上,进行喷金处理

后得到的SEM照片。据SEM照片可知(a)、(b)两样品均为近球形颗粒状,但共掺杂的 $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 起到了助熔剂作用,使得图(b)中样品晶粒的结晶性能提高,粒径增大,分散性较好,这与文献[19]报道一致。对比图(c)与(d)形貌可知,图(c)中晶粒仍为近球形颗粒状,但掺杂 $\text{Li}^+$ 和 $\text{Na}^+$ 后的图(d)中晶粒为不规则多边形,粒径明显增大,且样品有陶瓷化的趋势,但依旧有少部分的近球形颗粒状。将图(d)与(e)对比发现,两样品晶粒均为不规则多边形,且随着温度升高,图(e)样品粒径明显增大,同样具有陶瓷化趋势,致密性增加。(a)、(b)、(c)、(d)、(e)样品颗粒度范围分

别约为15~30 nm、50~90 nm、20~40 nm、60~90 nm、160~190 nm。

### 3.3 Li<sup>+</sup>,Na<sup>+</sup>共掺(Y<sub>x</sub>Gd<sub>y</sub>Lu<sub>1-x-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:0.5%Pr<sup>3+</sup>荧光粉末的激发与发射光谱

图3是荧光粉Li<sup>+</sup>,Na<sup>+</sup>共掺(Y<sub>x</sub>Gd<sub>y</sub>Lu<sub>1-x-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:0.5%Pr<sup>3+</sup>样品在632 nm发射波长下监测的激发光谱,右上插图系列Li<sup>+</sup>,Na<sup>+</sup>共掺(Y<sub>x</sub>Gd<sub>y</sub>Lu<sub>1-x-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:0.5%Pr<sup>3+</sup>样品在632 nm处的激发强度。激发光谱中210 nm附近的激发带对应的是(Y<sub>x</sub>Gd<sub>y</sub>Lu<sub>1-x-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>基质吸收带<sup>[20]</sup>,272 nm附近的激发带属于电子从O<sup>2-</sup>的2p轨道向Pr<sup>3+</sup>的4f轨道电荷迁移带(CT)<sup>[21]</sup>,右下为450~500 nm放大后的结果,出现的一系列激发峰(454、472、478和494 nm),是由于Pr<sup>3+</sup>的4f-4f(<sup>3</sup>H<sub>4</sub>-<sup>3</sup>P<sub>2</sub>,<sup>3</sup>H<sub>4</sub>-<sup>1</sup>I<sub>6</sub>,<sup>3</sup>H<sub>4</sub>-<sup>3</sup>P<sub>1</sub>和<sup>3</sup>H<sub>4</sub>-<sup>3</sup>P<sub>0</sub>)跃迁形成的,其强度很弱<sup>[20-22]</sup>。

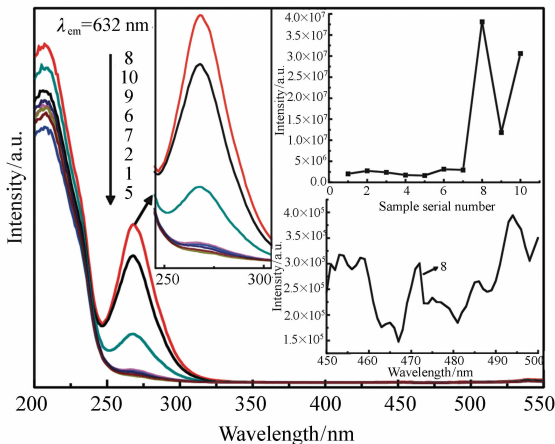


图3 Li<sup>+</sup>,Na<sup>+</sup>共掺(Y<sub>x</sub>Gd<sub>y</sub>Lu<sub>1-x-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:0.5%Pr<sup>3+</sup>激发光谱

Fig. 3 Excitation spectra of Li<sup>+</sup>,Na<sup>+</sup> co-doped (Y<sub>x</sub>Gd<sub>y</sub>Lu<sub>1-x-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:0.5%Pr<sup>3+</sup>

在相同测量条件下,5号与9号、6号与10号、7号与8号样品对比,在272 nm附近,共掺Li<sup>+</sup>,Na<sup>+</sup>样品激发峰强度明显增强,据文献报道,Li<sup>+</sup>,Na<sup>+</sup>掺杂会填补颗粒表面部分悬键缺陷,促使发光中心离子吸收激发能<sup>[23]</sup>。

图4是荧光粉末Li<sup>+</sup>,Na<sup>+</sup>共掺(Y<sub>x</sub>Gd<sub>y</sub>Lu<sub>1-x-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:0.5%Pr<sup>3+</sup>在272 nm激发波长下所监测的发射光谱。

所有发射光谱形状类似,主发射峰均位于

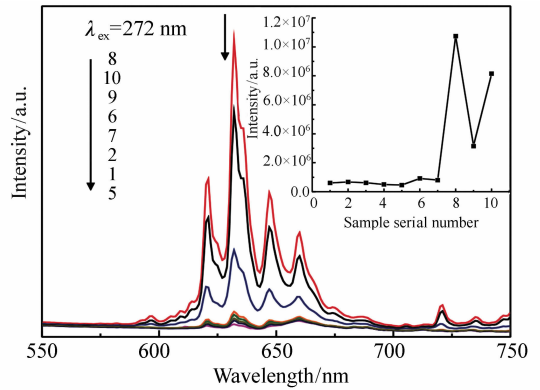


图4 Li<sup>+</sup>,Na<sup>+</sup>共掺(Y<sub>x</sub>Gd<sub>y</sub>Lu<sub>1-x-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:0.5%Pr<sup>3+</sup>发射光谱

Fig. 4 Emitting spectra of Li<sup>+</sup>,Na<sup>+</sup> co-doped (Y<sub>x</sub>Gd<sub>y</sub>Lu<sub>1-x-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:0.5%Pr<sup>3+</sup>

632 nm,它与620、647、659 nm的发射峰均是源于Pr<sup>3+</sup>的<sup>1</sup>D<sub>2</sub>-<sup>3</sup>H<sub>4</sub>跃迁发射,720 nm处的发射峰是Pr<sup>3+</sup>的<sup>1</sup>D<sub>2</sub>-<sup>3</sup>H<sub>5</sub>跃迁形成的<sup>[20-22,24]</sup>。比较几种样品Pr<sup>3+</sup>的特征发射峰知,8号样品发光最强,它的发光强度是10号样品的1.32倍,是9号样品的3.42倍,是6号样品的11.69倍,是7号样品的13.38倍,是2号样品的15.92倍,是1号样品的18.02倍,是5号样品的23.52倍。8号样品发光强度优于10号样品的原因可能是Y<sup>3+</sup>、Gd<sup>3+</sup>的离子半径比Lu<sup>3+</sup>大,引起的较大晶格畸变不利于增强发光;且8号样品的分散性较10号样品更好,颗粒形状更均一,有利于发光增强。

由于Li<sup>+</sup>,Na<sup>+</sup>离子的掺入使得10号样品的发光强度是6号样品的8.86倍,9号样品的发光强度是5号样品的6.88倍,8号样品的发光强度是7号样品的13.38倍。据文献报道,这可能是由于掺杂的Li<sup>+</sup>,Na<sup>+</sup>离子改善了Pr<sup>3+</sup>离子附近晶格的局部对称性,令Pr<sup>3+</sup>的4f-4f电子跃迁几率增加<sup>[25-27]</sup>。掺杂适量的Li<sup>+</sup>,Na<sup>+</sup>会提高氧空位浓度,氧空位浓度的增加可以降低基质竞争吸收,从而加快基质到激活剂的能量传递,提高激活剂的发光强度和发光效率<sup>[23]</sup>。此外,掺入Li<sup>+</sup>,Na<sup>+</sup>可以即可作为助熔剂,降低反应物熔点,又可以使晶体场对称性降低,提高粉体结晶性能,使得发光增强<sup>[28]</sup>。在1-5号样品中,固定Y<sup>3+</sup>的掺杂量为29.85%时,当Gd<sup>3+</sup>掺杂量从0增加到4.975%时,样品发光强度提高,随着Gd<sup>3+</sup>的掺杂

量从 4.975% 增加至 29.85%, 其发光强度逐渐减弱。这是由于掺杂适量的  $Gd^{3+}$  会使晶体场的非对称性增加, 提高粉体的发光强度, 但当  $Gd^{3+}$  过量时,  $Gd^{3+}$  之间会产生交叉驰豫, 不利于基质对能量的吸收, 发光强度逐渐减小<sup>[29]</sup>。6 号与 2 号样品相比,  $Y^{3+}$  掺杂量从 4.975% 增加至 29.85%, 样品发光强度有所减弱。这可能是由于  $Y^{3+}$  掺杂过量导致晶格畸变严重, 从而使得发光强度逐渐减小。掺入适量的  $Y^{3+}$ 、 $Gd^{3+}$  可使晶体场的非对称性增加, 故 6 号比 7 号样品发光强度高。

### 3.4 煅烧温度对合成样品发光强度的影响

不同煅烧温度下获得的 2.5%  $Li^+$ 、1%  $Na^+$  共掺 ( $Y_{0.05}Gd_{0.05}Lu_{0.9}$ ) $_2O_3$ :0.5%  $Pr^{3+}$  荧光粉末的发光强度如图 5 所示。当煅烧温度从 600 °C 上升至 1 150 °C 时, 样品发光强度先增强, 后减弱, 在 1 000 °C 时, 样品发光强度最强。实验表明 14 号样品的发光强度是 10 号样品的 2.11 倍。这是由于煅烧温度较低时, 只有少量的  $Pr^{3+}$  能进入到 ( $Y_xGd_yLu_{(1-x-y)}$ ) $_2O_3$  的晶格结构中, 发光较弱, 且样品颗粒表面存在着大量缺陷和悬挂键, 此时表面效应十分显著。随着温度的升高, 发光中心

$Pr^{3+}$  的浓度在增加, 随着晶粒长大并结晶完整, 表面缺陷减少, 发光增强, 当温度升高到 1 000 °C 时, 粉末发光最强, 温度继续升高, 发光减弱。这是由于过高的温度会导致晶粒继续长大, 使晶粒之间的接触面积增加, 容易形成较大的团聚体颗粒, 从而降低了发光强度。

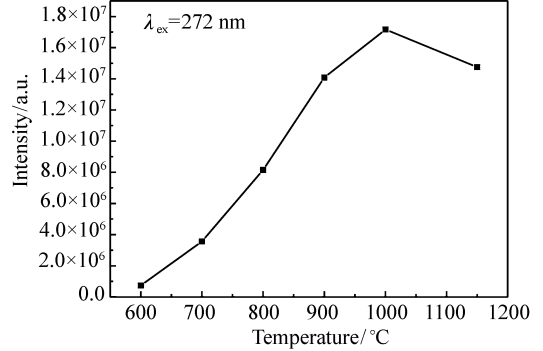


图 5 温度对  $Li^+$ 、 $Na^+$  共掺 ( $Y_{0.05}Gd_{0.05}Lu_{0.9}$ ) $_2O_3$ :0.5%  $Pr^{3+}$  荧光粉末发光强度的影响

Fig. 5 Effect of temperature on the luminescence intensity of  $Li^+$ ,  $Na^+$  co-doped ( $Y_{0.05}Gd_{0.05}Lu_{0.9}$ ) $_2O_3$ :0.5%  $Pr^{3+}$  phosphors

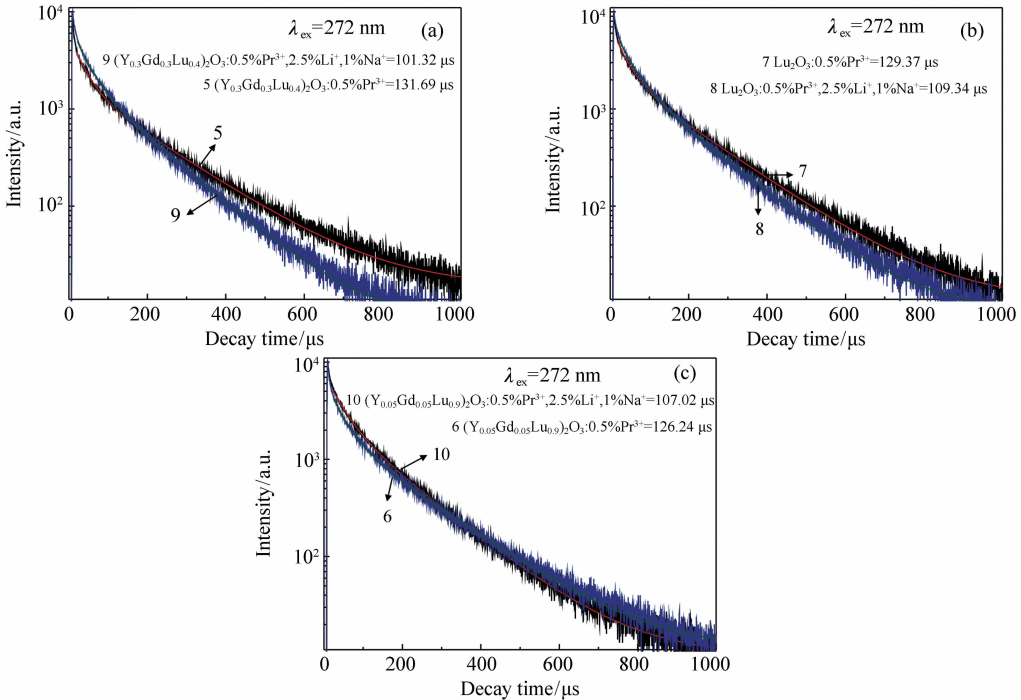


图 6 部分  $Li^+$ 、 $Na^+$  共掺 ( $Y_{0.05}Gd_{0.05}Lu_{0.9}$ ) $_2O_3$ :0.5%  $Pr^{3+}$  荧光粉末中  $Pr^{3+}$  的  $^1D_2$  能级衰减曲线

Fig. 6 Decay curves of  $^1D_2$  energy level of  $Pr^{3+}$  in partial  $Li^+$ ,  $Na^+$  co-doped ( $Y_{0.05}Gd_{0.05}Lu_{0.9}$ ) $_2O_3$ :0.5%  $Pr^{3+}$  fluorescent powder



### 3.5 荧光寿命

在 272 nm 激发下的 Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 共掺 (Y<sub>x</sub>Gd<sub>y</sub>Lu<sub>1-x-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:0.5% Pr<sup>3+</sup> 荧光粉末中, Pr<sup>3+</sup> 的 <sup>1</sup>D<sub>2</sub> 能级衰减曲线经双指数函数拟合后如图 6 所示。利用双指数函数拟合及计算后, 1-15 号样品荧光寿命分别为 128.30, 126.42, 124.45, 130.49, 131.69, 126.24, 129.37, 109.34, 101.32, 107.02, 110.21, 111.36, 99.73, 100.83, 99.85 μs。比较 1-7 号与 10-15 号样品荧光寿命可知, 基质组份与温度对样品中 Pr<sup>3+</sup> 的 <sup>1</sup>D<sub>2</sub> 能级荧光寿命影响不大, 但将 5 号与 9 号样品对比、6 号与 10 号样品对比、7 号与 8 号样品对比发现, 掺杂 Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 能够有效缩短样品中 Pr<sup>3+</sup> 的 <sup>1</sup>D<sub>2</sub> 能级荧光寿命。这是由于 Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 的掺入可以填补样品颗粒表面的氧悬键缺陷, 阻塞 Pr<sup>3+</sup> 的无辐射驰豫通道, 减少 Pr<sup>3+</sup> 的无辐射跃迁几率, 所以其样品寿命减小<sup>[30]</sup>。同时掺杂适量的 Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 能够提高基质晶格的氧空位浓度, 促进能量转移的同时使晶体场对称性降低, 提高 Pr<sup>3+</sup> 的 <sup>1</sup>D<sub>2</sub> 能级辐射跃迁几率, 并且 Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 共掺起到了助熔剂和敏化剂的作用, 提高了 Pr<sup>3+</sup> 的 <sup>1</sup>D<sub>2</sub> 能级辐射跃迁几率, 最终

导致 Pr<sup>3+</sup> 的 <sup>1</sup>D<sub>2</sub> 能级衰减时间缩短<sup>[31]</sup>。

## 4 结论

使用高温固相法制备了 Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 共掺 (Y<sub>x</sub>Gd<sub>y</sub>Lu<sub>1-x-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:0.5% Pr<sup>3+</sup> 荧光粉末样品。XRD 结果显示, 掺入 Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 与 Pr<sup>3+</sup> 的 (Y<sub>x</sub>Gd<sub>y</sub>Lu<sub>1-x-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 基质晶格结构未发生改变, 仍为立方相。当基质组分中含有少量的 Y<sup>3+</sup>、Gd<sup>3+</sup>, 且共掺杂 Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 后的样品 SEM 形貌显示样品有陶瓷化的趋势, 掺杂 Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 能使样品分散性得到较好改善。光谱测试结果表明, 当基质组分中含有适量的 Y<sup>3+</sup>、Gd<sup>3+</sup> 时, 引起的基质晶格畸变在一定程度上有利于提高其相应的发光强度, 但对荧光寿命影响不大。基质组分中含有适量 Y<sup>3+</sup>、Gd<sup>3+</sup> 同时共掺适量 Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 可进一步提高样品的发光强度, 且荧光寿命相应有所缩短。空气中, 1 000 °C 煅烧 2 h 获得的 2.5% Li<sup>+</sup>、1% Na<sup>+</sup> 共掺 (Y<sub>0.05</sub>Gd<sub>0.05</sub>Lu<sub>0.9</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:0.5% Pr<sup>3+</sup> 样品的发光最强, 荧光寿命较短。

### 参考文献:

- [1] 牛建丽, 于永丽, 曹艳杰, 等. 基于内滤效应的 YVO<sub>4</sub>:Eu 荧光纳米探针测定色氨酸[J]. 分析化学, 2017, 45(6): 883-888.  
NIU J L, YU Y L, CAO Y J, et al. Determination of tryptophan based on inner filter effect of fluorescent Yttrium Vanadate:Europium nanoprobe[J]. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2017, 45(6): 883-888. (in Chinese)
- [2] 李焕荣, 王天任. 基于稀土配合物和离子液体的新型稀土发光材料研究进展[J]. 发光学报, 2018, 39(4): 425-439.  
LI H R, WANG T R. Research progress on the novel rare earth luminescent materials based on rare earth complexes and ionic liquids[J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2018, 39(4): 425-439. (in Chinese)
- [3] 韦甜甜, 梁汝萍, 邱建丁. 基于稀土离子介导石墨烯量子点荧光开关的凝血酶生物传感器[J]. 分析化学, 2017, 45(12): 1915-1920.  
WEI T T, LIANG R P, QIU J D. Thrombin biosensor based on rare earth ion mediated fluorescence switch of graphene quantum dots[J]. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2017, 45(12): 1915-1920. (in Chinese)
- [4] 华修德, 尤红杰, 杨家川, 等. 基于上转换荧光标记的氯噻啉免疫层析方法研究[J]. 分析化学, 2018, 46(3): 413-421.  
HUA X D, YOU H J, YANG J CH, et al. Immunochromatographic assay for detection of imidacloprid based on upconversion fluorescence labeling[J]. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2018, 46(3): 413-421. (in Chinese)
- [5] 洪广言. 稀土发光材料的研究进展[J]. 人工晶体学报, 2015, 44(10): 2641-2651.  
HONG G Y. Research progress of rare earth luminescent materials[J]. *Journal of Synthetic Crystals*, 2015, 44(10): 2641-2651. (in Chinese)
- [6] GRESKOVICH C, DUCLOS S. Ceramic scintillators[J]. *Annual Review of Materials Research*, 1997, 27: 69-88.
- [7] DE JESÙS MORALES-RAMÍREZ Á, GARCÍA-MURILLO A, DE JESÙS CARRILLO-ROMO F, et al. Influence of annealing temperature on structural and optical properties of Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>3+</sup>, Tb<sup>3+</sup>, transparent films[J]. *Materials Research Bulletin*, 2015, 70: 173-178.

- [8] 王鹏贺,王能利,张希艳. 碳酸盐共沉淀法合成  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Er}^{3+}$  纳米粉体及性能表征[J]. 无机化学学报,2012,28(11):2335-2340.  
WANG P H, WANG N L, ZHANG X Y. Carbonate Co-precipitation synthesis of  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Er}^{3+}$  nano-powders and its property characterization[J]. *Chinese Journal of Inorganic Chemistry*,2012,28(11):2335-2340. (in Chinese)
- [9] RÉTOT H, BLAHUTA S, BESSIÈRE A, *et al.*. Improved scintillation time response in  $(\text{Lu}_{0.5}\text{Gd}_{0.5})_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  compared with  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  transparent ceramics[J]. *Journal of Physics D:Applied Physics*,2011,44(23):235101.
- [10] SEELEY Z M, DAI Z R, KUNTZ J D, *et al.*. Phase stabilization in transparent  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}$  ceramics by lattice expansion [J]. *Optical Materials*,2012,35(1):74-78.
- [11] 张琳,马畅,李晓东.  $(\text{Gd}_{0.95-x}\text{Lu}_x\text{Eu}_{0.05})_2\text{O}_3$  纳米粉体合成、透明陶瓷的制备及其荧光性能研究[J]. 人工晶体学报,2017,46(4):609-615,633.  
ZHANG L, MA CH, LI X D. Synthesis of  $(\text{Gd}_{0.95-x}\text{Lu}_x\text{Eu}_{0.05})_2\text{O}_3$  Nano-powders, and fabrication and fluorescent properties of transparent ceramics[J]. *Journal of Synthetic Crystals*,2017,46(4):609-615,633. (in Chinese)
- [12] 代雨航,李剑,朱忠丽. 铥镱双掺氧化镧钕透明陶瓷的制备及发光特性[J]. 硅酸盐学报,2017,45(7):941-947.  
DAI Y H, LI J, ZHU ZH L. Preparation of erbium and ytterbium co-doped lutetium gadolinium oxide ceramic and its optical properties[J]. *Journal of the Chinese Ceramic Society*,2017,45(7):941-947. (in Chinese)
- [13] 刘成,杨毅,韩正玉,等.  $\text{Li}^+$  掺杂对  $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Pr}^{3+}$  上转换发光性能影响[J]. 中国稀土学报,2013,31(4):436-441.  
LIU CH, YANG Y, HAN ZH Y, *et al.*. Upconversion luminescence properties of  $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Pr}^{3+}$  co-doped with  $\text{Li}^+$  [J]. *Journal of the Chinese Rare Earth Society*,2013,31(4):436-441. (in Chinese)
- [14] CATES E L, WILKINSON A P, KIM J H. Delineating mechanisms of upconversion enhancement by  $\text{Li}^+$  co-doping in  $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Pr}^{3+}$  [J]. *The Journal of Physical Chemistry C*,2012,116(23):12772-12778.
- [15] DHANANJAYA N, NAGABHUSHANA H, NAGABHUSHANA B M, *et al.*. Effect of  $\text{Li}^+$  -ion on enhancement of photoluminescence in  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  nanophosphors prepared by combustion technique[J]. *Journal of Alloys and Compounds*,2011,509(5):2368-2374.
- [16] DU Q Q, HOU G J, ZHOU J, *et al.*. Enhanced luminescence of novel  $\text{Y}_2\text{Zr}_2\text{O}_7:\text{Dy}^{3+}$  phosphors by  $\text{Li}^+$  co-doping[J]. *Journal of Alloys and Compounds*,2013,552:152-156.
- [17] 洪广言. 稀土发光材料-基础与应用[M]. 北京:科学出版社,2011.  
HONG G Y. *Fundamental and Application of Rare Earth Luminescent Materials*[M]. Beijing:Science Press,2011. (in Chinese)
- [18] 蒲勇,朱达川,马明星,等. 化学共沉淀法制备的  $(\text{Y}_{1-x-y},\text{Gd}_y)_2\text{O}_3:x\text{Eu}^{3+}$  红色荧光粉及其发光性能[J]. 发光学报,2012,33(3):247-252.  
PU Y, ZHU D CH, MA M X, *et al.*. Co-precipitation synthesis and luminescence properties of  $(\text{Y}_{1-x-y},\text{Gd}_y)_2\text{O}_3:x\text{Eu}^{3+}$  red phosphors[J]. *Chinese Journal of Luminescence*,2012,33(3):247-252. (in Chinese)
- [19] 李敏,王林香,虞娟. 沉淀法制备  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  掺杂  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  荧光粉及发光特性研究[J]. 光散射学报,2017,29(1):92-96.  
LI M, WANG L X, TUO J. Luminescence properties of  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  doped  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  phosphor prepared by precipitation methods[J]. *The Journal of Light Scattering*,2017,29(1):92-96. (in Chinese)
- [20] YANG J, LI CH X, QUAN Z W, *et al.*. Self-assembled 3D flowerlike  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  and  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Ln}^{3+}$  ( $\text{Ln} = \text{Eu}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Pr}, \text{Sm}, \text{Er}, \text{Ho}, \text{Tm}$ ) microarchitectures; ethylene glycol-mediated hydrothermal synthesis and luminescent properties [J]. *The Journal of Physical Chemistry C*,2008,112(33):12777-12785.
- [21] ALARCÓN-FLORES G, GARCÍA-HIPOLITO M, AGUILAR-FRUTIS M, *et al.*. Synthesis and characterization of  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Pr}^{3+}$  phosphor powders by simple solvent evaporation[J]. *Ceramics International*,2015,41(1):743-748.
- [22] JIA D D, WANG X J, YEN W M. Ground-state measurement of  $\text{Pr}^{3+}$  in  $\text{Y}_2\text{O}_3$  by photoconductivity[J]. *Physics of the Solid State*,2008,50(9):1674-1676.
- [23] LI W, LEE J. Microwave-assisted Sol-Gel synthesis and photoluminescence characterization of  $\text{LaPO}_4:\text{Eu}^{3+}, \text{Li}^+$  Nanophosphors[J]. *The Journal of Physical Chemistry C*,2008,112(31):11679-11684.
- [24] TAMRAKAR R K, UPADHYAY K. Optical properties of  $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Pr}^{3+}$  phosphor synthesized by combustion method using glycerine as a fuel[J]. *Journal of Materials Science:Materials in Electronics*,2017,28(8):6112-6118.



- [25] 李丽. 稀土掺杂 Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 纳米材料的制备与发光性质[D]. 合肥:中国科学技术大学,2012.  
LI L. Preparation and luminescent properties of rare earth doped Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanomaterials[D]. Hefei:University of Science and Technology of China,2012. (in Chinese)
- [26] 吕健滔,王可嘉,刘劲松,等. Li<sup>+</sup>与 Er<sup>3+</sup>共掺 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 纳米晶体上转换发光增强研究[J]. 光学学报,2011,31(11):210-214.  
LÜ J T,WANG K J,LIU J S,*et al.*. Enhancement of upconversion luminescence in Li<sup>+</sup> co-doping Er<sup>3+</sup>:Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocrystals[J]. *Acta Optica Sinica*,2011,31(11):210-214. (in Chinese)
- [27] 丁艳丽,张晓丹,梁雪娇,等. Na<sup>+</sup>掺杂对 LiYF<sub>4</sub>:Er<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup>上转换发光性能的影响[J]. 发光学报,2014,35(5):536-541.  
DING Y L,ZHANG X D,LIANG X J,*et al.*. Influence of Na<sup>+</sup> doping on upconversion luminescence of LiYF<sub>4</sub>:Er<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup> microcrystals[J]. *Chinese Journal of Luminescence*,2014,35(5):536-541. (in Chinese)
- [28] YE H S M,SU CH SH. Mixing LiF in Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu to enhance ultraviolet radiation induced thermoluminescent sensitivity after sintering process[J]. *Materials Science and Engineering:B*,1996,38(3):245-249.
- [29] 曾青云,李青,肖婷,等. 微波辅助均相沉淀法制备(Y<sub>1-x-y</sub>,La<sub>y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:xEu<sup>3+</sup>红色荧光粉[J]. 有色金属科学与工程,2017,8(2):107-111.  
ZENG Q Y,LI Q,XIAO T,*et al.*. Preparation of (Y<sub>1-x-y</sub>,La<sub>y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:xEu<sup>3+</sup> red phosphors by microwave-assisted homogeneous precipitation method[J]. *Nonferrous Metals Science and Engineering*,2017,8(2):107-111. (in Chinese)
- [30] 余雪,徐海刚,殷江,等. Li<sup>+</sup>离子掺杂 Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Sm<sup>3+</sup>纳米晶的发光增强[J]. 发光学报,2007,28(5):754-759.  
YU X,XU H G,YIN J,*et al.*. Enhanced photoluminescence of Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Sm<sup>3+</sup> nanocrystals by Li<sup>+</sup> doping[J]. *Chinese Journal of Luminescence*,2007,28(5):754-759. (in Chinese)
- [31] 肖莉红,顾壮,刘小林,等. Zn<sup>2+</sup>掺杂对 GdTaO<sub>4</sub>:Eu<sup>3+</sup>荧光粉结构和发光性能的影响[J]. 光谱学与光谱分析,2007,27(6):1054-1057.  
XIAO L H,GU M,LIU X L,*et al.*. Effects of Zn<sup>2+</sup> doping on the structural and luminescent properties of GdTaO<sub>4</sub>:Eu<sup>3+</sup> phosphors[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*,2007,27(6):1054-1057. (in Chinese)

## 作者简介:



度娟(1990—),女,四川广安人,硕士,2018年于新疆师范大学获得硕士学位,主要从事稀土发光材料方面的研究。E-mail:1498970687@qq.com



王林香(1979—),女,甘肃秦安人,博士,副教授,2010年于中国科学技术大学获得博士学位,主要从事稀土发光材料方面的研究。E-mail:wanglinxiang23@126.com