

文章编号: 1000-7032(2016)01-0028-05

# Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>和Eu<sup>3+</sup>共掺Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的制备及发光特性研究

庹娟<sup>1,2,3</sup>, 王林香<sup>1,2,3\*</sup>, 李敏<sup>1,2,3</sup>

(1. 新疆师范大学 物理系, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆师范大学 矿物发光及其微结构重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054; 3. 新疆师范大学 理论物理自治区重点学科, 新疆 乌鲁木齐 830054)

**摘要:** 用高温固相法合成了不同掺杂浓度的Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>和Eu<sup>3+</sup>共掺Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>闪烁体发光材料,使用XRD进行结构表征,用扫描电镜观察了样品形貌,测量了激发光谱、发射光谱,分析了Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>和Eu<sup>3+</sup>的掺杂浓度以及温度对合成样品发光强度的影响。结果显示,Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>掺杂摩尔分数分别为2.5%和1%,在800℃空气中煅烧2h制备的Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:5%Eu<sup>3+</sup>样品的发光最强。在同样条件下,比单掺2.5%Na<sup>+</sup>的样品发光强度提高1.89倍,比单掺2.5%Li<sup>+</sup>的样品发光强度提高3.97倍,比不掺Li<sup>+</sup>和Na<sup>+</sup>的样品发光强度提高6.43倍。

**关键词:** 闪烁体; Li<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>和Eu<sup>3+</sup>共掺Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 高温固相法; 发光强度

中图分类号: O482.31

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fgxb20163701.0028

## Preparation and Luminescence Properties of Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> and Eu<sup>3+</sup> Co-doped Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

TUO Juan<sup>1,2,3</sup>, WANG Lin-xiang<sup>1,2,3\*</sup>, LI Min<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 Disciplinary Areas of The Theoretical Physics of The Xinjiang Autonomous Region, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

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

**Abstract:** Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> and Eu<sup>3+</sup> co-doped Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> phosphors were synthesized by the high temperature solid-state reaction. The structure of the sample was characterized by XRD, the morphology was observed with scanning electron microscope, the excitation spectra and emission spectra were measured, and the effects of Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> and Eu<sup>3+</sup> doping concentration and the calcined temperature on the luminescence intensity of the synthesized samples were analyzed. The results show that the emission of the sample with 2.5% Li<sup>+</sup>, 1% Na<sup>+</sup> and 5% Eu<sup>3+</sup> co-doped Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is the strongest in the four samples calcined at 800℃ in the air for 2 h. In the same condition, the luminous intensity of Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:5% Eu<sup>3+</sup>, 2.5% Li<sup>+</sup>, 1% Na<sup>+</sup> is 1.89 times than that only with 2.5% Na<sup>+</sup> doping, 3.97 times than that only with 2.5% Li<sup>+</sup> doping, and 6.43 times than that without Li<sup>+</sup> and Na<sup>+</sup> doping.

**Key words:** scintillator; Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> and Eu<sup>3+</sup> co-doped Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; high temperature solid-state method; luminous intensity

## 1 引 言

闪烁材料因其优良的性能在

高能粒子探测、核物理、医学成像等领域得到广泛应用<sup>[1]</sup>。近年来为了满足X射线医学成像设备对射线探测器的要求,耐辐照性、快衰减性、高分辨率等成为重

要指标<sup>[2]</sup>。 $\text{Lu}$ 的有效电子序数较高( $Z = 71$ ), $\text{Lu}_2\text{O}_3$ 的密度高达 $9.42 \text{ g/cm}^3$ ,其物理化学性质稳定,这些特点使得 $\text{Lu}_2\text{O}_3$ 成为非常理想的医用闪烁体基质材料,以 $\text{Lu}_2\text{O}_3$ 作为基质制备纳米发光材料成为国内外研究的热点。Cho等在甲醇溶液中利用低温溶液燃烧法合成了 $\text{Eu}^{3+}$ 掺杂 $\text{Lu}_2\text{O}_3$ 纳米发光粉末,研究了烧结温度与 $\text{Eu}^{3+}$ 浓度对发光强度的影响<sup>[3]</sup>。Gruzintsev等合成了 $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ 纳米粉末,研究了不同光抽运强度下的自发和激励发光光谱<sup>[4]</sup>。Li等采用反向滴定共沉淀法合成 $\text{Lu}_2\text{O}_3:2.5\% \text{ Yb},0.2\% \text{ Tm}$ 纳米粉末,研究了沉淀剂溶液的pH值对结构的影响及其上转换发光性能<sup>[5]</sup>。Morales Ramírez等利用溶胶-凝胶法制备了 $\text{Eu}^{3+}$ 和 $\text{Bi}^{3+}$ 共掺杂 $\text{Lu}_2\text{O}_3$ 发光粉末,研究了 $\text{Bi}^{3+}$ 浓度对其发光特性的影响<sup>[6]</sup>。此外,国内研究者对 $\text{Er}^{3+}$ 、 $\text{Bi}^{3+}$ 、 $\text{Nd}^{3+}$ 、 $\text{Eu}^{3+}$ 等阳离子掺杂氧化镧基发光材料的制备及其发光特性也进行了研究<sup>[7-11]</sup>。但目前,对 $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Eu}^{3+}$ 共掺 $\text{Lu}_2\text{O}_3$ 的制备及发光特性的研究报道还较少。本文利用高温固相法<sup>[12]</sup>合成了不同掺杂浓度的 $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Eu}^{3+}$ 共掺 $\text{Lu}_2\text{O}_3$ 纳米粉末,分析了 $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 掺杂浓度及温度对 $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ 纳米粉末微结构及发光的影响。

## 2 实验

实验所用原料为 $\text{Lu}_2\text{O}_3$  (99.99%)、 $\text{Eu}_2\text{O}_3$  (99.99%)、 $\text{NaOH}$  (96%)和 $\text{Li}_2\text{CO}_3$  (化学纯)。本实验采用高温固相法来制备样品。依据文献<sup>[13]</sup>, $\text{Eu}^{3+}$ 掺杂摩尔分数为5%时, $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ 纳米粉末的发光最强。按该掺杂浓度,将表1所列各种药品用AL104电子天平称量好。用玛瑙研钵把混合物研磨40 min后,装入石英玻璃坩埚,放入PHOENIX微波马弗炉在空气中 $800^\circ\text{C}$ 下煅烧2 h。煅烧完成后,把石英玻璃坩埚放在冷凝台上使样品迅速骤冷至室温。

表1  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Eu}^{3+}$ 共掺 $\text{Lu}_2\text{O}_3$ 材料的制备

Tab.1 Preparation of  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{Eu}^{3+}$  co-doped  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  materials

序号	$\text{Eu}^{3+}$	$\text{Na}^+$	$\text{Li}^+$
1	5%	0%	0%
2	5%	2.5%	0%
3	5%	0%	2.5%
4	5%	1%	2.5%

使用XRD-6100衍射仪对粉体进行物相分析,用SUPRA 55VP扫描电镜观测粉体的表面形貌,用FLS920荧光光谱仪测量样品的激发光谱与发射光谱。所有测试都在室温下进行。

## 3 结果与讨论

使用ZF-2型三用紫外仪观察按表1制备好的4个样品。在波长为 $253.7 \text{ nm}$ 的紫外仪照射下,1号样品呈现浅粉色荧光,2号样品呈现粉色荧光,3号样品呈现红色荧光,4号样品呈现强红色荧光。在波长为 $365.0 \text{ nm}$ 的紫外仪照射下,1~3号样品均无荧光,4号样品呈现粉色荧光。室温下4个样品均为米白色。

### 3.1 样品的XRD图谱

图1是 $\text{Lu}_2\text{O}_3:5\% \text{ Eu}^{3+},2.5\% \text{ Li}^+,1\% \text{ Na}^+$ 在空气中煅烧2 h获得的粉末样品的XRD图谱。与标准的JCPDS卡片对比,样品的XRD图谱中的衍射峰位置与标准卡片吻合。由此可知, $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Eu}^{3+}$ 取代了部分 $\text{Lu}^{3+}$ 或位于填隙位,完全掺入 $\text{Lu}_2\text{O}_3$ 基质晶格,说明 $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Eu}^{3+}$ 阳离子的掺入不影响 $\text{Lu}_2\text{O}_3$ 的立方相结构<sup>[14]</sup>。

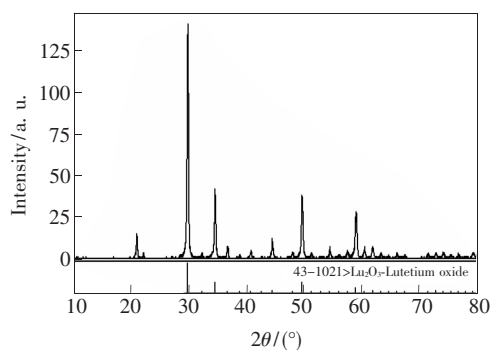


图1  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Eu}^{3+}$ 共掺 $\text{Lu}_2\text{O}_3$ 的X射线衍射图谱。  
Fig.1 XRD patterns of  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{Eu}^{3+}$  co-doped  $\text{Lu}_2\text{O}_3$ .

### 3.2 样品的表面形貌

图2是 $\text{Lu}_2\text{O}_3:5\% \text{ Eu}^{3+},2.5\% \text{ Li}^+,1\% \text{ Na}^+$ 在空气中 $800^\circ\text{C}$ 下煅烧2 h获得的纳米粉体在不同位置的SEM照片。其中(a)、(b)两形貌是将少量的样品用无水乙醇稀释并进行30 min的超声振荡后得到的SEM照片。而(c)、(d)两形貌是用牙签沾取少量的样品抖在导电胶带上得到的SEM照片。(a)、(b)的分散性较好,(c)、(d)的分散性相对来说一般。样品接近球形,颗粒度约为 $50 \sim 80 \text{ nm}$ 。

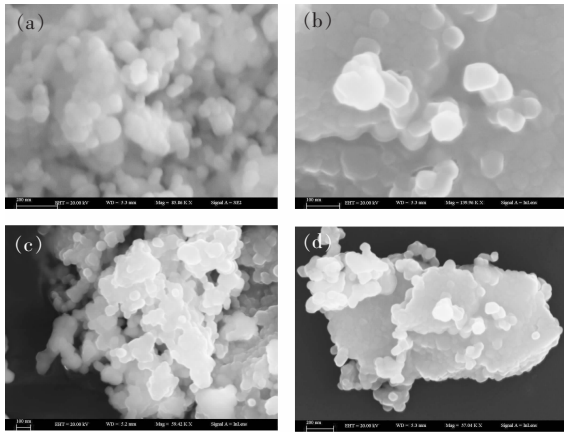


图 2  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  和  $\text{Eu}^{3+}$  共掺  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  的形貌。

Fig. 2 Morphology of  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{Eu}^{3+}$  co-doped  $\text{Lu}_2\text{O}_3$ .

### 3.3 激发光谱和发射光谱

图 3 是所合成的 1~4 号样品在 611 nm 波长监测下的激发光谱。250 nm 附近的激发带归属于  $\text{O}^{2-}$  的 2p 轨道向  $\text{Eu}^{3+}$  的 4f 轨道的跃迁 (CTB)<sup>[15]</sup>, 说明基质氧化镧对发光有贡献。波长大于 280 nm 的弱激发峰是由  $\text{Eu}^{3+}$  自身的 4f 层的 f-f 能级跃迁所引起的。掺杂不同离子可以影响激发峰的位置, 基质氧化镧传递到  $\text{Eu}^{3+}$  的能量多少由波峰位置的位移来体现<sup>[16]</sup>。与无掺杂样品的激发峰相比, 2 号、3 号和 4 号样品的激发峰位置基本不变, 但它们的跃迁峰值随序号 1~4 在依次增加, 说明基质传递给  $\text{Eu}^{3+}$  的能量在增加。

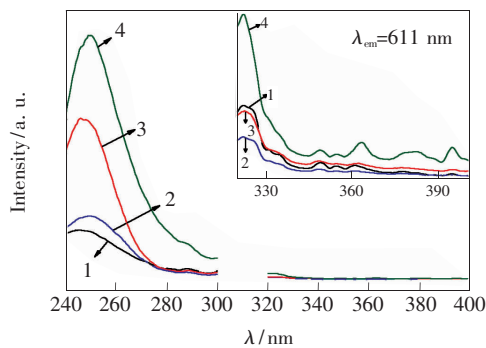


图 3 不同掺杂浓度的  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  和  $\text{Eu}^{3+}$  共掺  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  的激发光谱。

Fig. 3 Excitation spectra of  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{Eu}^{3+}$  co-doped  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  with different concentrations.

图 4 是 1~4 号样品在 250 nm 激发下的发射光谱。发射峰的形状和位置基本一致。611 nm 处的主发射峰是  $\text{Eu}^{3+}$  的红色荧光特征峰, 源于  $\text{Eu}^{3+}$  的  $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$  能级跃迁<sup>[17]</sup>。发射谱中范围为 580~720 nm 的发射峰对应于  $\text{Eu}^{3+}$  的 4f 组态内

$^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$  的跃迁<sup>[18]</sup>。对于 611 nm 特征峰的发射强度, 2 号样品是 1 号样品的 1.62 倍; 3 号样品是 1 号样品的 3.95 倍, 是 2 号样品的 2.10 倍; 4 号样品是 1 号样品的 6.43 倍, 是 2 号样品的 3.97 倍, 是 3 号样品的 1.89 倍。产生这样结果的原因如下: 掺入  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  会形成负电性缺陷, 即  $\text{Li}_{\text{Lu}}^-$ 、 $\text{Na}_{\text{Lu}}^-$ ,  $\text{Eu}^{3+}$  替代  $\text{Lu}^{3+}$  时形成正电性缺陷  $\text{Eu}_{\text{Lu}}^+$ , 根据电荷补偿机理, 正电荷缺陷会和负电荷缺陷相互抵消, 因此  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  的掺入可有效促使  $\text{Eu}^{3+}$  进入到  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  的晶格结构中, 起到敏化剂的作用<sup>[14,19]</sup>。其次,  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  可以作为助熔剂, 降低反应物的熔点。与不加  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  的样品相比, 同样温度下的表面缺陷和表面无辐射弛豫中心减少, 发光增强。碱金属离子掺入使晶体场对称性降低, 增大了  $\text{Eu}^{3+} 4f-4f$  电子跃迁几率, 也使得样品的发光增强。另外,  $\text{Lu}^{3+}$  离子半径为 0.085 nm,  $\text{Li}^+$  的离子半径为 0.076 nm,  $\text{Na}^+$  的离子半径为 0.102 nm。相对于  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Li}^+$  半径较小, 更容易进入到基质晶格当中, 促进了能量的传递; 而半径较大的  $\text{Na}^+$  主要分布在晶界, 只有少部分能够进入晶格取代  $\text{Lu}^{3+}$ , 所以单掺同样掺杂浓度的  $\text{Li}^+$  比单掺  $\text{Na}^+$  合成的  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  发光要强。在  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  共掺时, 产生的正电荷缺陷比单掺  $\text{Li}^+$  或  $\text{Na}^+$  的多, 导致更多的  $\text{Eu}^{3+}$  发光中心, 所以  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  共掺的  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  比单掺  $\text{Li}^+$  或  $\text{Na}^+$  的样品的发光要强。

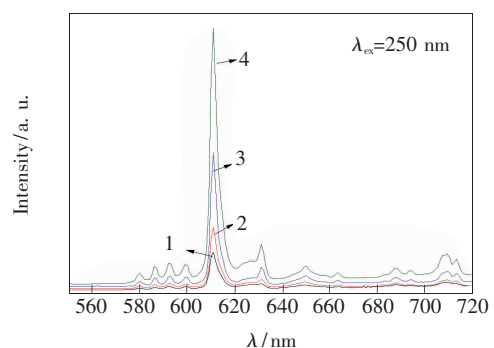


图 4 不同掺杂浓度的  $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$  和  $\text{Eu}^{3+}$  共掺  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  的发射光谱。

Fig. 4 Emission spectra of  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{Eu}^{3+}$  co-doped  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  with different concentrations.

温度对  $\text{Lu}_2\text{O}_3: 5\% \text{Eu}^{3+}, 2.5\% \text{Li}^+, 1\% \text{Na}^+$  粉末的发光强度影响如图 5 所示。当煅烧温度从 600 °C 上升到 800 °C 时, 样品的发光强度明显提高; 而当煅烧温度从 800 °C 上升到 1 000 °C 时, 样

品的发光反而减弱。当煅烧温度较低时,只有少量的 $\text{Eu}^{3+}$ 能进入到 $\text{Lu}_2\text{O}_3$ 的晶格结构中,所以随着温度的升高,反应完全,发光中心 $\text{Eu}^{3+}$ 浓度增加,发光增强。当温度升高到 $800\text{ }^\circ\text{C}$ 时, $\text{Lu}_2\text{O}_3:5\%\text{Eu}^{3+},2.5\%\text{Li}^+,1\%\text{Na}^+$ 粉末的发光强度达到

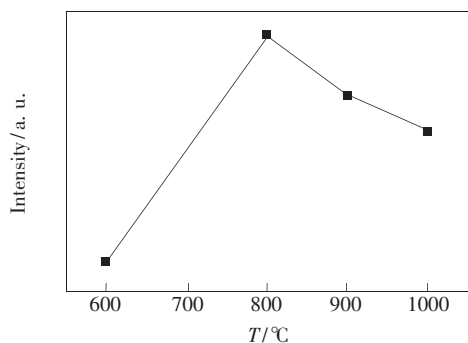


图5  $\text{Lu}_2\text{O}_3:5\%\text{Eu}^{3+},2.5\%\text{Li}^+,1\%\text{Na}^+$ 在不同温度下的发光强度

Fig.5 Emission intensity of  $\text{Lu}_2\text{O}_3:5\%\text{Eu}^{3+},2.5\%\text{Li}^+,1\%\text{Na}^+$  calcined at different temperature

最大。温度继续升高时,过高的温度导致晶粒继续长大,晶粒之间的接触面积增加,容易形成较大的团聚体颗粒,发光强度反而下降。

## 4 结 论

使用高温固相法制备了不同掺杂浓度的 $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Eu}^{3+}$ 共掺的 $\text{Lu}_2\text{O}_3$ 纳米粉体, $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Eu}^{3+}$ 阳离子的掺入不影响 $\text{Lu}_2\text{O}_3$ 的立方相结构。样品接近球形,颗粒度约为 $50\sim 80\text{ nm}$ 。当 $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 掺杂浓度为 $2.5\%$ 、 $1\%$ 时,在温度为 $800\text{ }^\circ\text{C}$ 的空气中煅烧 $2\text{ h}$ 制备的 $\text{Lu}_2\text{O}_3:5\%\text{Eu}^{3+}$ 样品的发光最强,其发光强度是同一条件下单掺 $2.5\%\text{Na}^+$ 的 $1.89$ 倍,是单掺 $2.5\%\text{Li}^+$ 的 $3.97$ 倍,是不掺 $\text{Na}^+$ 和 $\text{Li}^+$ 样品的 $6.43$ 倍。实验结果表明,掺杂 $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 可以有效改善基质材料的能量吸收和转移,提高 $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ 荧光粉的发光效率。

## 参 考 文 献:

- [1] 汪超,任国浩. 石榴石系列闪烁晶体的研究进展[J]. 硅酸盐学报, 2015, 43(7):882-891.  
WANG C, REN G H. Recent studies on garnet scintillation crystals [J]. *J. Chin. Ceram. Soc.*, 2015, 43(7):882-891. (in Chinese)
- [2] 张丽燕,蒋成勇. 不同方法制备 $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ 荧光粉体的研究[J]. 宁波大学学报(理工版), 2010, 23(3):95-98.  
ZHANG L Y, JIANG C Y. Study on  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}$  fluorescent powders prepared with different methods [J]. *J. Ningbo Univ. (Nat. Sci. Eng. Ed.)*, 2010, 23(3):95-98. (in Chinese)
- [3] CHO S H, LEE H W, MOON C W, *et al.*. Synthesis and characterization of  $\text{Eu}^{3+}$  doped  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  nanophosphor using a solution-combustion method [J]. *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, 2010, 53(2):171-175.
- [4] GRUZINTSEV A N, EMELCHENKO G A, YERMOLAYEVA Y V, *et al.*. Spontaneous and stimulated red luminescence of  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}$  nanocrystals [J]. *Phys. Solid State*, 2011, 53(6):1263-1268.
- [5] LI L, WANG X C, WEI X T, *et al.*. Influence of precipitant solution pH on the structural, morphological and upconversion luminescent properties of  $\text{Lu}_2\text{O}_3:2\%\text{Yb},0.2\%\text{Tm}$  nanopowders [J]. *Physica B: Condensed Matter*, 2011, 406(3):609-613.
- [6] MORALES RAMÍREZ A, GARCÍA HERNÁNDEZ M, YEPEZÁVILA J, *et al.*.  $\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Bi}^{3+}$  codoped  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  nanopowders: synthesis and luminescent properties [J]. *J. Mater. Res.*, 2013, 28(10):1365-1371.
- [7] 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]. *Chin. J. Inorg. Chem.*, 2012, 28(11):2335-2340. (in Chinese)
- [8] 郭如旺,郭常新.  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+}$ 粉末晶体发光性能的研究[J]. 中国稀土学报, 2007, 25(5):533-539.  
GUO R W, GUO C X. Luminescent properties of nano- and submicron-crystal  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Bi}^{3+}$  [J]. *J. Chin. Soc. Rare Earths*, 2007, 25(5):533-539. (in Chinese)
- [9] 周鼎,施鹰,云平,等. 不同沉淀剂对 $\text{Nd}^{3+}:\text{Lu}_2\text{O}_3$ 纳米粉体性能的影响[J]. 无机材料学报, 2009, 24(4):764-768.  
ZHOU D, SHI Y, YUN P, *et al.*. Effects of precipitants on the properties of  $\text{Nd}^{3+}:\text{Lu}_2\text{O}_3$  nano-powders [J]. *J. Inorg.*

- Mater.*, 2009, 24(4):764-768. (in Chinese)
- [10] 李艳平,余斌,代宇. 立方相  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  纳米晶的可控合成和发光性质 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2013, 49(3):371-376.  
LI Y P, YU B, DAI Y. Controlled synthesis and luminescent properties of cubic  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  nanocrystals [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2013, 49(3):371-376. (in Chinese)
- [11] 赵曼,钟玉荣,徐宝龙.  $\text{Lu}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  体系闪烁体材料研究进展 [J]. 化学与生物工程, 2013, 30(12):1-4.  
ZHAO M, ZHONG Y R, XU B L. Research progress in scintillator based on  $\text{Lu}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  system [J]. *Chem. Bioeng.*, 2013, 30(12):1-4. (in Chinese)
- [12] 赵世华. 稀土发光材料的合成、发光机理及今后展望 [J]. 化工新型材料, 2015, 43(1):213-215.  
ZHAO S H. Prospect for the future and summary of preparation methods for rare-earth materials and luminescent mechanisms [J]. *New Chem. Mater.*, 2015, 43(1):213-215. (in Chinese)
- [13] 马畅,李晓东,董宇,等.  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  和  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  单分散球形粉体合成及其荧光性能研究 [J]. 中国稀土学报, 2013, 31(4):457-464.  
MA C, LI X D, DONG Y, *et al.*. Monodispersed  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  and  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  spherical powders: synthesis *via* homogeneous precipitation method and its fluorescence properties [J]. *J. Chin. Soc. Rare Earths*, 2013, 31(4):457-464. (in Chinese)
- [14] 杨英,陈永杰,肖林久,等.  $\text{Sr}_3\text{B}_2\text{O}_6:\text{Eu}^{3+},\text{Li}^+$  荧光粉的合成与发光性能 [J]. 发光学报, 2014, 35(3):317-321.  
YANG Y, CHEN Y J, XIAO L J, *et al.*. Synthesis and luminescent properties of  $\text{Sr}_3\text{B}_2\text{O}_6:\text{Eu}^{3+},\text{Li}^+$  phosphor [J]. *Chin. J. Lumin.*, 2014, 35(3):317-321. (in Chinese)
- [15] ZHANG H, CHEN J D, GUO H. Electrospinning synthesis and luminescent properties of  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$  nanofibers [J]. *J. Rare Earths*, 2010, 28(10):232-235.
- [16] 朱俊韶.  $\text{LaPO}_4:\text{Eu}^{3+}$  发光材料的制备及发光性能研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.  
ZHU J S. *Study on Synthesis and Luminescent Properties of  $\text{LaPO}_4:\text{Eu}^{3+}$  Luminescence Materials* [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011. (in Chinese)
- [17] WANG L S, LIU S Q, HUANG K L, *et al.* Characterization and photoluminescence of  $\text{Lu}_2\text{O}_3\text{-Eu}^{3+}$  nano-phosphor prepared by modified solution combustion method [J]. *J. Rare Earths*, 2011, 29(11):1049-1052.
- [18] 王林香,祝恒江,尹氏.  $\text{Lu}_2\text{O}_3\text{-Eu}^{3+}$  纳米粉末及透明陶瓷的制备及其发光性能 [J]. 发光学报, 2011, 32(9):913-919.  
WANG L X, ZHU H J, YIN M. Fabrication and luminescent properties of  $\text{Eu}^{3+}$ -doped  $\text{Lu}_2\text{O}_3$  nanopowders and transparent ceramics [J]. *Chin. J. Lumin.*, 2011, 32(9):913-919. (in Chinese)
- [19] 柳春茹,刘新福,孙以材,等.  $\text{ZnO}/\text{Eu}^{3+}$  发光材料的高温固相合成及其发光性能 [J]. 化学研究, 2010, 21(6):53-56.  
LIU C R, LIU X F, SUN Y C, *et al.*. High-temperature solid phase synthesis of  $\text{ZnO}/\text{Eu}^{3+}$  luminous material and its luminous performance [J]. *Chem. Res.*, 2010, 21(6):53-56. (in Chinese)



虞娟(1990-),女,四川广安人,硕士研究生,2015年于新疆师范大学获得学士学位,主要从事纳米发光材料的研究。  
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,主要从事纳米发光材料的研究。  
E-mail: wanglinxiang23@126.com