

文章编号: 1000-7032(2014)11-1311-06

$\text{CaZrO}_3 : \text{Ln}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}^{3+}, \text{Sm}^{3+}, \text{Tb}^{3+}, \text{Dy}^{3+}, \text{Tm}^{3+}$) 荧光粉的制备与光谱调控

董晓睿¹, 付作岭^{2*}, 王长庚³, 张方程³

(1. 东北电力大学 理学院, 吉林 吉林 132012; 2. 吉林大学 物理学院, 吉林 长春 130012;

3. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 采用高温固相法合成了稀土离子 Pr^{3+} 、 Sm^{3+} 、 Tb^{3+} 、 Dy^{3+} 、 Tm^{3+} 掺杂的正交相 CaZrO_3 荧光粉。利用 X 射线粉末衍射 (XRD) 对样品的结构进行表征, 并通过荧光光谱对其发光性质进行了研究。在适当近紫外或蓝光激发下, $\text{CaZrO}_3 : \text{Pr}^{3+}$ 产生很强的绿光发射, $\text{CaZrO}_3 : \text{Sm}^{3+}$ 可发射 550 ~ 700 nm 的红橙光, Tm^{3+} 在 CaZrO_3 中可获得良好的蓝光发射。研究结果表明, 通过改变 CaZrO_3 中的掺杂离子可实现其发光颜色的调控, 稀土离子掺杂 CaZrO_3 荧光粉是很有潜力的新型发光材料。

关键词: CaZrO_3 ; 稀土离子; 发光性质; 光谱调控

中图分类号: O482.31 文献标识码: A DOI: 10.3788/fjxb20143511.1311

Synthesis and Spectral Tuning of $\text{CaZrO}_3 : \text{Ln}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}^{3+}, \text{Sm}^{3+}, \text{Tb}^{3+}, \text{Dy}^{3+}, \text{Tm}^{3+}$)

DONG Xiao-rui¹, FU Zuo-ling^{2*}, WANG Chang-geng³, ZHANG Fang-cheng³

(1. College of Science, Northeast Dianli University, Jilin 132012, China;

2. College of Physics, Jilin University, Changchun 130012, China;

3. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

* Corresponding Author, E-mail: zlfu@jlu.edu.cn

Abstract: The orthorhombic $\text{CaZrO}_3 : \text{Ln}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}^{3+}, \text{Sm}^{3+}, \text{Tb}^{3+}, \text{Dy}^{3+}, \text{Tm}^{3+}$) were successfully synthesized by solid-state reaction method. The crystalline structure of the samples were characterized by X-ray diffraction (XRD). The luminescence properties were investigated using photoluminescence spectra. Under appropriate near UV- or blue light-radiation, $\text{CaZrO}_3 : \text{Pr}^{3+}$ showed strong green light emission, $\text{CaZrO}_3 : \text{Sm}^{3+}$ showed well reddish orange light in the range of 550 – 700 nm, and $\text{CaZrO}_3 : \text{Tm}^{3+}$ generated well blue light emission. The results indicate that spectral tuning can be realized by adjusting active ions in CaZrO_3 , thus rare earth ions-doped CaZrO_3 phosphors can be exploited as new luminescence materials.

Key words: CaZrO_3 ; rare earth ions; optical properties; spectral tuning

1 引 言

稀土离子掺杂发光材料因其在固态激光器、照明和显示等领域的应用前景而备受关注^[1-4],寻找新型基质则成为提高稀土发光材料荧光性能的重要课题。钙钛矿氧化物是良好的基质材料,具有稳定的机械性能及物理化学性能,在固体氧化物燃料电池、氢气传感器、FED、PDP 及白光 LED 等领域都有潜在的应用价值^[5-8]。近年来,人们越来越关注稀土掺杂钙钛矿的发光性质,如稀土离子掺杂 CaSnO_3 ^[9-10]、 CaTiO_3 ^[6-7,11-12] 和 LaGaO_3 ^[13] 等。与其他材料相比,锆酸盐具有更好的稳定性,更适合作为基质材料。铁矿体 CaZrO_3 是以 CaO-ZrO_2 形式存在的唯一化合物,是典型的钙钛矿氧化物,因其良好的热电性质,如高熔点 (2 345 °C)、高介电常数及低损耗因子等,成为耐火材料和现代陶瓷的重要原材料^[14-17]。室温下 CaZrO_3 具有稳定的正交结构,存在轻微畸变的 $[\text{ZrO}_6]$ 正八面体和 $[\text{CaO}_8]$,在 1 750 °C CaZrO_3 发生相变,从正交结构向立方相转变^[18-21]。可见 CaZrO_3 具有很好的稳定性,适合作为荧光粉基质材料。而目前对稀土掺杂 CaZrO_3 的研究较少,因此我们选择 CaZrO_3 作为基质,采用固相法合成了一系列稀土离子 (Pr^{3+} 、 Sm^{3+} 、 Tb^{3+} 、 Dy^{3+} 、 Tm^{3+}) 掺杂的正交相 CaZrO_3 ,对不同激活离子在该基质中的发光性质进行了系统研究。

2 实 验

2.1 样品的制备

采用高温固相法制备 $\text{CaZrO}_3:Ln$ ($Ln = \text{Pr}^{3+}$ 、 Sm^{3+} 、 Tb^{3+} 、 Dy^{3+} 、 Tm^{3+})。按一定配比准确称取相应重量的 CaCO_3 、 ZrO_2 、 TiO_2 、 Pr_6O_{11} 、 Sm_2O_3 、 Tb_4O_7 、 Dy_2O_3 和 Tm_2O_3 ,放入玛瑙研钵中充分研磨混合后,转入刚玉坩埚中,先于 800 °C 预烧 4 h 后再次研磨,将 $\text{CaZrO}_3:Ln$ ($Ln = \text{Sm}^{3+}$ 、 Tm^{3+} 、 Dy^{3+}) 在空气环境下于 1 200 °C 煅烧 2 h,将 $\text{CaZrO}_3:Ln$ ($Ln = \text{Pr}^{3+}$ 、 Tb^{3+}) 在热碳还原气氛下于 1 200 °C 煅烧 2 h。

2.2 样品的表征

制得样品的晶体结构由 Rigaku D/max-II B X-Ray 衍射仪进行测定,采用 $\text{Cu K}\alpha$ 辐射线 ($\lambda = 0.154 06 \text{ nm}$) 作为辐射源。采用日立 F-7000 荧光光谱仪对样品的紫外和可见激发、发射光谱进

行测定,激发源为 150 W 的 Xe 灯。所有的测试均在室温条件下进行。

3 结果与讨论

3.1 样品结构分析

图 1 给出合成的 $\text{CaZrO}_3:Ln$ ($Ln = \text{Pr}^{3+}$ 、 Sm^{3+} 、 Tb^{3+} 、 Dy^{3+} 、 Tm^{3+}) XRD 图谱,数据结果与 JCPDS 标准卡 (No. 35-0790) 相吻合,图中微小的杂峰可能属于中间相 ZrO_2 和 CaZr_4O_9 ^[22-25],该微弱杂峰基本不会影响样品发光性质。XRD 数据证明所得样品均属于正交结构 CaZrO_3 ,具有空间群,晶格常数为 $a = 0.574 759 \text{ nm}$ 、 $b = 0.800 698 \text{ nm}$ 、 $c = 0.558 8 \text{ nm}$ 。

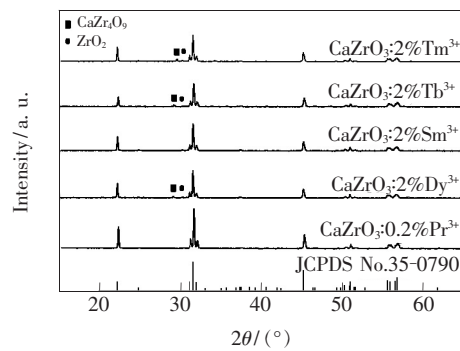


图 1 $\text{CaZrO}_3:Ln$ ($Ln = \text{Pr}^{3+}$ 、 Dy^{3+} 、 Sm^{3+} 、 Tb^{3+} 、 Tm^{3+}) 的 XRD 图谱

Fig. 1 XRD patterns of $\text{CaZrO}_3:Ln$ ($Ln = \text{Pr}^{3+}$ 、 Dy^{3+} 、 Sm^{3+} 、 Tb^{3+} 、 Tm^{3+})

3.2 稀土离子 (Pr^{3+} 、 Sm^{3+} 、 Tb^{3+} 、 Dy^{3+} 、 Tm^{3+}) 在 CaZrO_3 中的发光性质

3.2.1 $\text{CaZrO}_3:\text{Pr}^{3+}$ 的发光性质

图 2 给出 $\text{CaZrO}_3:0.2\% \text{Pr}^{3+}$ 的激发和发射光谱,以 495 nm 作为监测波长,所得激发光谱 (图 2

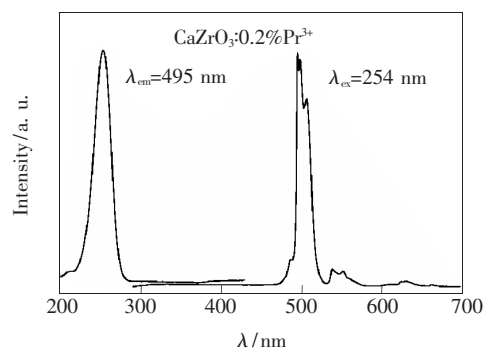


图 2 $\text{CaZrO}_3:0.2\% \text{Pr}^{3+}$ 的激发 (左) 和发射 (右) 光谱
Fig. 2 Photoluminescence excitation (left) and emission (right) spectra of $\text{CaZrO}_3:0.2\% \text{Pr}^{3+}$

左)主要是以 254 nm 为中心的宽带激发峰,源于 Pr^{3+} 的 $4f-5d$ 跃迁吸收。用 254 nm 作为激发波长,测得如图 2 右所示的荧光发射光谱,其主要发射峰是位于 495 nm 的 ${}^3\text{P}_0 \rightarrow {}^3\text{H}_4$ 跃迁。使用 1931 国际照明委员会色坐标对样品在 254 nm 激发下的发光颜色进行了分析,其 CIE 坐标为 (0.103, 0.541),位于绿光区域,表明 $\text{CaZrO}_3:\text{Pr}^{3+}$ 是具有应用潜力的绿色荧光粉。

3.2.2 $\text{CaZrO}_3:\text{Sm}^{3+}$ 的发光性质

图 3 左半部分为 $\text{CaZrO}_3:2\%\text{Sm}^{3+}$ 室温激发光谱,由一个宽激发带和几组锐利激发峰组成。200 ~ 250 nm 处的宽带激发是 $\text{Sm}^{3+}-\text{O}^{2-}$ 的电荷迁移宽带 (Charge transfer band, CTB) 吸收,在长波段存在的一系列锐利激发峰属于 Sm^{3+} 离子的 f-f 窄带跃迁吸收峰,其中最强的激发峰位于 410 nm。用 410 nm 作为激发波长测得的荧光发射光谱如图 3 右半部分所示,包含位于 567, 604, 647 nm 3 个发射峰,分别是 ${}^4\text{G}_{2/5} \rightarrow {}^6\text{H}_{5/2}$ 、 ${}^4\text{G}_{2/5} \rightarrow {}^6\text{H}_{7/2}$ 和 ${}^4\text{G}_{2/5} \rightarrow {}^6\text{H}_{9/2}$ 跃迁,其中位于 604 nm 的 ${}^4\text{G}_{2/5} \rightarrow {}^6\text{H}_{7/2}$ 跃迁最强,表明 $\text{CaZrO}_3:\text{Sm}^{3+}$ 具有良好的红橙色发光性质,有潜力成为光学显示用红橙色荧光粉。

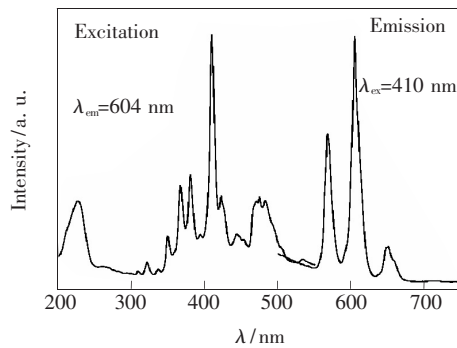


图 3 $\text{CaZrO}_3:2\%\text{Sm}^{3+}$ 的激发 (左) 和发射 (右) 光谱
Fig. 3 Photoluminescence excitation (left) and emission (right) spectra of $\text{CaZrO}_3:2\%\text{Sm}^{3+}$

3.2.3 $\text{CaZrO}_3:\text{Tb}^{3+}$ 的发光性质

图 4 所示为 $\text{CaZrO}_3:2\%\text{Tb}^{3+}$ 的激发和发射光谱。激发光谱在紫外波段 250 nm 附近存在一个强激发宽带,源于 Tb^{3+} 的 $4f^8-4f^75d^1$ 的跃迁,而不属于 $\text{Tb}^{3+}-\text{O}^{2-}$ 的电荷迁移带的吸收,因为 Tb^{3+} 的电荷迁移态能量要比 5d 态的能量高^[26-27]。发射光谱主要包括蓝光 (350 ~ 480 nm) 和绿光 (480 ~ 650 nm) 两部分的荧光发射,分别来源于 ${}^5\text{D}_3 \rightarrow {}^7\text{F}_J$

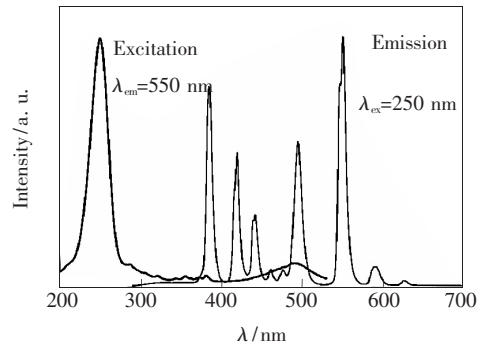


图 4 $\text{CaZrO}_3:2\%\text{Tb}^{3+}$ 的激发 (左) 和发射 (右) 光谱
Fig. 4 Photoluminescence excitation (left) and emission (right) spectra of $\text{CaZrO}_3:2\%\text{Tb}^{3+}$

($J=3,4,5,6$) 和 ${}^5\text{D}_4 \rightarrow {}^7\text{F}_J$ ($J=3,4,5,6$) 的跃迁。位于 385, 419, 441, 461 nm 的发射谱线分别来自于 ${}^5\text{D}_3 \rightarrow {}^7\text{F}_J$ ($J=6,5,4,3$) 跃迁,而位于 495, 550, 592, 625 nm 的发射谱线分别来自于 ${}^5\text{D}_4 \rightarrow {}^7\text{F}_J$ ($J=6,5,4,3$) 跃迁。在所有的发射峰中,位于 550 nm 的 ${}^5\text{D}_4 \rightarrow {}^7\text{F}_5$ 的绿光发射最强。

3.2.4 $\text{CaZrO}_3:\text{Dy}^{3+}$ 的发光性质

$\text{CaZrO}_3:2\%\text{Dy}^{3+}$ 的激发和发射光谱如图 5 所示。激发光谱是由一系列从基态 ${}^6\text{H}_{15/2}$ 到 $4f^9$ 电子组态的激发跃迁谱线组成,其中最强的激发峰是位于 356 nm 的 ${}^6\text{H}_{15/2} \rightarrow {}^6\text{P}_{7/2}$ 跃迁。用 356 nm 作为激发波长,得到的发射光谱包括以 486 nm (蓝光) 和 577 nm (黄光) 为中心的两个强发射峰,分别属于 ${}^4\text{F}_{9/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{15/2}$ 和 ${}^4\text{F}_{9/2} \rightarrow {}^6\text{H}_{13/2}$ 跃迁。由于适当比例的蓝光和黄光可复合成白光,所以 $\text{CaZrO}_3:\text{Dy}^{3+}$ 可产生近白光的荧光发射。

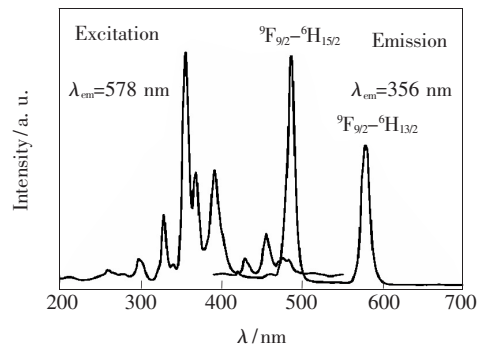


图 5 $\text{CaZrO}_3:2\%\text{Dy}^{3+}$ 的激发 (左) 和发射 (右) 光谱
Fig. 5 Photoluminescence excitation (left) and emission (right) spectra of $\text{CaZrO}_3:2\%\text{Dy}^{3+}$

3.2.5 $\text{CaZrO}_3:\text{Tm}^{3+}$ 的发光性质

$\text{CaZrO}_3:2\%\text{Tm}^{3+}$ 的激发光谱如图 6 所示,在

212 nm (B1) 和 362 nm (B2) 附近存在两个明显的激发峰, 分别归属于 CaZrO_3 的基质吸收带和 Tm^{3+} 离子 4f 结构内部的 $^3\text{H}_6 \rightarrow ^1\text{D}_2$ 跃迁吸收^[28]。在较强的激发带 B1 旁边存在强度较弱的肩峰, 可能是由于基质中的缺陷结构, 如氧空穴、非中心对称的 Zr^{4+} 等, 导致在基质带隙形成缺陷能级, 这种缺陷能级体现在激发光谱中形成如图 6 所示的肩峰光谱, 类似的缺陷结构同样存在于 $\text{SrZrO}_3:\text{Eu}^{3+}$ ^[29] 和 $\text{SrHfO}_3:\text{Tm}^{3+}$ ^[30] 中。

分别用激发中心 B1 和 B2 作为激发波长测得的 $\text{CaZrO}_3:\text{Tm}^{3+}$ 的荧光发射光谱在图 7 和图 8 中给出。以 212 nm (B1) 作为激发波长时, 发射光

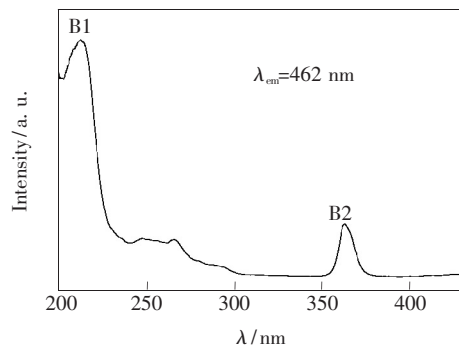


图 6 $\text{CaZrO}_3:2\% \text{Tm}^{3+}$ 的激发光谱

Fig. 6 Excitation spectrum of $\text{CaZrO}_3:2\% \text{Tm}^{3+}$

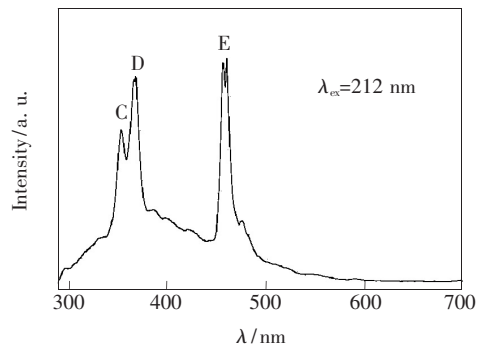


图 7 $\text{CaZrO}_3:2\% \text{Tm}^{3+}$ 的荧光发射光谱, $\lambda_{\text{ex}} = 212 \text{ nm}$ 。

Fig. 7 Emission spectrum of $\text{CaZrO}_3:2\% \text{Tm}^{3+}$, $\lambda_{\text{ex}} = 212 \text{ nm}$.

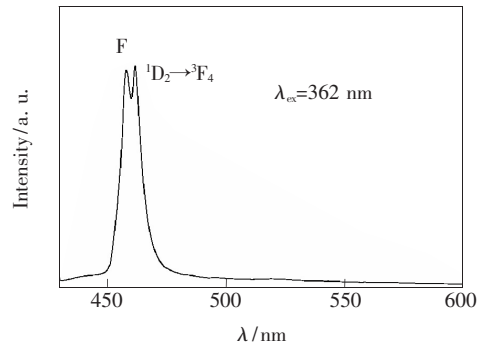


图 8 $\text{CaZrO}_3:2\% \text{Tm}^{3+}$ 的荧光发射光谱, $\lambda_{\text{ex}} = 362 \text{ nm}$ 。

Fig. 8 Emission spectrum of $\text{CaZrO}_3:2\% \text{Tm}^{3+}$, $\lambda_{\text{ex}} = 362 \text{ nm}$.

谱包括位于 355 (C), 370 (D), 462 (E) nm 的发射峰, 其中 C 和 D 的发射谱线分别来自于 Tm^{3+} 的 $^1\text{D}_2 \rightarrow ^3\text{H}_6$ 和 $^3\text{P}_0 \rightarrow ^3\text{H}_5$ 跃迁, 发射峰 E 则属于 $^3\text{P}_0 \rightarrow ^3\text{F}_3$ 的跃迁。以 362 nm (B2) 作为激发波长时, 产生的发射光谱相对简单, 仅有位于 462 nm 的发射峰 (F), 源于 $^1\text{D}_2 \rightarrow ^3\text{F}_4$ 跃迁。可见, 在适当紫外光激发下, $\text{CaZrO}_3:\text{Tm}^{3+}$ 会产生蓝光发射, 是有应用潜力的蓝色荧光材料。

综上所述, 在适当近紫外光或蓝光激发下, 改变掺杂离子 (Pr^{3+} , Sm^{3+} , Tb^{3+} , Dy^{3+} , Tm^{3+}) 种类, CaZrO_3 可产生绿、蓝、橙红的荧光发射, 有潜力成为新型发光基质材料, 实现可调控的彩色荧光输出。

4 结 论

采用高温固相法合成了正交相 $\text{CaZrO}_3:\text{Ln}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}^{3+}$, Sm^{3+} , Tb^{3+} , Dy^{3+} , Tm^{3+}) 荧光粉, 对样品的发光性质进行了研究。研究表明, 稀土离子在 CaZrO_3 中可以得到良好的蓝、绿、橙红色发光, 在适当近紫外光或蓝光激发下, 可通过改变 CaZrO_3 中的掺杂离子实现其发光颜色的调控, 是很有应用潜力的新型发光材料。

参 考 文 献:

- [1] Gordon W O, Carter J A, Tissue B M. Long-lifetime luminescence of lanthanide-doped gadolinium oxide nanoparticles for immunoassays [J]. *J. Lumin.*, 2004, 108(1-4):339-342.
- [2] Puchalska M, Zych E. The effect of charge compensation by means of Na^+ ions on the luminescence behavior of Sm^{3+} -doped CaAl_4O_7 phosphor [J]. *J. Lumin.*, 2012, 132(3):826-831.
- [3] Zhang S Y, Nakai Y, Tsuboi T, et al. Luminescence and microstructural features of Eu-activated LiBaPO_4 phosphor [J]. *Chem. Mater.*, 2011, 23(5):1216-1224.

- [4] Zhang J H, Lv W, Hao Z D, *et al.* Color-tunable white-light emitting $\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{30}:\text{Eu}^{2+}, \text{Tb}^{3+}, \text{Mn}^{2+}$ phosphors *via energy transfer* [J]. *Chin. Opt.* (中国光学), 2012, 5(3):203-208 (in Chinese).
- [5] Iwahara H, Asakura Y, Katahira K, *et al.* Prospect of hydrogen technology using proton-conducting ceramic [J]. *Solid State Ionics*, 2004, 168(3-4):299-310.
- [6] Zhang H, Fu X, Niu S, *et al.* Synthesis and photoluminescence properties of Eu^{3+} -doped AZrO_3 ($A = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$) perovskite [J]. *J. Alloys Compd.*, 2008, 459(1-2):103-106.
- [7] Pan Y, Su Q, Xu H, *et al.* Synthesis and red luminescence of Pr^{3+} -doped CaTiO_3 nanophosphor from polymer precursor [J]. *J. Solid State Chem.*, 2003, 174(1):69-73.
- [8] Lemanski K, Gagor A, Kurnatowska M, *et al.* Spectroscopic properties of Nd^{3+} ions in nano-perovskite CaTiO_3 [J]. *J. Solid State Chem.*, 2011, 184(10):2713-2718.
- [9] Zhang J S, Chen B J, Liang Z Q, *et al.* Optical transition and thermal quenching mechanism in $\text{CaSnO}_3:\text{Eu}^{3+}$ phosphors [J]. *J. Alloys Compd.*, 2014, 612(5):204-205.
- [10] He G G, Liu Y L, Lei B F. Luminescence properties of $\text{CaSnO}_3:\text{Pr}^{3+}$ perovskite phosphor [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2007, 28(3):389-392 (in Chinese).
- [11] Ha M G, Byeon M R, Hong T E, *et al.* Sm^{3+} -doped CaTiO_3 phosphor: Synthesis, structure, and photoluminescent properties [J]. *Ceram. Int.*, 2012, 38(2):1365-1370.
- [12] Wu Y B, Sun Z, Ruan K B, *et al.* Structural and optical properties of $\text{Ca}_{0.88}\text{TiO}_3:0.12\text{Eu}^{3+}$ red phosphors [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2014, 35(8):932-938 (in Chinese).
- [13] Liu X M, Lin J. $\text{LaGaO}_3:A$ ($A = \text{Sm}^{3+}$ and/or Tb^{3+}) as promising phosphors for field emission displays [J]. *J. Mater. Chem.*, 2008, 18(2):221-228.
- [14] Rog G, Dudek M, Rog A K, *et al.* Calcium zirconate: Preparation, properties and application to the solid oxide galvanic cells [J]. *Electrochim. Acta*, 2002, 47(28):4523-4529.
- [15] Yu T, Chen C H, Chen X F, *et al.* Fabrication and characterization of perovskite CaZrO_3 oxide thin films [J]. *Ceram. Int.*, 2004, 30(7):1279-1282.
- [16] Lee W J, Wakahara A, Kim B H. Decreasing of CaZrO_3 sintering temperature with glass frit addition [J]. *Ceram. Int.*, 2005, 31(7):521-524.
- [17] Szczerba J, Pezich Z. The effect of natural dolomite admixtures on calciumzirconate-periclase materials microstructure evolution [J]. *Ceram. Int.*, 2010, 36(2):535-547.
- [18] Ross N L, Chaplin T D. Compressibility of CaZrO_3 perovskite: Comparison with Ca-oxide perovskite original research article [J]. *J. Solid State Chem.*, 2003, 172(1):123-126.
- [19] Stoch P, Szczerba J, Lis J, *et al.* Crystal structure and abinito calculations of CaZrO_3 [J]. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2012, 32(3):665-670.
- [20] Hou Z F. Abignition calculations of elastic modulus and electronic structures of cubic CaZrO_3 [J]. *Phys. B*, 2008, 403(17):2624-2628.
- [21] Ianos R, Barvinschi P. Solution combustion synthesis of calcium zirconate, CaZrO_3 , powders [J]. *J. Solid State Chem.*, 2010, 183(3):491-496.
- [22] Rij L V, Winnubst L, Jun L, *et al.* Analysis of the preparation of In-doped CaZrO_3 using a peroxo-oxalate complexation method [J]. *J. Mater. Chem.*, 2000, 10(11):2515-2521.
- [23] Yu T, Chen C H, Lu Y K, *et al.* Preparation of sol-gel-derived $\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x\text{ZrO}_3$ perovskite dielectric thin films [J]. *J. Electroceram.*, 2007, 18(1-2):149-154.
- [24] Zhou M H, Ahmad A, Sol-gel processing of In-doped CaZrO_3 solid electrolyte and the impedimetric sensing characteristics of humidity and hydrogen [J]. *Sens. Actuat. B*, 2008, 129(1):285-291.
- [25] Du Q Q, Zhou G J, Zhou J, *et al.* Enhanced photoluminescence of $\text{CaZrO}_3:\text{Er}^{3+}$ by efficient energy transfer from Ce^{3+} [J]. *Mater. Res. Bull.*, 2012, 47(11):3774-3779.
- [26] Hao Z D, Zhang J H, Zhang X, *et al.* Blue-green-emitting phosphor $\text{CaSc}_2\text{O}_4:\text{Tb}^{3+}$: Tunable luminescence manipulated by cross-relaxation [J]. *J. Electrochem. Soc.*, 2009, 156(3):H193-H196.
- [27] Nugent L J, Baybarz R D, Burnett J L, *et al.* Electron-transfer and f-d absorption bands of some lanthanide and actinide

- complexes and the standard (II-III) oxidation potential for each member of the lanthanide and actinide series [J]. *J. Phys. Chem.*, 1973, 77(12):1528-1539.
- [28] Zhang H W, Fu X Y, Niu S Y, *et al.* Blue luminescence of nanocrystalline $\text{CaZrO}_3:\text{Tm}^{3+}$ phosphors synthesized by a modified Pechini sol-gel method [J]. *J. Lumin.*, 2008, 128(8):1348-1352.
- [29] Zhang A Y, Lv M K, Wang S F, *et al.* Novel photoluminescence of SrZrO_3 nanocrystals synthesized through a facile combustion method [J]. *J. Alloys Compd.*, 2007, 433(1-2):L7-L11.
- [30] Yamamoto H, Mikami M, Shimomura Y, *et al.* Host-to-activator energy transfer in a new blue-emitting phosphor $\text{SrHfO}_3:\text{Tm}^{3+}$ [J]. *J. Lumin.*, 2000, 87-89(5):1079-1082.



董晓睿(1985 -),女,吉林省吉林市人,博士,讲师,2013年于吉林大学获得博士学位,主要从事稀土发光材料方面的研究。
E-mail: xiaoruidong@yeah.net



付作岭(1979 -),女,内蒙古赤峰人,博士,教授,2006年于中国科学院长春应用化学研究所获得博士学位,主要从事光电功能材料方面的研究。
E-mail: zlfu@jlu.edu.cn

《发 光 学 报》

——EI 核心期刊 (物理学类; 无线电电子学、电信技术类)

《发光学报》是中国物理学会发光分会与中国科学院长春光学精密机械与物理研究所共同主办的中国物理学会发光分会的学术会刊。该刊是以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于1980年创刊,曾于1992年,1996年,2000年和2004年连续四次被《中文核心期刊要目总览》评为“物理学类核心期刊”,并于2000年同时被评为“无线电电子学、电信技术类核心期刊”。2000年获中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA)自1999年;美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ)自2000年;美国《剑桥科学文摘社网站》自2002年;日本《科技文献速报》(CBST, JICST)自2003年已定期收录检索该刊论文;2008年被荷兰“Elsevier Bibliographic Databases”确定为源期刊;2010年被美国“EI”确定为源期刊。2001年在国家科技部组织的“中国期刊方阵”的评定中,《发光学报》被评为“双效期刊”。2002年获中国科学院2001~2002年度科学出版基金“择重”资助。2004年被选入《中国知识资源总库·中国科技精品库》。本刊内容丰富、信息量大,主要反映本学科专业领域的科研和技术成就,及时报道国内外的学术动态,开展学术讨论和交流,为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》自2011年改为月刊,A4开本,144页,国内外公开发行。国内定价:40元,全年480元,全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用,踊跃投稿。

地 址:长春市东南湖大路3888号
《发光学报》编辑部
邮 编:130033
电 话:(0431)86176862, 84613407
E-mail: fgxbt@126.com

国内统一刊号: CN 22-1116/O4
国际标准刊号: ISSN 1000-7032
国内邮发代号: 12-312
国外发行代号: 4863BM
http://www.fgxb.org