

# LED用黄绿色荧光粉 $\text{LiZnPO}_4:\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Al}^{3+}$ 的合成及 $\text{Al}^{3+}$ 敏化发光研究

农荣<sup>1,2,3</sup>, 黄映恒<sup>2</sup>, 卢科<sup>1</sup>, 廖森<sup>1</sup>, 谭鸿禹<sup>2</sup>

1. 广西大学化学化工学院, 南宁 530004

2. 广西大学材料工程学院, 南宁 530004

3. 广西理工职业技术学院, 崇左 532200

**摘要** 为了获得可用于发光二极管(LED)的新型黄绿色荧光粉,用高温固相法合成了 $\text{Li}_{1-x}\text{Zn}_{0.9-x}\text{PO}_4:\text{Mn}_{0.1}, \text{Al}_x$ 系列的荧光粉。用XRD表征并分析了样品,获悉样品具有 $\text{LiZnPO}_4$ 的结构。用荧光发射光谱及激发光谱表征了样品的发光性能,讨论了 $\text{Al}^{3+}$ 掺杂对 $\text{LiZnPO}_4:\text{Mn}$ , $\text{Al}$ 荧光粉发光性能的影响。结果表明: $\text{Al}^{3+}$ 掺杂量对激发及发射光强度的影响均为开口向下、有极值的抛物线, $\text{Al}^{3+}$ 的最佳掺杂量为3%,对应样品是 $\text{Li}_{0.97}\text{Zn}_{0.87}\text{PO}_4:\text{Mn}_{0.1}, \text{Al}_{0.03}$ ;  $\text{Al}^{3+}$ 最佳掺杂量样品的发光强度是未掺 $\text{Al}^{3+}$ 样品的3.98倍,说明在 $\text{LiZnPO}_4$ 基质中 $\text{Al}^{3+}$ 对 $\text{Mn}^{2+}$ 的发光具有增敏作用; $\text{Al}^{3+}$ 的掺入只影响 $\text{Mn}^{2+}$ 的发光强度,不影响 $\text{Mn}^{2+}$ 的发光模式。 $\text{Li}_{0.97}\text{Zn}_{0.87}\text{PO}_4:\text{Mn}_{0.1}, \text{Al}_{0.03}$ 的色坐标值表明,该样品为黄绿色荧光粉,其在紫外线激发LED领域具有潜在的应用前景。

**关键词** 无机化合物;磷酸盐;荧光粉;发光;光学材料

**中图分类号** O614

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.13.001

## Synthesis and $\text{Al}^{3+}$ sensitized luminescence of green-yellow emitting phosphor $\text{LiZnPO}_4:\text{Mn}^{2+}, \text{Al}^{3+}$ for LED

NONG Rong<sup>1,2,3</sup>, HUANG Yingheng<sup>2</sup>, LU Ke<sup>1</sup>, LIAO Sen<sup>1</sup>, TAN Hongyu<sup>2</sup>

1. School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China

2. School of Materials Science and Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China

3. Guangxi Polytechnic Vocational and Technical College, Chongzuo 532200, China

**Abstract** A series of  $\text{Li}_{1-x}\text{Zn}_{0.9-x}\text{PO}_4:\text{Mn}_{0.1}, \text{Al}_x$  phosphors are prepared by the solid-state method to obtain a new green-yellow phosphor that can be applied for the light emitting diodes (LED). XRD results confirm that the samples contain  $\text{LiZnPO}_4$  phase of crystals. Photoluminescence properties of the samples are characterized with photoluminescence of excitation (PLE) and emission spectra (PL), and the effect of  $\text{Al}^{3+}$  doping on the PL and PLE properties of  $\text{Li}_{1-x}\text{Zn}_{0.9-x}\text{PO}_4:\text{Mn}_{0.1}, \text{Al}_x$  phosphors is discussed. The results indicate that the dependent curve of relative intensity for PLE and PL on  $\text{Al}^{3+}$  doping concentration is a parabola curve with mouth downward and maximum value, and the optimal molar concentration of  $\text{Al}^{3+}$  for the samples is 3%, with corresponding sample being  $\text{Li}_{0.97}\text{Zn}_{0.87}\text{PO}_4:\text{Mn}_{0.1}, \text{Al}_{0.03}$ . The research results indicate that the peak area of emission bands of  $\text{Li}_{1-x}\text{Zn}_{0.9-x}\text{PO}_4:\text{Mn}_{0.1}, \text{Al}_x$  with the optimal  $x$  is 3.98 times of that of sample with  $x=0$ . The fact suggests that the  $\text{Al}^{3+}$  ions can enhance the emission of  $\text{Mn}^{2+}$ . Furthermore,  $\text{Al}^{3+}$  doping only affects the intensity of  $\text{Mn}^{2+}$  emission, and cannot influence its mode. The value for chromaticity coordinate of  $\text{Li}_{0.97}\text{Zn}_{0.87}\text{PO}_4:\text{Mn}_{0.1}, \text{Al}_{0.03}$  indicates that it is a green-yellow emitting phosphor, which can be potentially useful as a UV excited phosphor for LEDs.

**Keywords** inorganic compounds; phosphates; phosphor; luminescence; optical materials

收稿日期:2015-04-02;修回日期:2015-05-08

基金项目:广西自然科学基金项目(2012GXNSFAA053019);南宁市科技型中小企业技术创新资金项目(20126266)

作者简介:农荣,副教授,研究方向为材料化学,电子邮箱:1245391642@qq.com;廖森(通信作者),教授,研究方向为无机功能材料化学,电子邮箱:

liaosen@gxu.edu.cn

引用格式:农荣,黄映恒,卢科,等.LED用黄绿色荧光粉 $\text{LiZnPO}_4:\text{Mn}^{2+}, \text{Al}^{3+}$ 的合成及 $\text{Al}^{3+}$ 敏化发光研究[J].科技导报,2015,33(13):13-16.

因 $ABPO_4$ 型(A和B分别代表一价阳离子及二价阳离子)的过渡金属磷酸盐在离子交换,吸附、分离、离子电导、异相催化及光学性能等方面具有重大的应用前景,故近年来这些磷酸盐合成及表征备受人们关注<sup>[1-11]</sup>。近年报道表明,诸如 $Eu^{3+}$ 掺杂 $LiMgPO_4$ <sup>[12]</sup>、 $NaCaPO_4$ <sup>[13-15]</sup>、 $LiSrPO_4$ <sup>[16]</sup>、 $LiBaPO_4$ <sup>[17]</sup>、 $NaBaPO_4$ <sup>[18,19]</sup>、 $KBaPO_4$ <sup>[20]</sup>、 $KSrPO_4$ <sup>[21]</sup>等 $ABPO_4$ 型磷酸盐新型发光材料均可应用于白光发光二极管(LEDs),说明 $ABPO_4$ 型磷酸盐是一类良好的发光基质。另外,Chan等<sup>[10]</sup>用固相反应合成了 $LiZn_{1-x}PO_4:Mn_x$ ( $0 < x \leq 0.22$ ),这是一种新颖的、可用于发光二极管(LED)的黄绿色荧光粉。Liao等<sup>[11]</sup>报道黄绿色荧光粉 $LiZn_{0.9}PO_4:Mn_{0.1}$ 可通过热分解相应的水合前驱体而得到。令人感兴趣的是 $Al^{3+}$ 对某些稀土掺杂的荧光粉发光具有增强作用<sup>[22-24]</sup>。这意味着 $Al^{3+}$ 对黄色荧光粉 $LiZn_{1-x}PO_4:Mn_x$ 的发光也会有增强作用,但鲜见有相关的报道,故有必要在这方面进行相应的研究。

本研究用普通的固相反应在高温下合成 $Mn^{2+}$ , $Al^{3+}$ 共掺的 $LiZnPO_4$ 荧光粉。用X-射线粉末衍射(XRD)表征样品的结构。用激发光谱及发射光谱测定样品的发光性能。

## 1 实验方法及步骤

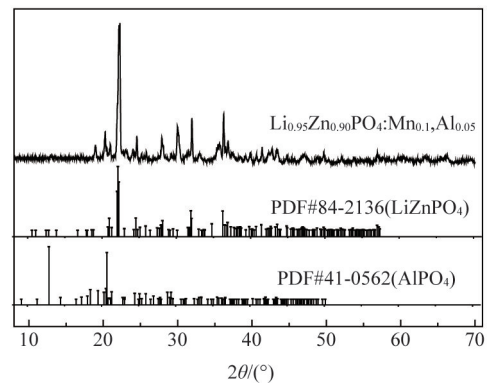
所用化学药品购自中国国药化学试剂有限公司,且均为分析纯。X-射线粉末衍射(XRD)用日本理学(RigakuD/Max-2500V)X射线衍射仪(配有石墨单色器, $CuK\alpha$ , $\lambda=0.154178$  nm)测试。激发光谱(PLE)及发射光谱(PL)用岛津RF-53001分光光度计(氙灯作为激发源)在室温下测试。

以 $Zn(Ac)_2 \cdot 2H_2O$ ,  $(NH_4)_3PO_4 \cdot 3H_2O$ ,  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ ,  $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ ,  $LiOH \cdot H_2O$ 为反应起始原料,在高温下通过固相反应合成 $Li_{1-x}Zn_{0.9-x}PO_4:Mn_{0.1}, Al_x$ 。以 $Li_{0.95}Zn_{0.85}PO_4:Mn_{0.1}, Al_{0.05}$ 的合成为例,步骤如下:按物质的量比 $Li:Zn:Mn:Al:P=0.95:0.85:0.10:0.05:1.00$ ,用电子天平分别称取 $Zn(Ac)_2 \cdot 2H_2O$ (25.5 mmol, 5.60 g),  $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ (3 mmol, 0.59 g),  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ (1.5 mmol, 0.37 g)的粉末于一个陶瓷研钵中,混合研磨均匀。再称取 $(NH_4)_3PO_4 \cdot 3H_2O$ (30 mmol, 6.09 g)粉末,分3次加入到上述混合物中,研磨均匀后加入 $LiOH \cdot H_2O$ (28.5 mmol, 1.19 g)粉末,充分研磨30 min,放入烘箱中于 $110^\circ C$ 保温3 h得到活性前驱体。将烘干的前驱体研碎,置于瓷坩锅中,然后放入马弗炉于 $300^\circ C$ 焙烧3 h,将其中的 $NH_3$ 等气体产物排出体系,再将马弗炉升温至 $780^\circ C$ 并焙烧3 h,得到煅烧产物 $Li_{0.95}Zn_{0.85}PO_4:Mn_{0.1}, Al_{0.05}$ 。其他 $Li_{1-x}Zn_{0.9-x}PO_4:Mn_{0.1}, Al_x$ ( $x$ 取0~0.05)样品的合成方法、步骤与 $Li_{0.95}Zn_{0.85}PO_4:Mn_{0.1}, Al_{0.05}$ 相同。

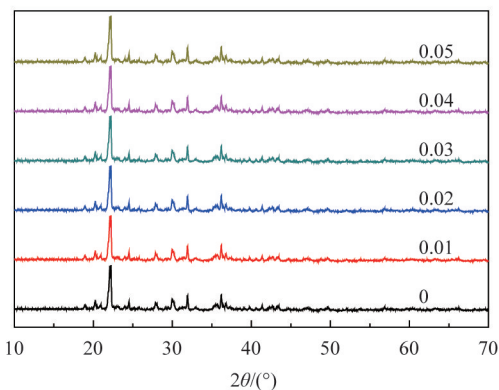
## 2 结果与讨论

$780^\circ C$ 焙烧3 h得到 $Li_{1-x}Zn_{0.9-x}PO_4:Mn_{0.1}, Al_x$ 样品的XRD如图1所示。图1(a)表明, $780^\circ C$ 焙烧3 h后, $Li_{0.95}Zn_{0.85}PO_4:Mn_{0.1}, Al_{0.05}$ 样品主要是 $LiZnPO_4$ 相,伴有少量的 $AlPO_4$ 相,但未观察到 $LiMnPO_4$ 相及其他杂相的出现,说明 $LiMnPO_4$ 与 $LiZnPO_4$ 已形成固溶体,即 $Mn^{2+}$ 已均匀地取代并占据 $Zn^{2+}$ 的晶格位置。

其衍射峰经指标化后得到晶胞参数: $a=1.726598(1)$  nm,  $b=0.973785(5)$  nm,  $c=1.709213(1)$  nm,  $\alpha=\gamma=90^\circ$ ,  $\beta=111.03^\circ$ ,这与84-2136号PDF所对应之单斜晶系的 $LiZnPO_4$ 是一致的(空间群为Cc(9),晶胞参数 $a=1.7266$  nm,  $b=0.9738$  nm,  $c=1.7092$  nm,  $\alpha=\gamma=90^\circ$ ,  $\beta=111.03^\circ$ ),这表明 $Li_{0.95}Zn_{0.85}PO_4:Mn_{0.1}, Al_{0.05}$ 的结构与单斜晶系 $LiZnPO_4$ 的相同。图1(b)为 $Li_{1-x}Zn_{0.9-x}PO_4:Mn_{0.1}, Al_x$ 样品的XRD图,与 $Li_{0.95}Zn_{0.85}PO_4:Mn_{0.1}, Al_{0.05}$ 的相同,当 $x=0$ 时, $12.9^\circ$ 的 $AlPO_4$ 峰消失了。



(a)  $x=0.05$



(b)  $x$ 取0~0.05

图1  $Li_{1-x}Zn_{0.9-x}PO_4:Mn_{0.1}, Al_x$ 的XRD

Fig. 1 XRD pattern of  $Li_{1-x}Zn_{0.9-x}PO_4:Mn_{0.1}, Al_x$

用jade 6.0软件进行半定量的计算,结果表明 $AlPO_4$ 相物质的量比为0.54%,鉴于Al的掺杂量(物质的量比)只有5%,该结果说明有89.2%的Al进入了晶格。图2显示的是用激发光谱(PLE)及发射光谱(PL)对比研究 $Li_{0.97}Zn_{0.87}PO_4:Mn_{0.1}, Al_{0.03}$ 及 $Li_{0.90}Zn_{0.90}PO_4:Mn_{0.1}$ 两个样品的荧光性质(每次测量时样品槽中所加的样品量均保持一致)。从图2中的左边曲线可以看出激发光谱范围是350~500 nm,位于350、373、413、431及462 nm处有5个明显的激发峰,其中413nm的峰为最强激发峰。这些峰分别对应于 $Mn^{2+}$ 从 ${}^6A_1({}^6S)$ 基态到 ${}^4E({}^4D)$ ,  ${}^4T_2({}^4D)$ ,  ${}^4A_1({}^4G)$ ,  ${}^4E({}^4G)$ ,  ${}^4T_1({}^4G)$ ,及 ${}^4T_1({}^4G)$ 激发态的跃迁<sup>[25, 26]</sup>。图2右边曲线显示的是在413 nm激发下的发射光谱,可以看出发射光谱含有一个宽大对称的发射峰(500~630 nm),其中心位置是550~560 nm,这可归属为 $Mn^{2+}$ 离子自旋禁阻之 $d-d$ 跃迁( ${}^4G \rightarrow {}^6A_1({}^6S)$ )<sup>[25, 26]</sup>。此外,从图2可见, $Al^{3+}$ 的掺杂只影响 $Mn^{2+}$

离子激发光及发射光谱的强度,而不影响激发光及发射光谱的形状及位置,说明 $Al^{3+}$ 掺杂后在 $LiZnPO_4$ 基质中 $Mn^{2+}$ 的电子结构仍处于与自旋禁阻相对应的高自旋状态。另外,样品 $Li_{0.97}Zn_{0.87}PO_4:Mn_{0.1}, Al_{0.03}$ 发射峰的面积(以PL曲线中506及630 nm这两点的连线为基线,用origin对506~630 nm范围的发射峰进行积分而得)是样品 $Li_{0.90}Zn_{0.90}PO_4:Mn_{0.1}$ 的3.98倍,这表明在 $LiZnPO_4$ 基质中 $Al^{3+}$ 可增强 $Mn^{2+}$ 的发光。

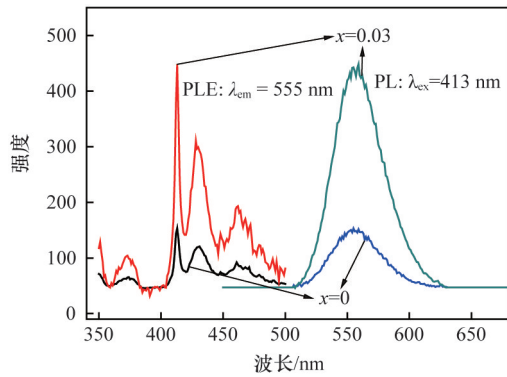


图2  $Li_{1-x}Zn_{0.9-x}PO_4:Mn_{0.1}, Al_x$ 的激发光谱及发射光谱图( $x=0, x=0.03$ )

Fig. 2 PLE and PL spectra of  $Li_{1-x}Zn_{0.9-x}PO_4:Mn_{0.1}, Al_x$  ( $x=0, x=0.03$ )

$Al^{3+}$ 掺杂量对 $Li_{1-x}Zn_{0.9-x}PO_4:Mn_{0.1}, Al_x$ 样品之激发光谱及发射光谱影响的曲线如图3所示。

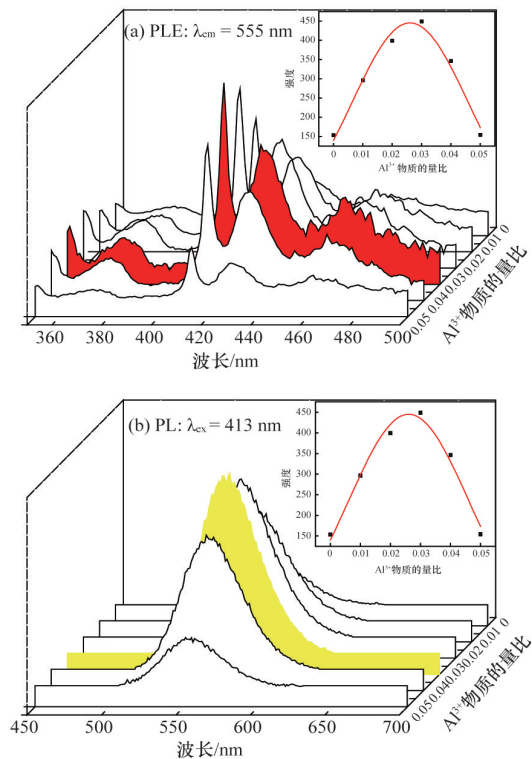


图3  $Al^{3+}$ 掺杂量对激发谱及发射光谱的影响

Fig. 3 Effect of  $Al^{3+}$  doping concentration on PLE and PL spectra

在图3(a)激发光谱图中清晰地呈现了5组激发光谱的激发峰,在图3(b)发射光谱图中也清晰地展示了一个宽大的发射峰。由图3还进一步的可见,无论是 $Al^{3+}$ 掺杂量激发光谱还是发射光谱强度的影响均为开口向下,有极大值的抛物线,最佳掺杂量 $x=3%$ ,超过该最佳掺杂量后, $Al^{3+}$ 的掺入对荧光反而起到猝灭作用。图3表明, $Al^{3+}$ 有效掺杂量比较小,掺入物质的量比仅为3%,荧光的增强也未超过4倍,所以如果希望在 $LiZnPO_4$ 基质中让 $Mn^{2+}$ 发出更强的荧光,还需继续尝试用其他的增敏离子去代替 $Al^{3+}$ 作为增强敏化离子。基于发射光谱的数据,用CIE法(Commission International de l'Eclairage, France)计算了样品 $Li_{1-x}Zn_{0.9-x}PO_4:Mn_{0.1}, Al_x$ 在最佳掺杂量时,即样品 $Li_{0.97}Zn_{0.87}PO_4:Mn_{0.1}, Al_{0.03}$ 的色坐标值。由图4可见,该样品所对应的色坐标值为 $x=0.4, y=0.59$ ,故其为黄绿色发光荧光粉。

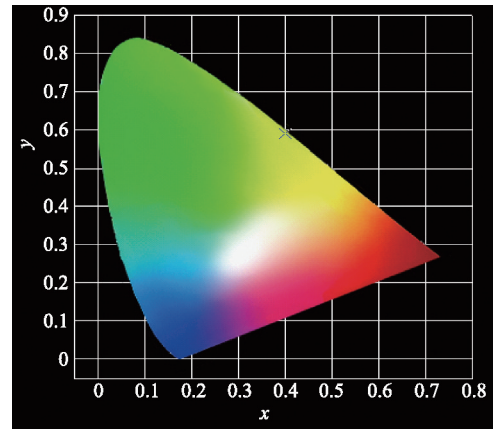


图4 最佳掺杂值( $x=0.03$ )对应的CIE色坐标图

Fig. 4 CIE chromaticity diagram under the optimal value of ( $x=0.03$ )

### 3 结论

用高温固相法合成了 $Li_{1-x}Zn_{0.9-x}PO_4:Mn_{0.1}, Al_x$ 系列的荧光粉。用XRD表征并分析了样品,获悉样品具有 $LiZnPO_4$ 的结构。讨论了 $Al^{3+}$ 掺杂对 $LiZnPO_4:Mn, Al$ 荧光粉发光性能的影响。结果表明 $Al^{3+}$ 掺杂量对激发及发射光强度的影响均为开口向下,有极值抛物线, $Al^{3+}$ 最佳掺杂量为3%,所对应的荧光粉样品为 $Li_{0.97}Zn_{0.87}PO_4:Mn_{0.1}, Al_{0.03}$ 。对比研究结果表明, $Al^{3+}$ 的最佳掺杂量样品的发光强度是未掺 $Al^{3+}$ 样品的3.98倍,说明在 $LiZnPO_4$ 基质中 $Al^{3+}$ 对 $Mn^{2+}$ 的发光具有增敏作用。另外, $Al^{3+}$ 的掺入只影响 $Mn^{2+}$ 的发光强度,不影响 $Mn^{2+}$ 的发光模式,即激发光与发光的波长及形状均未改变,说明 $Al^{3+}$ 掺杂后在 $LiZnPO_4$ 基质中 $Mn^{2+}$ 的电子结构仍处于与自旋禁阻相对应的高自旋状态。 $Li_{0.97}Zn_{0.87}PO_4:Mn_{0.1}, Al_{0.03}$ 的色坐标值表明,该荧光粉在紫外线激发LED的领域具有潜在的应用前景。

### 参考文献(References)

[1] Vasovic D D, Stojakovic D R. Metal phosphate preparation using boron

- phosphate[J]. Materials Research Bulletin, 1997, 32(6): 779-784.
- [2] Chen J, Natarajan S, Thomas J, et al. A novel openframework cobalt phosphate containing a tetrahedrally coordinated cobalt(II) center:  $\text{CoPO}_4 \cdot 0.5\text{C}_2\text{H}_{10}\text{N}_2$ [J]. Angewandte Chemie International Edition, 1994, 33(6): 639-640.
- [3] Gier T E, Stucky G D. Low-temperature synthesis of hydrated zinc (beryllo)- phosphate and arsenate molecular sieves[J]. Nature, 1991, 349: 508-510.
- [4] Ng H Y, Harrison W T A. Monoclinic  $\text{NaZnPO}_4$ -ABW, a new modification of the zeolite ABW structure type containing elliptical eight-ring channels[J]. Microporous and Mesoporous Materials, 1998, 23(3-4): 197-202.
- [5] Harrison W T A, Gier T E, Nicol J M, et al. Tetrahedral-framework lithium zinc phosphate phases: Location of light-atom positions in  $\text{LiZnPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  by powder neutron diffraction and structure determination of  $\text{LiZnPO}_4$  by ab initio methods[J]. Journal of Solid State Chemistry, 1995, 114(1): 249-257.
- [6] Jensen T R. A new polymorph of  $\text{LiZnPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ : synthesis, crystal structure and thermal transformation[J]. Journal of the Chemical Society, Dalton Transactions, 1998, 18(13): 2261-2266.
- [7] Bu X H, Gier T E, Stucky G D. A new polymorph of lithium zinc phosphate with the cristobalite-type framework topology[J]. Journal of Solid State Chemistry, 1998, 138(1): 126-130.
- [8] Bensalem A. Synthesis and characterization of a new layered lithium zinc phosphate hydrate[J]. Journal of Solid State Chemistry, 2001, 162(1): 29-33.
- [9] Jensen T R, Hazell R G, Nørlund Christensen A, et al. Hydrothermal synthesis of lithium zinc phosphates: Structural investigation of twinned  $\beta$ - $\text{Li}_4\text{Zn}(\text{PO}_4)_2$  and a high temperature polymorph  $\alpha$ - $\text{Li}_4\text{Zn}(\text{PO}_4)_2$ [J]. Journal of Solid State Chemistry, 2002, 166(2): 341-351.
- [10] Chan T S, Liu R S, Baginskiy I. Synthesis, crystal structure, and luminescence properties of a novel green-yellow emitting phosphor  $\text{LiZn}_{1-x}\text{PO}_4:\text{Mn}$  for light emitting diodes[J]. Chemistry of Materials, 2008, 20(4): 1215-1217.
- [11] Chai Q, Chen Z P, Liao S, et al. Preparation of  $\text{LiZn}_{0.9}\text{PO}_4:\text{Mn}_{0.1} \cdot \text{H}_2\text{O}$  via a simple and novel method and its non-isothermal kinetics using iso-conventional calculation procedure[J]. Thermochimica Acta, 2012, 533(1-2): 74-80.
- [12] Zhang S Y, Huang Y L, Seo H J. The spectroscopic properties and structural occupation of  $\text{Eu}^{3+}$  sites in  $\text{LiMgPO}_4$  phosphor[J]. Journal of the Electrochemical Society, 2010, 157(5): 186-190.
- [13] Peng Y M, Su Y K, Yang R Y. The charge transfer transition phenomenon and microstructure of  $\text{Eu}^{3+}$ -doped  $\text{NaCaPO}_4$  phosphors sintered with  $\text{NH}_4\text{Cl}$  flux via solid-state reaction[J]. Materials Research Bulletin, 2013, 48(5): 1946-1951.
- [14] Liang Z J, Mo F W, Zhang X G, et al. Optical properties and energy transfer of  $\text{NaCaPO}_4:\text{Tb}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$  phosphors[J]. Ceramics International, 2014, 40(5): 7501-7506.
- [15] Chen L, Zhang Z H, Tong C, et al. Improved photoluminescence of red-emitting  $\text{NaCaPO}_4:\text{Eu}^{3+}$  phosphor by charge compensation[J]. Physical Status Solidi A, 2012, 209(7): 1313-1316.
- [16] Yang R Y, Peng Y M, Su Y K. Novel red-emitting microwave-assisted-sintered  $\text{LiSrPO}_4:\text{Eu}^{3+}$  phosphors for application in near-uv white light-emitting diodes[J]. Journal of Electronic Materials, 2013, 42(10): 2910-2914.
- [17] Zhang S Y, Nakai Y, Tsuboi T, et al. Luminescence and microstructural features of eu-activated  $\text{LiBaPO}_4$  phosphor [J]. Chemistry of Materials, 2011, 23(5): 1216-1224.
- [18] Zhang S Y, Wei D L, Zhu R, et al. The luminescence and structural characteristics of  $\text{Eu}^{3+}$ -doped  $\text{NaBaPO}_4$  phosphor[J]. Ceramics International, 2011, 37(8): 3697-3702.
- [19] Li X, Guan L, Li X N, et al. Luminescent properties of  $\text{NaBaPO}_4:\text{Eu}^{3+}$  red-emitting phosphor for white light-emitting diodes[J]. Powder Technology, 2010, 200(1-2): 12-15.
- [20] Wang Z J, Li P L, Yang Z P, et al. Spectral characteristics of  $\text{KBaPO}_4:\text{Eu}^{3+}$  red emitting phosphor[J]. Acta Photonica Sinica, 2011, 40(3): 336-339.
- [21] Shinde K N, Pawade V B, Dhoble S J, et al. Orange emission in  $\text{Eu}^{3+}$ -activated  $\text{Mg}_2\text{M}(\text{PO}_4)_2(\text{M}=\text{Sr}$  and  $\text{KNa})$  and  $\text{KSrPO}_4$  phosphors[J]. Chemistry Synthesis and Reactivity in Inorganic and Metal-Organic Chemistry, 2011, 41(3-5): 517-524.
- [22] Mu Z F, Hu Y H, Chen L, et al. Enhanced red emission in  $\text{Sr}_2\text{CeO}_4:\text{Eu}^{3+}$  by charge compensation[J]. Journal of the Electrochemical Society, 2011, 158(10): 287-290.
- [23] Luo H D, Liu J, Zheng X, et al. Enhanced photoluminescence of  $\text{Sr}_3\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$  and tuneable yellow emission of  $\text{Sr}_3\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}, \text{Eu}^{2+}$  by  $\text{Al}^{3+}$  charge compensation for W-LEDs[J]. Journal of Materials Chemistry, 2012, 22(1): 15887-15893.
- [24] Nolan M. Charge compensation and  $\text{Ce}^{3+}$  formation in trivalent doping of the  $\text{CeO}_2(110)$  surface: The key role of dopant ionic radius[J]. Journal of Physical Chemistry C, 2011, 115(14): 6671-6681.
- [25] Chan T S, Liu R S, Baginskiy I. Synthesis, crystal structure, and luminescence properties of a novel green-yellow emitting phosphor  $\text{LiZn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{PO}_4:\text{Mn}$  for light emitting diodes[J]. Chemistry of Materials, 2008, 20(4): 1215-1217.
- [26] Su F, Ma B, Ding K, et al. Luminescence temperature and pressure studies of  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$  phosphors doped with  $\text{Mn}^{2+}$  and  $\text{Eu}^{3+}$  ions[J]. Journal of Luminescence, 2006, 116(1-2): 117-126.

(责任编辑 赵业玲)

### 《科技导报》“卷首语”栏目征稿

“卷首语”栏目每期邀请一位中国科学院院士和中国工程院院士就重大科技现象、事件,以及学科发展趋势、科学研究热点和前沿问题等,撰文发表个人的见解、意见和评论。本栏目欢迎院士投稿,每篇文章约2000字,同时请提供作者学术简历、工作照和签名电子文档。投稿邮箱:kjdbbjb@cast.org.cn。