

文章编号: 1000-7032(2015)02-0186-06

水热法制备的 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶及其发光性能李 涛^{1,2}, 梁鸿霞², 周 婷¹, 钟 诚^{1,3},
冯 弘¹, 刘梦娇¹, 赖 欣¹, 毕 剑¹, 高道江^{1*}

(1. 四川师范大学 化学与材料科学学院, 四川 成都 610066;

2. 攀枝花学院 资源与环境工程学院, 四川 攀枝花 617000; 3. 达州职业技术学院 基础教育部, 四川 达州 635001)

摘要: 采用水热法制备了 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 系列红色荧光粉。通过 X 射线衍射(XRD)、扫描电镜(SEM)和荧光分析(FL)对产物的微结构、形貌和发光性能进行表征分析。XRD 分析表明,制备的 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶均为白钨矿四方结构。SEM 结果显示:随着 x 的增大, $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶的晶粒尺寸相应减小,在 0.2~0.5 μm 之间变化。荧光分析结果表明:源于 Eu^{3+} 的 $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ 和 $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$ 电荷转移的 592 nm 和 614 nm 的特征发射峰显现明显,后者的发射强度远远大于前者。随着 x 的增大,样品中 Eu^{3+} 的两个特征发射峰的先增大后减小,在 $x=1.0$ 时达到最大。

关键词: $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶; 水热法; 制备; 发光性能

中图分类号: O482.31 文献标识码: A DOI: 10.3788/fjxb20153602.0186

Hydrothermal Synthesis and Luminescent Properties of $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ Microcrystallines

LI Tao^{1,2}, LIANG Hong-xia², ZHOU Ting¹, ZHONG Cheng^{1,3}, FENG Hong¹,
LIU Meng-jiao¹, LAI Xin¹, BI Jian¹, GAO Dao-jiang^{1*}

(1. College of Chemistry and Materials Science, Sichuan Normal University, Chengdu 610066, China;

2. Department of Resource and Environmental Engineering, Panzhihua University, Panzhihua 617000, China;

3. Department of Basic Education, Dazhou Vocational and Technical College, Dazhou 635001, China)

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

Abstract: $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ microcrystallines were synthesized by hydrothermal method. The crystal structure, surface morphology and room temperature photoluminescence properties of the microcrystallines were investigated by X-ray powder diffraction (XRD), scanning electron micrograph (SEM) and fluorescence analysis (FL), respectively. XRD results confirm that the obtained $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ microcrystallines are all typical scheelite structure with tetragonal symmetry. SEM images show that the grain size of $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ microcrystalline decreases with the increasing of x , varies in the range of 0.2–0.5 μm . Fluorescence analysis results reveal that the two strong emission peaks attribute to the transitions of $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ and $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$ of Eu^{3+} ion (located at 592 nm and 614 nm) appear obviously, and the emission intensity of the latter is much higher than that of the former. With the increasing of x , the emission intensity of the two characteristic emission peaks of Eu^{3+} ion initially increase, reach the maximum at 1.0, and then decrease.

Key words: $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ microcrystallines; hydrothermal method; preparation; luminescence properties

收稿日期: 2014-11-04; 修订日期: 2014-12-09

基金项目: 四川省教育厅成果转化项目(11ZZ013); 四川省教育厅重点项目(12ZA142); 电子薄膜与器件国家重点实验室开放课题(KFJJ201109)资助项目

1 引言

近年来,具有光效高、寿命长、绿色环保等优点的白光LED迅速发展^[1],人们正在加紧研制能够与蓝光或近紫外光LED芯片相匹配的荧光粉^[2-3]。由于白光LED的显色指数和色温受红色荧光粉影响显著,因此红色荧光粉的研制备受人们的关注^[4-5]。具有白钨矿结构的钨钼酸盐属于四方晶系(点群对称性为 C_{4h}^6),是典型的自激活发光材料,在UV和X射线激发下即可发射高效的荧光^[2]。钼酸盐中的 MoO_4^{2-} 具有四面体结构, Mo^{6+} 位于四面体中心位置,4个 O^{2-} 位于四面体的4个顶角。基态 Mo^{6+} 的外层轨道是充满电子的($4s^24p^6$),受激发时, O^{2-} ($2s^22p^6$)中的1个2p电子向 Mo^{6+} 的4d空轨道作电荷迁移态激发,形成 Mo^{5+} ($4s^24p^64d^1$),随即又回到基态,产生跃迁辐射。其中 BMO_4 ($M = \text{Mo}, \text{W}; B = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$)结构的碱土金属单一钨(钼)酸盐荧光粉的研究起步较早,并取得了众多的成果^[6-16]。在 BMO_4 白钨矿结构中,由于掺杂的稀土激活离子 RE^{3+} 与晶格中被取代的 B^{2+} 电荷不匹配,必须进行电荷补偿,因此碱金属离子的引入逐渐成为热点。

近年来,具有白钨矿结构的 $\text{ARE}(\text{MO}_4)_2$ ($M = \text{Mo}, \text{W}; A = \text{Li}, \text{Na}, \text{K}; \text{RE}$ 为三价稀土金属离子)双钨钼酸盐发光材料的研究引起了人们的广泛关注^[17-23], RE^{3+} 与 A^+ 构成复合离子,取代 BMO_4 ($B = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$)型白钨矿结构中的二价碱土金属离子。这些研究大多集中于采用固相法制备 $\text{RE}^{3+}:\text{A}^+$ 为1:1的基质及其掺杂体系,而对于非整比的 $\text{A}_{4-3x}\text{RE}_x(\text{MO}_4)_2$ ($0 < x \leq 4/3$)体系的制备及发光性能研究却鲜有报道。本文以 Eu_2O_3 和 Li_2MoO_4 为原料,通过水热法这一液相工艺制备 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ ($0 < x \leq 4/3$)微晶,着重探究组分 x 变化对微晶的结构和发光性能的影响。

2 实验

2.1 样品制备

将 Li_2MoO_4 配成 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液, Eu_2O_3 配成 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 EuCl_3 溶液。按生成 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ ($x = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 4/3$)微晶的化学计量比把 Li_2MoO_4 、 EuCl_3 溶液用移液管转移至50 mL聚四氟乙烯内衬,利用水热法制备 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶。具体工艺流程如图1所

示。需要的仪器设备有:BS124S型电子天平(北京赛多利斯仪器有限公司);DF-101B型集热式恒温加热磁力搅拌器(巩义市予华仪器有限责任公司);pHS-3C型精密酸度计(成都方舟科技开发公司);80-2B型台式低速离心机(湖南星科科学仪器有限公司);GS-1型水热反应釜(威海景弘化工机械有限公司)。

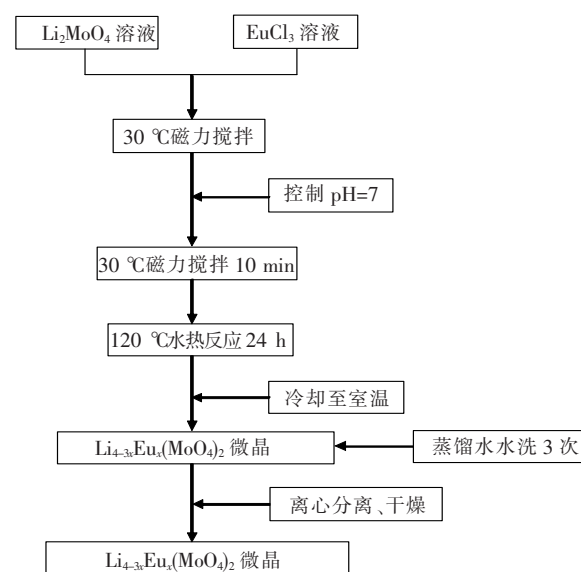


图1 水热法制备 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶的工艺流程图
Fig. 1 Flow chart for preparation of $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ microcrystallines via hydrothermal method

2.2 样品表征

采用北京普析通用仪器有限责任公司生产的XD-2型X射线衍射仪对各样品粉体进行测试。辐射源为Cu靶 $\text{K}\alpha$ 射线,管电压/管电流为30 kV/20 mA,扫描范围为 $10^\circ \sim 80^\circ$,扫描速度为 $4^\circ/\text{min}$ 。采用日本电子公司生产的JSM-5900型扫描电子显微镜(加速电压为20 kV)对产品进行微观形貌分析。采用日本Hitachi公司生产的F-7000荧光分析仪研究样品的发光性能。

3 结果与讨论

3.1 XRD分析

图2为水热合成的 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶XRD图。可以看出,所有 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶的特征衍射峰(101)、(112)、(004)、(200)、(204)、(220)、(116)、(312)和(316)都非常明显,与JCPDS标准卡片No. 18-0728($\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2$)完全一致,且无其他杂峰出现,表明所有 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶皆为白钨矿四方晶相结构。此外,

还可以看出,随着 x 的增大(即 Eu^{3+} 掺杂浓度的增加),微晶相应晶面的衍射峰不断向低角度移动。因为 Eu^{3+} 的半径 102 pm 明显大于 Li^+ 的半径 76 pm,根据布拉格方程 $2d\sin\theta = n\lambda$,当 Li^+ 被 Eu^{3+} 取代后,所得到的 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 系列微晶的同一晶面的晶面间距 d 变大,从而导致 θ 减小,致使微晶的衍射峰往低角度方向偏移。

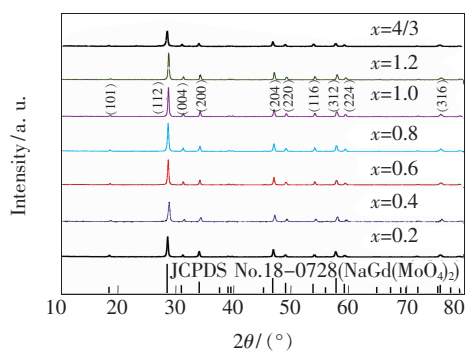


图 2 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶的 XRD 图

Fig. 2 XRD patterns of $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ microcrystallines

虽然 Eu^{3+} 掺杂浓度的改变对微晶的晶相结构没有明显的影响,但它对相应衍射峰的强度有一定的影响。从 $x=0.2$ 到 $x=4/3$,微晶衍射峰的强度随着 x 的增大先增大后减小,在 $x=1.0$ 时达到最大。这表明随着 x 的增大,微晶的结晶性亦呈现先升后降的趋势。至于 $x=1$ 时所得微晶衍射峰的强度最大,则表明在该固溶比条件下获得的 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶的结晶性能最好。

3.2 SEM 分析

图 3 是 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶的 SEM 图。可以看出随着 x 的增大,样品从大的不规则片状逐渐变为规则的松散小颗粒。 $x=0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ 的 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶样品存在少量的团聚。而 $x=1.0, 1.2, 4/3$ 的微晶样品形貌相对规整,大小均匀,晶粒尺寸为 $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 。可见 Eu^{3+} 掺杂浓度的增大有利于 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶获得规整和良好的形貌。

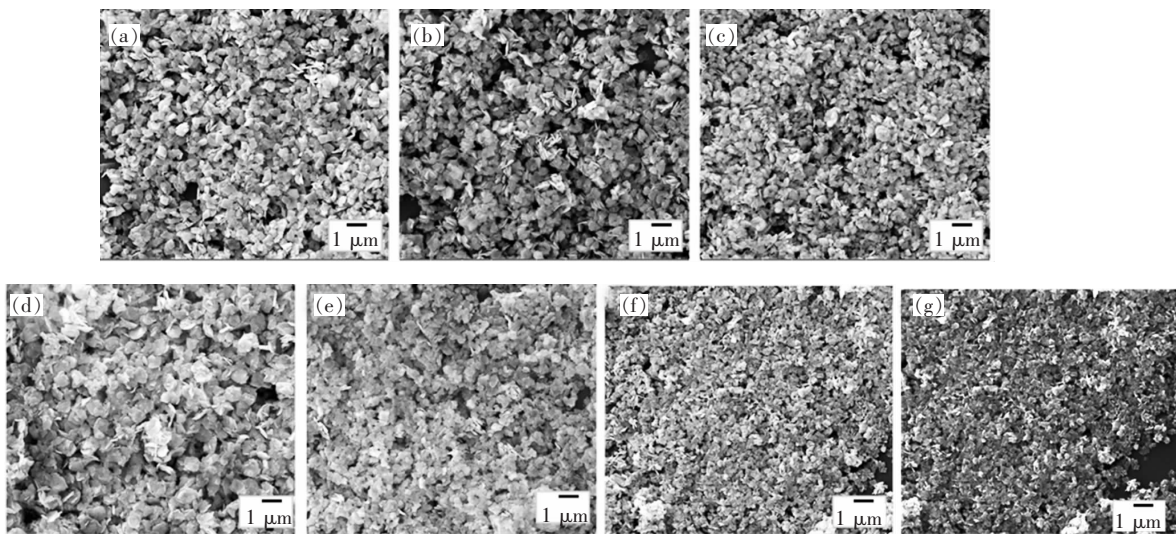


图 3 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶的 SEM 图像。(a) $x=0.2$; (b) $x=0.4$; (c) $x=0.6$; (d) $x=0.8$; (e) $x=1.0$; (f) $x=1.2$; (g) $x=4/3$ 。

Fig. 3 SEM images of $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ microcrystallines. (a) $x=0.2$. (b) $x=0.4$. (c) $x=0.6$. (d) $x=0.8$. (e) $x=1.0$. (f) $x=1.2$. (g) $x=4/3$.

3.3 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 系列微晶的激发和发射光谱分析

图 4 为 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶在监测波长为 614 nm 时得到的激发光谱。从图 4 可以看出,所有微晶在 230 ~ 350 nm 之间有一个宽而强的激发带,中心大约在 280 nm 处,来自于 $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Mo}^{6+}$ 电荷转移。在 350 ~ 535 nm 之间有一系列的锐峰,

来自于 Eu^{3+} 的 4f 电子层跃迁: 395 nm 来自于 Eu^{3+} 的 ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{L}_6$; 418 nm 来自于 Eu^{3+} 的 ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_3$; 465 nm 来自于 Eu^{3+} 的 ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_2$; 535 nm 来自于 Eu^{3+} 的 ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_1$ [24-26]。其中 395 nm 和 465 nm 处的激发峰较强。激发光谱表明, $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶能够很好地吸收紫外光 (396 nm) 和蓝光 (466 nm),有可能作为光转换荧光粉应用于基于

氮化镓的近紫外或蓝色输出的LED芯片^[27]。随着 x 的增大, $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶激发峰的强度呈现先增大后减小的趋势,在 $x=1.0$ 时达到最大。其主要原因是微晶的结晶性和形貌随 x 而变化,这与制备的XRD和SEM测试结果相一致。表1为 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ ($x=0.2,0.4,0.6,0.8,1.0,1.2,4/3$)微晶的最强激发峰(${}^7\text{F}_0\rightarrow{}^5\text{D}_6$)的峰位和相对强度随 x 的变化。

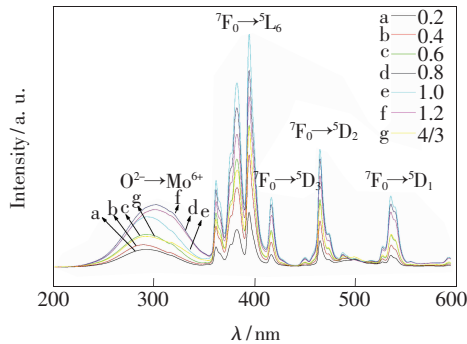


图4 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶的激发光谱, $\lambda_{\text{em}}=614\text{ nm}$ 。
Fig. 4 Excitation spectra of $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$, $\lambda_{\text{em}}=614\text{ nm}$.

表1 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶的最强激发峰的峰位和相对强度

Table 1 Peak position and relative intensity of the strongest excitation peak of $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$

x	Position/nm	Intensity/a. u.
0.2	394.6	136
0.4	394.8	278
0.6	394.6	352
0.8	394.6	488
1.0	394.6	580
1.2	394.6	496
4/3	394.8	348

图5为水热法制备的 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶在395 nm光激发下的荧光发射谱。光谱包含了两个较强的锐峰:最强的发射峰位于614 nm,源于 Eu^{3+} 的 ${}^5\text{D}_0\rightarrow{}^7\text{F}_2$ 电荷转移;较弱的发射峰位于592 nm,来自于 Eu^{3+} 的 ${}^5\text{D}_0\rightarrow{}^7\text{F}_1$ 电荷转移^[27-28]。其中, ${}^5\text{D}_0\rightarrow{}^7\text{F}_2$ 是电偶极跃迁, ${}^5\text{D}_0\rightarrow{}^7\text{F}_1$ 是磁偶极跃迁。从图5中还可看出, ${}^5\text{D}_0\rightarrow{}^7\text{F}_2$ 电偶极跃

迁比 ${}^5\text{D}_0\rightarrow{}^7\text{F}_1$ 磁偶极跃迁强得多,表明 Eu^{3+} 占据晶格的非反演对称中心位置,宇称选择定则发生改变^[29], ${}^5\text{D}_0\rightarrow{}^7\text{F}_2$ 电偶极跃迁占据主导地位。微晶最强峰位于614 nm附近有利于得到一种拥有良好色彩和纯度的红色发光粉,不受黄光的影响。此外, $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶的发射强度随 x 的变化亦呈现先增大后减小的趋势,当 $x=1.0$ 时, $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶的614 nm发射强度最大。

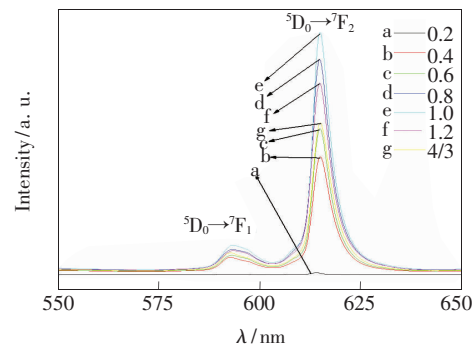


图5 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶的发射光谱, $\lambda_{\text{ex}}=395\text{ nm}$ 。
Fig. 5 Emission spectra of $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ microcrystallines, $\lambda_{\text{ex}}=395\text{ nm}$.

4 结 论

采用水热法制备了 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ ($x=0.2,0.4,0.6,0.8,1.0,1.2,4/3$)系列荧光粉,研究了 x 变化对微晶的结构、形貌和光学性能的影响。所制备的 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 微晶均为白钨矿结构,随着 x 的增大,形貌由不规则大颗粒逐渐变为较为规则的松散小颗粒状,晶粒尺寸在0.2~0.5 μm 之间。 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{MoO}_4)_2$ 的激发光谱中含有240~350 nm之间的源于 $\text{O}^{2-}\rightarrow\text{Mo}^{6+}$ 电荷迁移的宽激发带和一系列350~575 nm之间的源于 Eu^{3+} 的4f轨道内层电子跃迁的锐峰。在395 nm紫外光激发下,样品发出红光,特征发射峰分别在592 nm(${}^5\text{D}_0\rightarrow{}^7\text{F}_1$)和614 nm(${}^5\text{D}_0\rightarrow{}^7\text{F}_2$)处,当 $x=1$ 时发射强度最大。同时614 nm的发射峰强度远大于592 nm,表明 Eu^{3+} 处在一个非对称的环境中,有利于获得一种拥有良好色彩和纯度的红色发光粉,不受其他颜色光的影响。

参 考 文 献:

- [1] Han J W, Lin L, Tong Y Q, *et al.* Red $\text{LiGd}(\text{MoO}_4)_2:\text{Eu}^{3+}$ molybdate phosphors and their luminescent properties [J]. *Chin. Rare Earths* (稀土学报), 2012, 33(3):50-54 (in Chinese).
- [2] Xu X R, Su M Z. *Optical and Luminescence Materials* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004:583.
- [3] Schubert E F, Kim J K. Solid-state light sources getting smart [J]. *Science*, 2005, 308:1274-1278
- [4] Xi C S, Gao Y Z, Wang P, *et al.* Synthesis and luminescent properties of $\text{LiGd}(\text{MoO}_4)_2:\text{Eu}$ red phosphors for white LEDs [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2010, 31(3):311-315 (in Chinese).
- [5] Wu J H, Yan B. Room-temperature solid-state reaction behavior, hydrothermal crystallization and physical characterization of $\text{NaRE}(\text{MoO}_4)_2$, and $\text{Na}_3\text{Lu}(\text{MoO}_4)_4$ compounds [J]. *J. Am. Ceram. Soc.*, 2010, 93(8):2188-2194.
- [6] Thongtem T, Phuruangrat A, Thongtem S. Sonochemical synthesis of MMoO_4 ($M = \text{Ca}, \text{Sr}$ and Ba) nanocrystals [J]. *J. Ceram. Process. Res.*, 2008, 9(2):189-191.
- [7] Thongtem T, Phuruangrat A, Thongtem S. Microwave-assisted synthesis and characterization of SrMoO_4 and SrWO_4 nanocrystals [J]. *J. Nanopart. Res.*, 2010, 2(6):2287-2294.
- [8] Huang C B, Wang Y, Zhang M, *et al.* Research development of Eu-doped tungstate and molybdate red phosphor for white-light LED [J]. *Guangdong Chem. Ind.* (广东化工), 2013, 40(6):77-78 (in Chinese).
- [9] Xie A, Yang W Y, Zhang M S. Preparation and luminescence properties of novel double molybdate red emitting phosphor for white LEDs [J]. *Chin. Rare Earths* (稀土学报), 2012, 30(3):320-324 (in Chinese).
- [10] Wang J, Jing X, Yan C, *et al.* $\text{Ca}_{1-2x}\text{Eu}_x\text{Li}_x\text{MoO}_4$: A novel red phosphor for solid-state lighting based on a GaN LED [J]. *J. Electrochem. Soc.*, 2005, 152(3):G186-G188.
- [11] Okamoto S, Yamamoto S Y. Photoluminescent properties of $(\text{La}, \text{Eu}, \text{Sm})_2\text{W}_3\text{O}_{12}$ red phosphor near-UV-LED-based solid-state lighting [J]. *Electrochem. Solid-state Lett.*, 2007, 10(10):J13910-1-3.
- [12] Shi S K, Gao J, Zhou J. Promising red phosphors $(\text{Ca}, \text{Eu}, M)(\text{WO}_4)_{1-z}(\text{MoO}_4)_z$ ($M = \text{Mg}, \text{Zn}$) for solid-state lighting [J]. *J. Electrochem. Soc.*, 2008, 155(7):H525-H529.
- [13] Liao J S, Qiu B, Wen H R, *et al.* Photoluminescence green in microspheres of $\text{CaWO}_4:\text{Tb}^{3+}$ processed in conventional hydrothermal [J]. *Opt. Mater.*, 2009, 31(10):1513-1516.
- [14] Liao J S, Liu L B, You H Y, *et al.* Hydrothermal preparation and luminescence property of $\text{MWO}_4:\text{Sm}^{3+}$ ($M = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$) red phosphors [J]. *Optik*, 2012, 123(10):901-905.
- [15] Liao J S, Qiu B, Wen H R, *et al.* Synthesis and optimum luminescence of monodispersed spheres for BaWO_4 -based green phosphor with doping of Tb^{3+} [J]. *J. Lumin.*, 2010, 130:762-766.
- [16] Liao J S, Zhou D, Qiu X, *et al.* Charge compensation on the luminescence properties of $\text{ZnWO}_4:\text{Tb}^{3+}$ phosphors via hydrothermal synthesis [J]. *Optik*, 2013, 124(21):5057-5060.
- [17] Liao J S, Zhou D, You H Y, *et al.* Hydrothermal synthesis and photoluminescence of $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2:\text{Tb}^{3+}$ novel green phosphor [J]. *Optik*, 2013, 124(12):1362-1365.
- [18] Liao J S, Zhang S A, You H Y, *et al.* Energy transfer and luminescence of Eu^{3+} doped $\text{NaTb}(\text{WO}_4)_2$ phosphors prepared by a facile hydrothermal method [J]. *Opt. Mater.*, 2011, 33:953-957.
- [19] Liao J S, Qiu B, Lai H S, *et al.* Synthesis and luminescence properties of $\text{Tb}^{3+}:\text{NaGd}(\text{WO}_4)_2$ novel green phosphors [J]. *J. Lumin.*, 2009, 129:668-671.
- [20] Zhou L Y, Wei J S, Yi L H, *et al.* Preparation and photoluminescence property of $\text{Li}_x\text{Sr}_{1-2x}\text{MoO}_4:\text{Eu}^{3+}$ phosphor for white LEDs [J]. *Chin. Rare Earths* (稀土学报), 2009, 27(3):353-356 (in Chinese).
- [21] Wei L, Yang D M, Hu W Y, *et al.* Influence of charge compensation on spectra characteristics of $\text{SrCeO}_3:\text{Sm}^{3+}$ phosphor [J]. *J. Chin. Ceram. Soc.* (硅酸盐学报), 2012, 40(11):1636-1640 (in Chinese).
- [22] Wang Z J, Li P L, Yang Z P, *et al.* Spectra characteristics of LiM ($M = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$) $\text{BO}_3:\text{Tb}^{3+}$ phosphor [J]. *Spectrosc. Spect. Anal.* (光谱学与光谱分析), 2009, 29(11):2914-2916 (in Chinese).
- [23] Li X, Hu Y H, Wang Y H, *et al.* On the synthesis of $\text{Na}_x\text{Sr}_{1-2x}\text{MoO}_4:\text{Eu}^{3+}$ and their luminescent properties [J]. *J. Guangdong Univ. Technol.* (广东工业大学学报), 2010, 27(4):32-35 (in Chinese).
- [24] Wang Z L, Ling H B, Gong M L, *et al.* The red phosphor $\text{NaEu}(\text{MoO}_4)_2$ prepared by the combustion method [J].

Mater. Lett., 2008, 62:619-622.

- [25] Li X, Yang Z P, Guan L, *et al.* Synthesis and properties of Eu^{3+} activated strontium molybdate phosphor [J]. *J. Rare Earths*, 2007, 25:706-709.
- [26] Zhao X X, Wang X J, Chen B J, *et al.* Luminescent properties of Eu^{3+} doped $\alpha\text{-Gd}_2(\text{MoO}_4)_3$ phosphor for white light emitting diodes [J]. *Opt. Mater.*, 2007, 29:1680-1684.
- [27] Lin X, Qiao X S, Fan X P. Synthesis and luminescence properties of a novel red $\text{SrMoO}_4:\text{Sm}^{3+},\text{R}^+$ phosphor [J]. *Solid State Sci.*, 2011, 13:579-583.
- [28] Xie A, Yuan X M, Wang J J, *et al.* Synthesis and photoluminescence property of red phosphors $\text{LiEu}_{1-x}\text{Y}_x(\text{WO}_4)_{0.5}(\text{MoO}_4)_{1.5}$ for white LED [J]. *Sci. China Ser. E—Tech. Sci.*, 2009, 52(7):1913-1918.
- [29] Zhao X X, Li M, Yan L L, *et al.* Preparation and luminescence of Eu^{3+} -doped alkaline earth molybdate phosphors [J]. *J. Henan Polytech. Univ.* (河南理工大学学报), 2009, 28(4):520-526 (in Chinese).



李涛(1976-),男,山东庆云人,硕士研究生,2002年于德州学院获得学士学位,主要从事稀土发光材料的研究。

E-mail: lt10260206@126.com



高道江(1969-),男,四川成都人,教授,2003年于四川大学获得博士学位,主要从事无机功能材料的制备与性能方面的研究。

E-mail: daojiangao@126.com

向您推荐《液晶与显示》——中文核心期刊

《液晶与显示》是中国最早创办的液晶学科专业期刊,也是中国惟一的液晶学科和显示技术领域综合性专业学术期刊。它由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国光学光电子行业协会液晶专业分会和中国物理学会液晶分会主办,科学出版社出版。

《液晶与显示》以研究报告、研究快报、综合评述和产品信息等栏目集中报道国内外液晶学科和显示技术领域最新理论研究、科研成果和创新能力,及时反映国内外本学科领域及产业信息动态,是宣传、展示我国该学科领域和产业科技创新实力与硕果,进行国际交流的平台。本刊是英国《科学文摘》(INSPEC)、美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)、“中国科技论文统计源期刊”等20余种国内外著名检索刊物和文献数据库来源期刊。

《液晶与显示》征集有关各类显示材料及制备方法、材料物理和化学、液晶光学与光子学、生物液晶;液晶显示、有机电致发光显示、等离子体显示、阴极射线管显示、发光二极管显示、场发射显示、3D显示、微显示、真空各类荧光显示、电致变色显示及其他新型显示、各类显示器件物理和制作技术、各类显示新型模式和驱动技术、显示技术和器件应用、显示材料和器件的测试方法与技术、与显示相关的成像技术和图像处理等研究论文。《液晶与显示》热忱欢迎广大作者、读者广为利用,踊跃投稿和订阅。

《液晶与显示》为双月刊,国内定价40元。国内邮发代号:12-203;国外发行代号:4868BM。

地 址:长春市东南湖大路3888号

《液晶与显示》编辑部

邮 编:130033

电 话:(0431)86176059

E-mail: yjxs@ciomp.ac.cn

国内统一刊号:CN 22-1259/04

国际标准刊号:ISSN 1007-2780

国际刊名代码(CODEN):YYXIFY

传 真:(0431)84695881

网 址:www.yjxs.com