

文章编号: 1000-7032(2013)02-0178-06

# YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>:Dy<sup>3+</sup> 荧光粉的制备及发光性能

肖林久\*, 刘娇娜, 谢颖, 王刚, 陈永杰, 李文泽, 耿秀娟

(沈阳化工大学 辽宁省稀土化学及应用重点实验室, 辽宁 沈阳 110142)

**摘要:** 利用溶胶-凝胶法制备了 Dy<sup>3+</sup> 掺杂的 YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> 荧光粉。通过 X 射线衍射仪(XRD)、荧光(FL)光谱仪对所合成样品的结构和发光性能进行表征。研究了 Dy<sup>3+</sup> 离子掺杂浓度和焙烧温度对 YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>:Dy<sup>3+</sup> 荧光粉的结构和发光性能的影响。结果表明: Y<sub>1-x</sub>Al<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>:Dy<sub>x</sub><sup>3+</sup> 在 Dy 掺杂摩尔分数为  $x = 0.05$ , 焙烧温度为 1 100 °C 时的发光强度最大。Y<sub>0.95</sub>Al<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>:Dy<sub>0.05</sub><sup>3+</sup> 荧光粉在 774 nm 波长光激发下, 最强发射峰位于 575 nm。该荧光粉可将 700 ~ 900 nm 和 290 ~ 450 nm 范围内的光转换为染料敏化电池吸收的 575 nm 附近可见光。

**关键词:** 溶胶-凝胶法; 近红外荧光粉; Dy<sup>3+</sup> 掺杂

中图分类号: O482.31 文献标识码: A DOI: 10.3788/fgxb20133402.0178

## Preparation and Luminescence Properties of YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>:Dy<sup>3+</sup> Phosphors

XIAO Lin-jiu\*, LIU Jiao-na, XIE Ying, WANG Gang,  
CHEN Yong-jie, LI Wen-ze, GENG Xiu-juan*(Key Laboratory of Rare-earth Chemistry and Applications of Liaoning Province,  
Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang 110142, China)**\* Corresponding Author, E-mail: x109@163.com*

**Abstract:** Dy<sup>3+</sup> ions doped YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> phosphors were prepared by sol-gel method. Their structure and luminescence properties were characterized by X-ray diffraction (XRD) analysis and fluorescence spectrometry (FL). The preparation conditions of the precursor synthesis, including the Dy<sup>3+</sup> concentration and crystallization temperature were investigated. The results showed that the luminescence intensity of YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>:Dy<sup>3+</sup> is the biggest at the calcination temperature of 1 100 °C. The optimum doping mole fraction of Dy<sup>3+</sup> ions was  $x = 0.05$ . The main emission peak was about 575 nm excited at 774 nm. The YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>:Dy<sup>3+</sup> phosphors can convert spectra band from 700 to 900 nm and from 290 to 490 nm into visible light around 575 nm which is absorbed strongly by the dye sensitized solar cells.

**Key words:** sol-gel method; near-infrared phosphors; Dy<sup>3+</sup> ions doped

收稿日期: 2012-11-05; 修订日期: 2012-12-07

基金项目: 辽宁省科技攻关项目(2006223004); 沈阳市科技计划项目(F12-277-1-09); 辽宁省教育厅科学研究项目(L2012149)资助项目

作者简介: 肖林久(1958-), 男, 辽宁庄河人, 主要从事稀土发光材料和催化等领域的研究。

E-mail: x109@163.com, Tel: (024)89381616

## 1 引言

目前,虽然染料敏化太阳能电池(Dye sensitized solar cells, DSSCs)的转换效率低于硅太阳能电池且稳定性也有待提高,但是它的结构简单、原材料来源丰富、成本低廉,制造工艺简单并且对环境无污染<sup>[1]</sup>,因此具有比硅太阳能电池更好的市场前景,被誉为第三代太阳能电池。目前的染料敏化太阳能电池主要以具有明星染料之称的N3、N719染料作为敏化剂<sup>[2]</sup>与 $\text{TiO}_2$ 组成光阳极,然而该染料对太阳光的吸收范围主要集中在 $300\sim 780\text{ nm}$ <sup>[3]</sup>,对占太阳光全部能量高达43%的红外光几乎没有吸收。因此,如果利用上转换发光把红外光转换为能被染料吸收利用的可见光,对于提高电池的光电转换效率具有重要意义。

$\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$ (YAB)晶体结构与天然矿物碳酸钙镁石( $\text{CaMg}_3(\text{CO}_3)_4$ )相同,呈菱形状,是非中心对称结构,属于三方晶系,空间群为 $R\bar{3}2$ 。YAB晶体具有非常稳定的化学物理特性、高的热稳定和机械性能,莫氏硬度达到8,被认为是一种优良的基质晶体<sup>[4-5]</sup>。以 $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$ 为基质掺杂 $\text{Tb}^{3+}$ 、 $\text{Eu}^{3+}$ 制备的荧光粉,其基质性能稳定,发光性能优良<sup>[6-7]</sup>。作为上转换发光材料的基质, $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$ 也表现出了良好的发光性能<sup>[8-9]</sup>。

本文利用溶胶-凝胶法制备了 $\text{Dy}^{3+}$ 掺杂的 $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$ 上转换荧光粉,研究了 $\text{Dy}^{3+}$ 掺杂浓度和焙烧温度对荧光粉发光性能的影响,并对样品的结构和发光性能进行了表征。

## 2 实验

### 2.1 实验试剂

实验中使用的材料主要有氧化钇( $\text{Y}_2\text{O}_3$ , 4N)、氧化镱( $\text{Dy}_2\text{O}_3$ , 4N)、硝酸铝( $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ , AR)、柠檬酸( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , AR)、硼酸( $\text{H}_3\text{BO}_3$ , AR)和硝酸( $\text{HNO}_3$ , AR)。实验中使用的水为二次蒸馏水。

### 2.2 荧光粉的制备

按化学计量比称取 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ,用过量硝酸溶解后去除多余硝酸,然后配制成 $\text{Dy}(\text{NO}_3)_3$ 和 $\text{Y}(\text{NO}_3)_3$ 水溶液。将 $\text{H}_3\text{BO}_3$ 、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 溶于蒸馏水中,与上述溶液混合后加入柠檬酸溶液使之充分溶解。其中硼酸过量5%,作为高温

热补偿,柠檬酸用量为溶液中金属离子的2倍。将溶液置于 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 恒温水浴锅中,蒸发脱水形成凝胶,然后在 $180\text{ }^\circ\text{C}$ 下烘干4h成黄色干凝胶。将干凝胶研磨后放入马弗炉中,在 $700\text{ }^\circ\text{C}$ 预烧2h,得到前驱体粉末。将前驱体放入管式炉中,在 $900\sim 1200\text{ }^\circ\text{C}$ 不同温度下焙烧2h,得到白色粉末样品<sup>[10]</sup>。

### 2.3 样品表征

采用Bruker-D8 X射线衍射仪(XRD)表征样品结构,辐射源为 $\text{Cu K}\alpha$ ( $\lambda = 0.154\ 056\text{ nm}$ ),电压为40 kV,电流是40 mA,步长设置为 $0.05^\circ$ 。采用日本Hitachi公司的F4600荧光光谱仪测定样品的光谱性能。

## 3 结果与讨论

### 3.1 晶相分析

$700\text{ }^\circ\text{C}$ 预烧2h、 $1100\text{ }^\circ\text{C}$ 焙烧2h制得的 $\text{Y}_{0.95}\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4:\text{Dy}^{3+}_{0.05}$ 样品的XRD谱如图1所示。样品的衍射峰位置与 $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4$ 的JCPDS标准卡片No. 15-0117基本吻合,没有杂相的衍射峰,说明样品的基质纯度较高,属于三方晶系,少量激活剂 $\text{Dy}^{3+}$ 离子的掺入并未改变基质晶型。

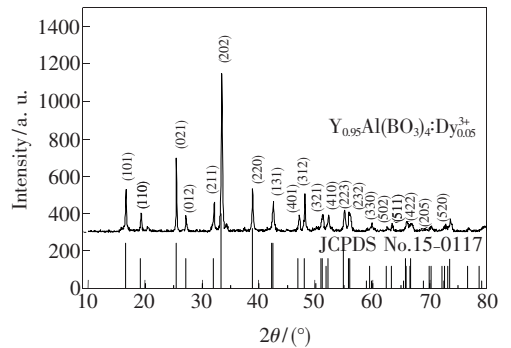


图1  $\text{Y}_{0.95}\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4:\text{Dy}^{3+}_{0.05}$ 的XRD谱

Fig. 1 XRD pattern of  $\text{Y}_{0.95}\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4:\text{Dy}^{3+}_{0.05}$

### 3.2 $\text{Dy}^{3+}$ 的掺杂量对样品的发光性能的影响

为了考察 $\text{Dy}^{3+}$ 的掺杂量对样品的发光性能的影响,将不同 $\text{Dy}^{3+}$ 掺杂量的 $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4:\text{Dy}^{3+}$ 前驱体粉末在 $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 下焙烧2h得到样品,测得样品的激发光谱和发射光谱如图2、图3所示。

图2为 $575\text{ nm}$ 波长监测下 $\text{Y}_{1-x}\text{Al}_3(\text{BO}_3)_4:\text{Dy}^{3+}_x$ ( $x = 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.06$ )样品的激发光谱。由图可见,随 $\text{Dy}^{3+}$ 掺杂量的增加,激发光谱的峰形基本没有发生变化,但光谱相

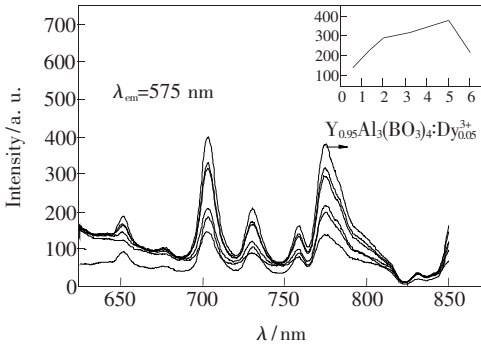


图 2  $Y_{1-x}Al_3(BO_3)_4:Dy_x^{3+}$  的上转换激发光谱,  $x=0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.06$ 。

Fig. 2 The up-conversion excitation spectra of  $Y_{1-x}Al_3(BO_3)_4:Dy_x^{3+}$ ,  $x=0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.06$ .

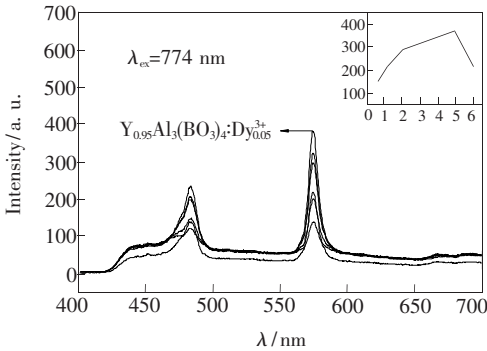


图 3  $Y_{1-x}Al_3(BO_3)_4:Dy_x^{3+}$  的上转换发射光谱,  $x=0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.06$ 。

Fig. 3 The up-conversion emission spectra of  $Y_{1-x}Al_3(BO_3)_4:Dy_x^{3+}$ ,  $x=0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.06$ .

对强度随  $Dy^{3+}$  掺杂量的增加呈现先增大后减小的趋势, 当  $Dy^{3+}$  摩尔分数达到 0.05 时, 激发光谱强度最大。

图 3 是在 774 nm 波长光激发下  $Y_{1-x}Al_3(BO_3)_4:Dy_x^{3+}$  ( $x=0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.05, 0.06$ ) 样品的发射光谱。由图可见, 发射光谱的峰形基本不随  $Dy^{3+}$  摩尔分数的改变而变化, 但光谱的相对强度随  $Dy^{3+}$  摩尔分数的增加呈现先增大后减小的趋势, 当  $Dy^{3+}$  摩尔分数达到 0.05 时, 激发光谱强度最大。这一变化趋势与图 2 的激发光谱一致。

### 3.3 焙烧温度对样品的发光性能的影响

为了考察焙烧温度对荧光粉发光性能的影响, 先考察了焙烧温度对样品结晶状况的影响。将 700 °C 下预烧 2 h 的  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  的前驱体分别在 900, 1 000, 1 100, 1 200 °C 下焙烧 2 h, 其 XRD 谱如图 4 所示。

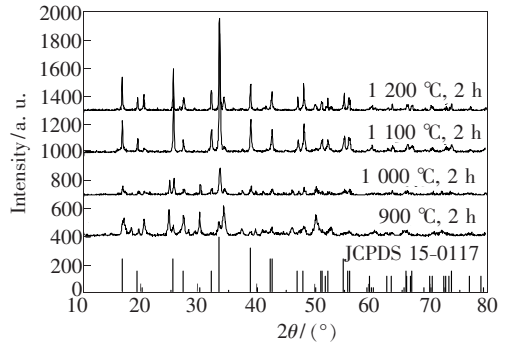


图 4 不同焙烧温度下  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  的 XRD 谱  
Fig. 4 XRD patterns of  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  prepared at different calcination temperatures

由图 4 可知, 当焙烧温度为 900 °C 时, 已开始形成 YAB 相, 但结晶状况很差, 也有较多杂相存在。当温度升高到 1 000 °C 时, 形成较明显的 YAB 相, 但仍有杂相的存在。在焙烧温度为 1 100 °C 时, 结晶状况好, 形成衍射峰清晰的 YAB 相。继续升高晶化焙烧温度到 1 200 °C, 衍射谱图在  $2\theta=20^\circ$  与  $2\theta=34^\circ$  两处出现明显的衍射峰, 为  $YBO_3$  相, 这与 JCPDS 卡片 16-0277 相符。 $YBO_3$  合成温度范围为 800 ~ 1 200 °C<sup>[11]</sup>。合成 YAB 时, 要求硼的用量很大,  $n(Y):n(B)=1:4$ 。一旦硼不足, 则容易形成  $n(Y):n(B)=1:1$  的  $YBO_3$  相<sup>[12]</sup>。由于硼酸高温条件下易挥发, 所以随着温度的升高, 硼的量随之减少, 在 1 200 °C 时  $YBO_3$  相出现。因此, 最佳焙烧温度为 1 100 °C, 此时荧光粉晶型较为完整, 结晶度较高, 并且 XRD 谱与  $YAl_3(BO_3)_4$  的 JCPDS 标准卡片 No. 15-0117 一致。

不同焙烧温度的  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  荧光粉的激发和发射光谱如图 5、图 6 所示。

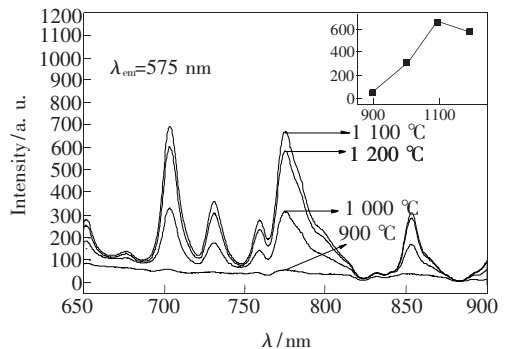


图 5 不同焙烧温度下  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  的激发光谱  
Fig. 5 The up-conversion excitation spectra of  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  prepared at different calcination temperatures

图5为575 nm监测的不同焙烧温度下获得的  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  的激发光谱,图6为775 nm 波长激发的不同焙烧温度获得的  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  的发射光谱。从图5和图6可以看到,不同晶化焙烧温度的产物,光谱峰形基本一致,但相对强度却随晶化焙烧温度的升高呈现先增大后减小的变化。焙烧温度为1 100 °C时,样品的发光最强,这与图4的XRD表明的结晶度状况是一致的。

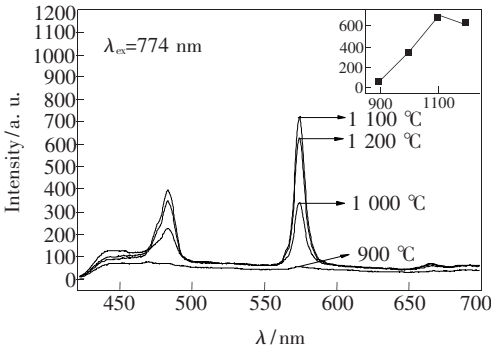


图6 不同焙烧温度下  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  的发射光谱  
Fig.6 The emission spectra of  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  prepared at different calcination temperatures

### 3.4 $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$ 荧光粉的发光性能

图7为1 100 °C晶化焙烧2 h得到的  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  荧光粉的激发光谱。

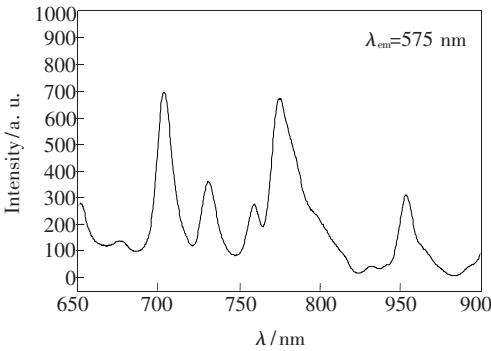


图7  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  的激发光谱

Fig.7 The excitation spectrum of  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$

从图7中可以看出,在575 nm检测下,激发光谱有5个主要吸收峰,它们的峰值分别位于704,731,759,774,853 nm。其中704 nm和774 nm处的激发峰最强,归属于  ${}^6H_{15/2} \rightarrow {}^6F_{1/2}$ ,  ${}^6H_{15/2} \rightarrow {}^6F_{5/2}$  [13]。

不同激发波长下  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  荧光粉的发射光谱如图8所示。

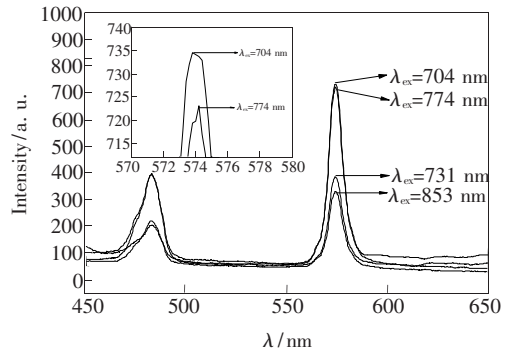


图8 不同波长激发下  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  的发射光谱  
Fig.8 The emission spectra of  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  at different excitation wavelength

从图8可以看出,分别在704,774,731,853 nm波长激发下,  $Dy^{3+}$  的特征发射峰均为440 ~ 490 nm和560 ~ 590 nm两个波段。位于440 ~ 490 nm的蓝光发射光谱范围的483 nm发射峰,归属于  $Dy^{3+}$  的  ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{15/2}$  跃迁[14]。560 ~ 590 nm黄光发射光谱范围的575 nm发射峰归属于  $Dy^{3+}$  的  ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{13/2}$  跃迁[15]。谱图分析说明,在不同的激发波长下,发射光谱的峰型基本一致,但相对强度有所不同。说明样品可以将大于700 nm的近红外转换为可见光。

在575 nm监测下扫描近紫外波段的吸收情况,还可以得到  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  样品在这一波段的下转换吸收的激发光谱,如图9所示。

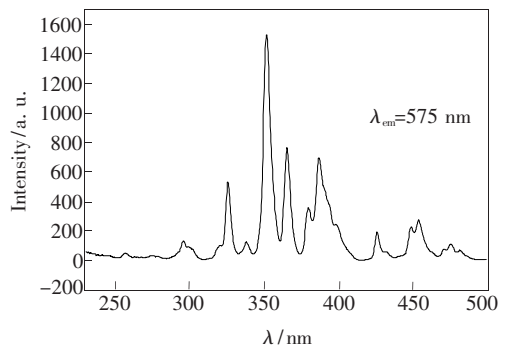


图9  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  在紫外波段的激发光谱  
Fig.9 The excitation spectrum of  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  within UV band

从图9中可见,样品在575 nm监测下,在290 ~ 470 nm范围内有明显吸收,吸收峰位于296 nm ( ${}^6H_{15/2} \rightarrow {}^4D_{7/2}$ ), 325 nm ( ${}^6H_{15/2} \rightarrow {}^6P_{3/2}$ ), 351 nm ( ${}^6H_{15/2} \rightarrow {}^6P_{5/2}$ ); 365 nm ( ${}^6H_{15/2} \rightarrow {}^6P_{3/2}$ ), 386 nm ( ${}^6H_{15/2} \rightarrow {}^4M_{21/2}$ ), 425 nm ( ${}^6H_{15/2} \rightarrow {}^4G_{11/2}$ ) 和 448 nm ( ${}^6H_{15/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ ), 其中351 nm处吸收峰最

强<sup>[16-17]</sup>。 $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$ 在 351 nm 波长光激发下的下转换发射光谱如图 10 所示。

图 10 表明, 样品在 351 nm 激发下的发射峰

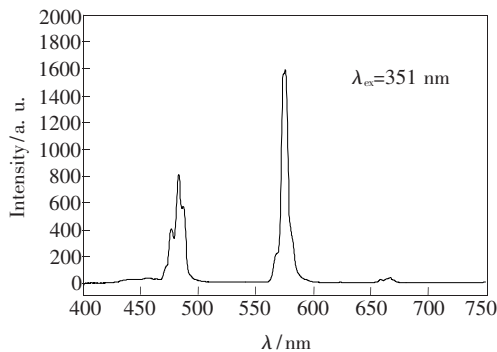


图 10  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$ 的发射光谱

Fig. 10 The emission spectrum of  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$

位于 476 nm 和 482 nm, 归属于 ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{13/2}$ 跃迁, 575 nm 归属于 ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{13/2}$ 跃迁, 最强发射峰位于 575 nm<sup>[18-19]</sup>。

## 4 结 论

利用溶胶-凝胶法成功制备了属三方晶系结构的  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  荧光粉, 确定了掺杂浓度和焙烧温度。制备的  $Y_{0.95}Al_3(BO_3)_4:Dy_{0.05}^{3+}$  荧光粉可以吸收 290 ~ 400 nm 和 700 ~ 900 nm 两个波段的光, 均转换为 450 ~ 500 nm 和 550 ~ 600 nm 波长范围的发射。这一荧光特性可用于弥补染料敏化电池对紫外光吸收较弱、对近红外光几乎不吸收的缺陷, 扩展对太阳光谱的利用范围。

## 参 考 文 献:

- [1] Zhou Y H, Xu Z X, Hu Q Y, *et al.* The new research progress of dye-sensitizer for nanocrystalline photoelectrochemic cell [J]. *Guangzhou Chemical Industry* (广州化工), 2012, 40(7):11-15 (in Chinese).
- [2] Xie G X, Lin J M, Wu J H, *et al.* Application of upconversion luminescence in dye-sensitized solar cells [J]. *Chin. Sci. Bull.* (科学通报), 2010, 55(27/28):2742-2747 (in Chinese).
- [3] Nazeeruddin M K, Humphry-Baker R, Liska P, *et al.* Investigation of sensitizer adsorption and the influence of protons on current and voltage of a dye-sensitized nanocrystalline  $TiO_2$  solar cell [J]. *J. Phys. Chem. B*, 2003, 107(34):8981-8987.
- [4] Mills A D. Crystallographic data for new rare earth borates compounds,  $RX_3(BO_3)_4$  [J]. *Inorg. Chem.*, 1962, 1(4):960-961.
- [5] Kopolulina E V, Pilipenko O V, Maltsev V V, *et al.* Flux growth, morphology and composition of  $YAl_3(BO_3)_4$  crystals doped with Pr, Ho, Yb, Tm [J]. *J. Optoelectron. Adv. Mater.*, 2003, 5(3):615-620.
- [6] Ren Z Y, Tao C Y, Yang H. Synthesis and luminescent characterization of  $YAl_3(BO_3)_4:Tb^{3+}$  phosphors [J]. *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.*, 2008, 19:319-321.
- [7] Li G F, Cao Q X, Huang Y X, *et al.* Preparation of  $YAl_3(BO_3)_4:Eu^{3+}$  by the sol-gel method and its luminescence properties [J]. *J. Chin. Ceram. Soc.* (硅酸盐学报), 2008, 36(8):1114-1118 (in Chinese).
- [8] Maltsev V V, Volkova E A, Leonyuk N I, *et al.* Highly efficient Er- and Yb-doped  $YAl_3(BO_3)_4$  laser materials: Crystal growth and characterization [J]. *J. Optoelectron. Adv. Mater.*, 2008, 10(11):2890-2893.
- [9] Jaque D, Capmany J, Molero F, *et al.* Up-conversion luminescence in the  $Nd^{3+}:YAB$  self frequency doubling laser crystal [J]. *Opt. Mater.*, 1998, 10(3):211-217.
- [10] Xiao L J, Xie Y, He M R, *et al.* The sol-gel process synthesis of  $GdAl_3(BO_3)_4:Eu^{3+}$  nanophosphors [J]. *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 2011, 11(1):1-4.
- [11] Zhang Z Y, Li X L, Shen L J, *et al.* Infrared spectra and luminescence properties of  $(Y_x, Gd_{0.95-x})BO_3:Eu_{0.05}^{3+}$  [J]. *Chin. Rare Earths* (稀土), 2010, 31(5):19-23 (in Chinese).
- [12] Li G F, Cao Q X, Li Z M, *et al.* Synthesis of yttrium aluminum borate micrometer powder by the solid-state reaction method [J]. *J. Chin. Ceram. Soc.* (硅酸盐学报), 2007, 35(3):381-384 (in Chinese).
- [13] Li J, Wang J Y, Cheng X F, *et al.* Growth, thermal and optical properties of  $Dy_xY_{1-x}Al_3(BO_3)_4$  crystal [J]. *J. Rare Earths* (中国稀土学报:英文版), 2004, 22(1):104-107 (in English).
- [14] Baraldi A, Capelletti R, Magnani N, *et al.* Spectroscopic investigation and crystal field modelling of  $Dy^{3+}$  and  $Er^{3+}$  energy levels in yttrium aluminium borate (YAB) single crystals [J]. *J. Phys.*, 2005, 17(39):6245-6255.

- [15] Kam C H, Buddhudu S. NIR to visible upconversion emission from  $\text{Dy}^{3+}:\text{ZBLiYAN}$  glasses [J]. *Solid State Commun.*, 2003, 128(8):309-313.
- [16] Yu L X. Luminescent properties of  $\text{Dy}^{3+}$  in  $\text{ZnO-SiO}_2$  glasses [J]. *J. Chin. Ceram. Soc.* (硅酸盐学报), 2010, 38(6): 1131-1134 (in English).
- [17] Liu B, Wang J Y, Wang B Z, *et al.* Effect of  $\text{Dy}^{3+}$  doping on crystal structure and luminescent properties of  $\text{CaLaAl}_3\text{O}_7$  [J]. *J. Synth. Cryst.* (人工晶体学报), 2011, 40(6):1410-1413 (in Chinese).
- [18] Li J, Li W, Zhou F. Luminescent properties of long-lasting phosphors  $\text{Zn}_4\text{B}_6\text{O}_{13}:\text{Dy}$  [J]. *J. Beihua Univ.* (北华大学学报), 2006, 7(2):118-120 (in Chinese).
- [19] Yang Z P, Ma S Y, Yu H W, *et al.* Synthesis and luminescent characteristics of phosphor  $\text{Ca}_4\text{Y}_6\text{O}(\text{SiO}_4)_6:\text{Dy}^{3+}$  [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2011, 32(2):109-114 (in Chinese).

## 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