

Hydrothermal Synthesis and Luminescent Properties of Spindle-Like $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: \text{Tb}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$ Phosphors

Yao Ding

School of Physics and Electronics Engineering, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang
Email: 390318697@qq.com

Received: Dec. 11th, 2015; accepted: Dec. 27th, 2015; published: Dec. 30th, 2015

Copyright © 2015 by author and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Tb^{3+} , Eu^{3+} codoped $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2$ phosphors were prepared by the method of hydrothermal process. The structure of the phosphors was characterized by the X-ray diffraction (XRD), which was corresponded to JCPDS card with # 25-0828. The photoluminescence properties of the prepared products were characterized by the excitation and emission spectra. The energy transfer from Tb^{3+} to Eu^{3+} in $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2$ phosphors was confirmed.

Keywords

Hydrothermal Synthesis, $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2$, Tb^{3+} , Eu^{3+}

$\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: \text{Tb}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$ 荧光粉的水热合成及发光性质研究

丁 瑶

哈尔滨师范大学, 物理与电子工程学院, 黑龙江 哈尔滨
Email: 390318697@qq.com

收稿日期: 2015年12月11日; 录用日期: 2015年12月27日; 发布日期: 2015年12月30日

摘要

采用水热法合成了 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: \text{Tb}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$ 荧光粉。利用X射线衍射(XRD)对样品进行了测试,所制样品的衍射峰与标准卡片PDF#25-08282一致。样品的发光性质通过激发光谱和发射光谱进行了表征。证实了从 Tb^{3+} 到 Eu^{3+} 有能量传递的存在。

关键词

水热法, $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2$, Tb^{3+} , Eu^{3+}

1. 引言

近年来,更多的稀土(RE)离子掺杂的发光材料被应用于开发新的光学设备,如固态激光器、光纤、放大器、显示、照明和生物传感器等[1] [2]。白光LED由于体积小、能耗少、寿命长、无污染的优点,已成为一种新型的固态照明,被业内人士誉为第四代照明光源而备受瞩目[3]-[6]。传统的白光LED是基于蓝色芯片结合YAG:Ce荧光粉的黄光发射,但是由于市面上的红色荧光粉缺少红光成分,导致白光LED显色指数偏低,为了改变这种现象必须增加红色光源。因此,寻找一种稳定性高、能够有效吸收近紫外光或蓝光的红色荧光粉受到了人们越来越多的关注。钼酸盐材料具有良好的光学性质和化学稳定性,并且钼酸盐和钨酸盐材料中 Eu^{3+} 的较强的4f-4f跃迁吸收主要位于近紫外区和蓝光区,并可将吸收的蓝光和近紫外光的能量有效转化为红光发射[7]-[10]。 Tb^{3+} 掺杂的钼酸盐可以有效地发射绿光,所以 $\text{Eu}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$ 共掺的钼酸盐有望成为一种黄色荧光粉。众所周知,许多有机添加剂可以修饰晶体表面,大量文献报道了在化学合成中柠檬酸钠试剂可以有效地控制样品的形貌[11]-[13]。

基于以上的原因本文采用水热法在柠檬酸钠水溶液中合成了 $\text{Eu}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$ 共掺的 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2$ 荧光粉,并用X射线衍射仪对样品的结构进行了表征,测量了样品的发射光谱和激发光谱,确定了样品的能量传递类型。

2. 实验

钼酸盐粉体材料的合成方法包括固相法、溶胶凝胶法、微乳液以及水热-溶剂热合成法等,其中水热法可对样品粒径和形貌实现较好的控制,易于获得具有良好结晶性的纳米粒子。水热法合成纺锤状 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: \text{Tb}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$ 粒子的具体实验步骤如下:首先,在磁力搅拌下将5 mmol的 Na_3Cit 溶于50 mL去离子水中;其次将5 mmol $\text{Re}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ($\text{Re} = \text{Gd} + \text{Eu} + \text{Td}$)溶于10 ml去离子水中,加入至上述的 Na_3Cit 溶液中形成悬浊液并标记为溶液I;再次,将10 mL 1 mol/L的 $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 水溶液缓慢加入至溶液I中,此时白色沉淀立即溶解并形成了透明的胶体溶液。继续搅拌15 min后,将所得到的胶体溶液转入一个100 mL的聚四氟乙烯内衬不锈钢反应釜中并将其置于烘箱中于 180°C 下反应24 h。待反应釜自发冷却至室温后,所得产物经离心、洗涤数遍后置于烘箱中于 80°C 下干燥10 h即可得到白色的 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: \text{Tb}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$ 粉末。在本实验中共制备了八个样品,掺杂浓度分别为 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: 5\% \text{Tb}^{3+}, x\% \text{Eu}^{3+}$ ($x = 0, 0.3, 0.5, 1, 3, 5, 7, 10$)。

XRD (X射线衍射)图谱由日本理学公司D/max-2600/pc型X射线衍射仪测得,扫描速度为 $4.0^\circ/\text{min}$,步长 0.02° ,扫描范围 $2\theta = 10^\circ \sim 70^\circ$ 。激发光谱和发射光谱由英国爱丁堡公司LFS920荧光光谱仪测得。

3. 结果与讨论

3.1. 样品晶体结构的表征

图 1 为 Tb^{3+} 浓度为 5%， Eu^{3+} 掺杂浓度分别为 0%，1%，5%，10% 时 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: \text{Tb}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$ 样品的 XRD 图谱。从图中可以看出，样品的衍射峰与标准卡片 JCPDS#25-0828 一致，没有观察到杂质衍射峰，说明合成的是纯相样品，为体心四方相的白钨矿结构。从图 1 中还可以看出， Eu^{3+} 和 Tb^{3+} 的掺杂基本没有改变 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2$ 样品的衍射峰峰位，这是因为 Eu^{3+} 和 Tb^{3+} 的离子半径与同为稀土元素的 Gd^{3+} 十分接近，引入 Eu^{3+} 和 Tb^{3+} 取代 Gd^{3+} 位置时对 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2$ 基质晶体结构的破坏很小。

3.2. 样品光致发光性质

图 2 为 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2$ 样品的激发光谱。图 2(a) Tb^{3+} 浓度为 5% 时 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2$ 样品，监测 545.5 nm(对应 $\text{Tb}^{3+} {}^5\text{D}_4 \rightarrow {}^7\text{F}_5$ 跃迁发射)发光时的激发光谱，其中位于 200~340 nm 的宽带吸收是由于 $\text{O}^{2-} \text{Mo}^{6+}$ 的电荷迁移带和 Tb^{3+} 的 4f-5d 跃迁吸收。在 486 nm 处有一个较强的吸收峰对应于 Tb^{3+} 的 ${}^5\text{D}_4 \rightarrow {}^7\text{F}_6$ 的特征跃迁吸收。图 2(b) 是 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: 5\% \text{Tb}^{3+}, 1\% \text{Eu}^{3+}$ 样品在监测 545.5 nm 时的激发光谱，与(a)图相似。图 2(c) 为 Eu^{3+} 和 Tb^{3+} 掺杂浓度分别为 1% 和 5% 的样品，监测 613 nm(对应于 $\text{Eu}^{3+} {}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$ 跃迁发射)发光时的激发光谱，位于 200~340 nm 的宽带吸收归因于 $\text{O}^{2-} \text{Eu}^{3+}$ 和 $\text{O}^{2-} \text{Mo}^{6+}$ 的跃迁。从图中可以看到位于 362 nm, 381 nm, 394.5 nm, 416 nm, 465 nm 发射峰处分别对应着 Eu^{3+} 的 ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_4$, ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{L}_7$, ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{L}_6$, ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_3$, ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{D}_2$ ；在 486 nm 处还有一个比较明显的激发峰，与图 2(a) 比较可以发现其对应的是 $\text{Tb}^{3+} {}^7\text{F}_6 \rightarrow {}^5\text{D}_4$ 跃迁吸收。对比图 2(b) 和 (c) 可以看出，对于 $\text{Eu}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$ 共掺样品，当监测 Tb^{3+} 的发光时无法观察到 Eu^{3+} 跃迁吸收对应的激发峰。然而，当监测 Eu^{3+} 的发光时可以在 486 nm 处观察到 Tb^{3+} 的特征吸收对应的激发峰。由此可以得出结论：从 Tb^{3+} 到 Eu^{3+} 能量传递是有效的，而从 Eu^{3+} 到 Tb^{3+} 无明显的能量传递行为。

图 3 为样品在不同激发波长下的发射光谱，其中图 3(a) 是 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: 5\% \text{Tb}^{3+}$ 样品在 486 nm 波长下的发射光谱；图 3(b) 是 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: 5\% \text{Tb}^{3+}, 1\% \text{Eu}^{3+}$ 样品在 486 nm 波长下的发射光谱；图 3(c) 为 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: 5\% \text{Tb}^{3+}, 1\% \text{Eu}^{3+}$ 样品在 394.5 nm 波长下的发射光谱。图 3(a) 中的发射峰位于 545 nm, 587 nm, 621 nm 分别对应于 $\text{Tb}^{3+} {}^5\text{D}_4 \rightarrow {}^7\text{F}_5$, ${}^5\text{D}_4 \rightarrow {}^7\text{F}_4$, ${}^5\text{D}_4 \rightarrow {}^7\text{F}_3$ 的跃迁发射。从图 3(c) 中可以观察到 Eu^{3+} 主要的发射峰位于 592 nm, 613 nm, 655 nm, 702 nm 分别对应于 $\text{Eu}^{3+} {}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_1$, ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$, ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_3$, ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_4$ 跃迁发射。从图 3(b) 中既可以观察到 Eu^{3+} 的 ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_1$, ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$, ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_3$, ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_4$ 跃迁发射

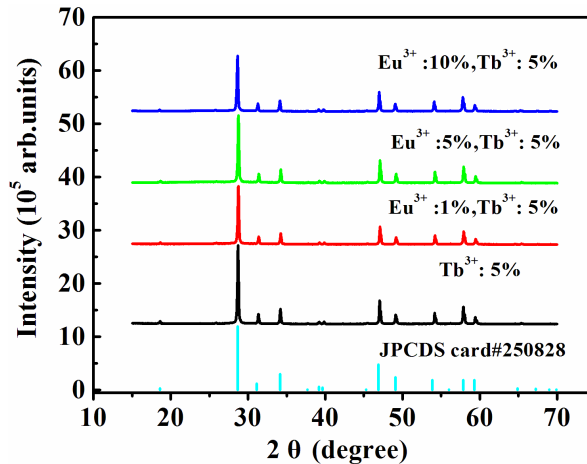


Figure 1. XRD patterns of the prepared products for $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: \text{Tb}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$
图 1. $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: \text{Tb}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$ 样品的 XRD 图谱

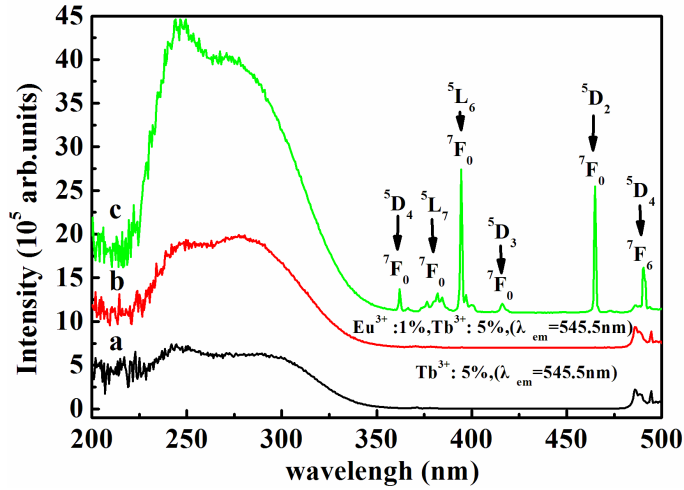


Figure 2. The excitation spectra of NaGd(MoO₄)₂: 5% Tb³⁺ (a) and NaGd(MoO₄)₂: 5% Tb³⁺, 1% Eu³⁺ (b), (c)

图 2. (a) NaGd(MoO₄)₂: 5% Tb³⁺, ((b), (c)) NaGd(MoO₄)₂: 5% Tb³⁺, 1% Eu³⁺样品的激发光谱

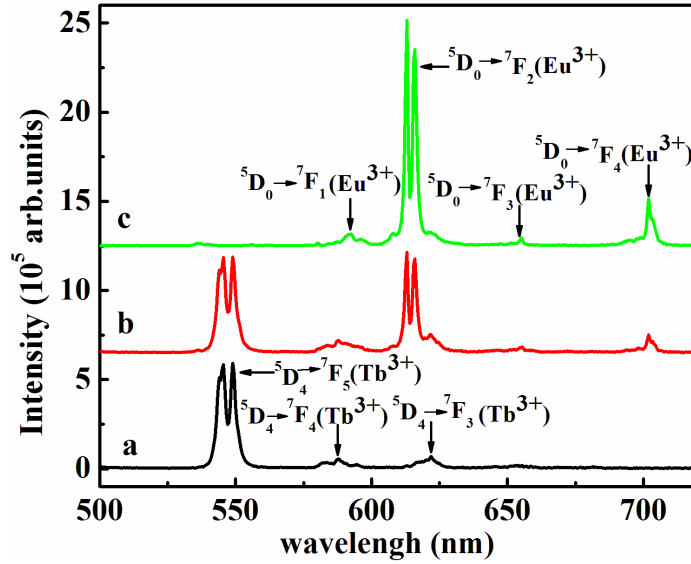


Figure 3. The emission spectra of the samples with the excitation wavelength of 486 nm ((a), (b)); 394.5 nm (c); and doped density of (a) 5% Tb³⁺ and ((b), (c)) 5% Tb³⁺, 1% Eu³⁺

图 3. 激发波长分别为((a), (b)) 486 nm; (c) 394.5 nm 掺杂浓度分别为(a) 5% Tb³⁺ and ((b), (c)) 5% Tb³⁺, 1% Eu³⁺样品的发射光谱

的同时，又能够观察到 Tb³⁺特征发射。对比图 3(b)和图 3(c)可以发现，当用 Eu³⁺的特征激发波长(394.5 nm)激发 NaGd(MoO₄)₂: 5% Tb³⁺, 1% Eu³⁺样品时仅观察到 Eu³⁺发射，但当用 Tb³⁺的特征激发波长(486 nm)激发相同样品的时候可以同时看到 Tb³⁺和 Eu³⁺的发射。这进一步证明了从 Tb³⁺到 Eu³⁺存在有效的能量传递而从 Eu³⁺到 Tb³⁺无明显能量传递行为，这与上面对激发光谱的分析讨论所得的结果相一致。图 4 给出了从 Tb³⁺的 ⁵D₄能级向 Eu³⁺的能量传递过程。从 Tb³⁺到 Eu³⁺的能量传递之所以非常有效，是由于它们的能级分布有很大的重叠部分[14]。

图 5 是激发波长为 486 nm 时样品 NaGd(MoO₄)₂: 5% Tb³⁺, x% Eu³⁺(x = 0, 0.3, 0.5, 1, 3, 5, 7, 10)的发射光谱。可以看出随着 Eu³⁺掺杂浓度的提高，Tb³⁺发射峰强度逐渐降低而 Eu³⁺发射峰强度逐渐增大。

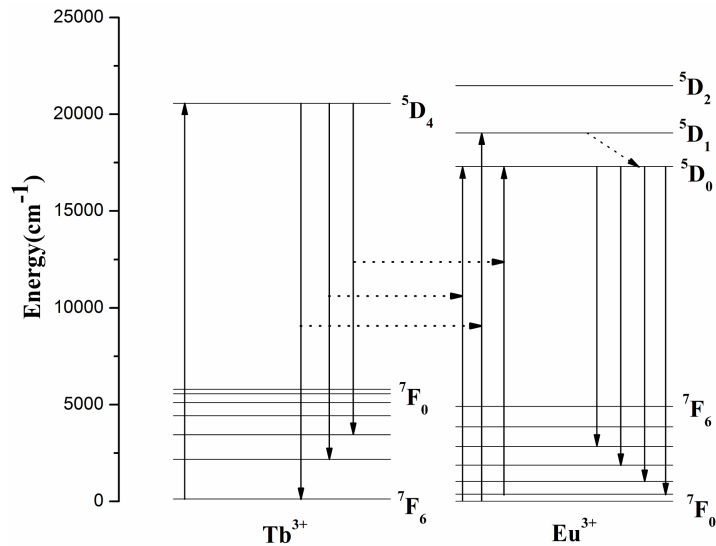


Figure 4. A graphical model for the energy transfer from Tb^{3+} to Eu^{3+} in $NaGd(MoO_4)_2: Tb^{3+}, Eu^{3+}$ phosphors
图 4. $NaGd(MoO_4)_2: Tb^{3+}, Eu^{3+}$ 样品 $Tb^{3+} \rightarrow Eu^{3+}$ 能量传递的能级图

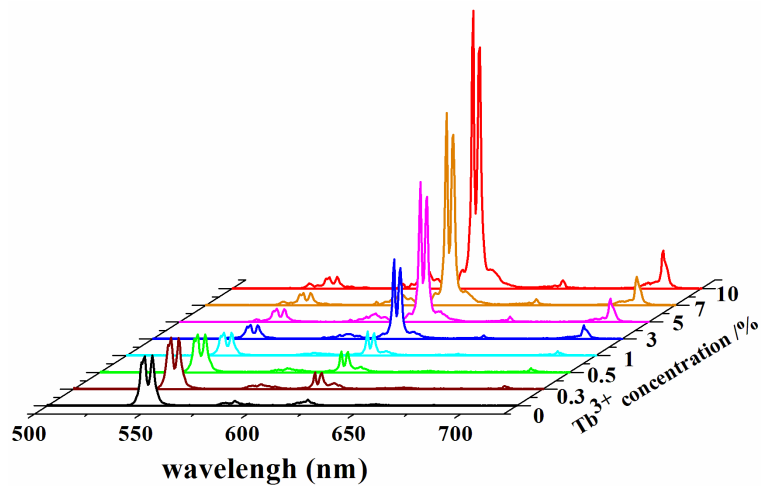


Figure 5. Emission spectra of $NaGd(MoO_4)_2: 5\% Tb^{3+}, x\% Eu^{3+}$ phosphors ($x = 0 - 10$) under 486 nm excitation.
图 5. $NaGd(MoO_4)_2: 5\% Tb^{3+}, x\% Eu^{3+}$ ($x = 0 \sim 10$) 在 486 nm 下的发射光谱

这说明，随着 Eu^{3+} 浓度的增加，从 Tb^{3+} 到 Eu^{3+} 的能量传递效率不断增加，致使 Tb^{3+} 发光减弱的同时 Eu^{3+} 发光增强。

从以上观察中我们可以得出结论， $NaGd(MoO_4)_2: Tb^{3+}, Eu^{3+}$ 荧光粉的发光颜色可以通过调节 Eu^{3+} 的掺杂浓度来改变。为了进一步研究 Eu^{3+} 的掺杂浓度对光致发光性质的影响，我们计算了 $NaGd(MoO_4)_2: 5\% Tb^{3+}, x\% Eu^{3+}$ 样品 486 nm 激发时发光的色坐标值，具体结果见表 1。利用表 1 中的数据我们绘制了各样品的色坐标图，见图 6。从图 6 中可以看到，随着 Eu^{3+} 的掺杂浓度的提高，样品的发光颜色能从绿色调节到红色。当掺杂浓度为 1% Eu^{3+} , 5% Tb^{3+} 时，样品的色坐标值(0.466, 0.524)，接近 YAG: Ce 黄色荧光粉的色坐标(0.461, 0.525)。 $NaGd(MoO_4)_2: Tb^{3+}, Eu^{3+}$ 样品的发光中具备红光和绿光成分所以这种荧光粉可以与蓝光 GaN 芯片相结合的制成三基色白光 LED 系统，克服 YAG: Ce 黄色荧光粉显色性不足的缺点。

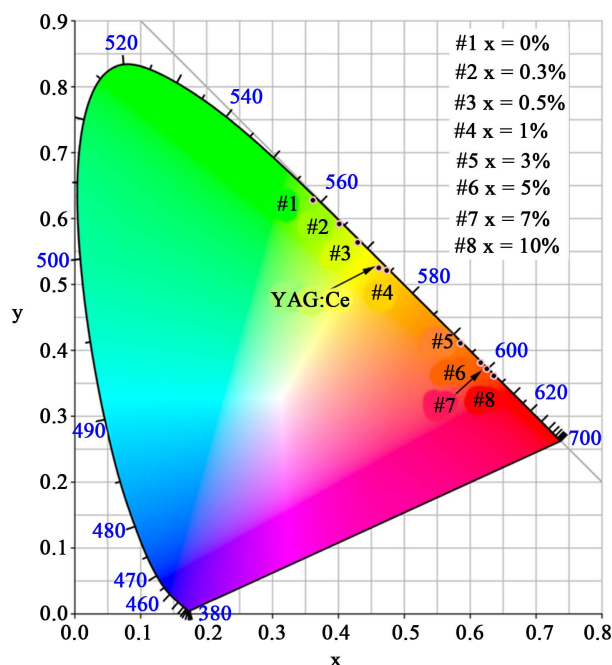


Figure 6. CIE chromaticity coordinates of $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: 5\% \text{Tb}^{3+}, x\% \text{Eu}^{3+}$ ($x = 0 - 10$)
图 6. $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: 5\% \text{Tb}^{3+}, x\% \text{Eu}^{3+}$ ($x = 0 \sim 10$). 样品的色坐标图

Table 1. The CIE (Commission International del'Eclairage) chromaticity coordinates of $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: 5\% \text{Tb}^{3+}, x\% \text{Eu}^{3+}$ ($x = 0 - 10$)

表 1. $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: 5\% \text{Tb}^{3+}, x\% \text{Eu}^{3+}$ ($x = 0 \sim 10$). 样品的色坐标值

浓度(x%)	0	0.3	0.5	1	3	5	7	10
x	0.361	0.401	0.429	0.473	0.586	0.616	0.626	0.636
y	0.629	0.592	0.564	0.521	0.411	0.382	0.372	0.362

另外通过调整 Eu^{3+} 的浓度可以实现样品发光颜色从绿到红的连续可调, $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: 5\% \text{Tb}^{3+}, x\% \text{Eu}^{3+}$ 荧光粉也有潜力应用于光学防伪标识材料。

4. 结语

本文采用水热法成功合成了 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: 5\% \text{Tb}^{3+}, x\% \text{Eu}^{3+}$ 荧光粉。采用 X 射线衍射(XRD)对样品的结构进行了表征。通过分析样品的激发谱和发射谱研究了其光致发光性质。在 486 nm 激发波长下, 样品的发射谱中观察到了从 Tb^{3+} 到 Eu^{3+} 有能量传递的过程。随着 Eu^{3+} 的浓度的增加, 样品的发射光谱成分随之发生了变化, 样品的发光颜色随着 Eu^{3+} 浓度的增加能够从绿色逐渐变为红色。其中 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: 1\% \text{Eu}^{3+}, 5\% \text{Tb}^{3+}$ 样品的色坐标为(0.466, 0.524), 接近 YAG: Ce 黄色荧光粉的色坐标值(0.461, 0.525) [15]。此外, 所制备的材料发射光谱中具备红光和绿光成分, 所以这种荧光粉可以与蓝光 GaN 芯片相结合, 制成三基色白光 LED 系统, 有可能弥补传统 GaN 芯片+YAG: Ce 黄色荧光粉白光 LED 系统显色性不足的缺陷。另外发光色坐标值连续可变的 $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2: 5\% \text{Tb}^{3+}, x\% \text{Eu}^{3+}$ 荧光粉材料在光学防伪标识方面也有较大的应用潜力。

参考文献 (References)

- [1] Zhang, Q., Meng, Q.Y. and Sun, W.J. (2013) The Concentration Dependence of Luminescent Properties for Eu^{3+} Doped CaWO_4 Micron Spherical Phosphors. *Journal of Optical Materials*, **35**, 915-922.

- <http://dx.doi.org/10.1016/j.optmat.2012.11.012>
- [2] Zhang, Y. and Hao, J.H. (2013) Metal-Ion Doped Luminescent Thin Films for Optoelectronic Applications. *Journal of Materials Chemistry C*, **1**, 5607-5618. <http://dx.doi.org/10.1039/c3tc31024h>
- [3] Zhang, Z.W., Ma, D.Q., Yue, Y., Ma, M.Z. and Liu, R.P. (2015) Wide-Band Excited LaBMoO₆:Eu³⁺ Red Phosphor for White-Light-Emitting Diode. *Journal of Alloys and Compounds*, **636**, 113-116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.01.134>
- [4] Wen, D.W., Feng, J.J., Li, J.H., Shi, J.X., Wu, M.M. and Su, Q. (2015) K₂Ln(PO₄)(WO₄):Tb³⁺, Eu³⁺ (Ln = Y, Gd and Lu) Phosphors: Highly Efficient Pure Red and Tuneable Emission for White Light-Emitting Diodes. *Journal of Materials Chemistry C*, **3**, 2107-2114.
- [5] Liu, Y., Liu, G.X., Wang, J.X., Dong, X.T. and Yu, W.S. (2014) Single-Component and Warm-White-Emitting Phosphor NaGd(WO₄)₂:Tm³⁺, Dy³⁺, Eu³⁺: Synthesis, Luminescence, Energy Transfer and Tunable Color. *Inorganic Chemistry*, **53**, 11457-11466. <http://dx.doi.org/10.1021/ic501284y>
- [6] Kang, F.W., Peng, M.Y., Zhang, Q.Y. and Qiu, J.R. (2014) Abnormal Anti-Quenching and Controllable Multi-Transitions of Bi³⁺ Luminescence by Temperature in a Yellow-Emitting LuVO₄:Bi³⁺ Phosphor for UV-Converted White LEDs. *Chemistry—A European Journal*, **20**, 11522-11530. <http://dx.doi.org/10.1002/chem.201402081>
- [7] Hu, Y.S., Zhuang, W.D., Ye, H.Q., Wang, D.H., Zhang, S.S. and Huang, X.W. (2005) A Novel Red Phosphor for White Light Emitting Diodes. *Journal of Alloys and Compounds*, **390**, 226-229. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2004.07.063>
- [8] Liu, J., Lian, H.Z. and Shi, C.S. (2007) Improved Optical Photoluminescence by Charge Compensation in the Phosphor System CaMoO₄:Eu³⁺. *Journal of Optical Materials*, **29**, 1591-1594. <http://dx.doi.org/10.1016/j.optmat.2006.06.021>
- [9] Jin, Y., Zhang, J.H., Hao, Z.D., Zhang, X. and Wang, X.J. (2011) Synthesis and Luminescence Properties of Clew-Like CaMoO₄:Sm³⁺, Eu³⁺. *Journal of Alloys and Compounds*, **509**, L348-L351. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2011.07.047>
- [10] Wang, X.F., Peng, G.H., Li, N., Liang, Z.H., Wang, X. and Wu, J.L. (2014) Hydrothermal Synthesis and Luminescence Properties of 3D Walnut-Like CaMoO₄:Eu³⁺ Red Phosphors. *Journal of Alloys and Compounds*, **599**, 102-107. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.02.091>
- [11] Xu, Z.H., Li, C.X., Li, G.G., Chai, R.T., Peng, C., Yang, D.M. and Lin, J. (2010) Self-Assembled 3D Urchin-Like NaY(MoO₄)₂:Eu³⁺/Tb³⁺ Microarchitectures: Hydrothermal Synthesis and Tunable Emission Colors. *Journal of Physical Chemistry C*, **114**, 2573-2582. <http://dx.doi.org/10.1021/jp9115029>
- [12] Tian, Y., Chen, B.J., Hua, R.N., Yu, N.S., Liu, B.Q., Sun, J.S., Cheng, L.H., Zhong, H.Y., Li, X.P., Zhang, J.S., Tian, B.N. and Zhong, H. (2012) Self-Assembled 3D Flower-Shaped NaY(WO₄)₂:Eu³⁺ Microarchitectures: Microwave-Assisted Hydrothermal Synthesis, Growth Mechanism and Luminescent Properties. *CrystEngComm*, **14**, 1760-1769. <http://dx.doi.org/10.1039/c1ce06232h>
- [13] Huang, S.H., Wang, D., Li, C.X., Wang, L.Z., Zhang, X., Wan, Y. and Yang, P.P. (2012) Controllable Synthesis, Morphology Evolution and Luminescence Properties of NaLa(WO₄)₂ Microcrystals. *CrystEngComm*, **14**, 2235-2244. <http://dx.doi.org/10.1039/c2ce06450b>
- [14] Di, W.H., Wang, X.J., Zhu, P.F. and Chen, B.J. (2007) Energy Transfer and Heat-Treatment Effect of Photoluminescence in Eu³⁺-Doped TbPO₄ Nanowires. *Journal of Solid State Chemistry*, **180**, 467-473. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssc.2006.11.006>
- [15] Tian, Y., Qi, X.H., Wu, X.W., Hua, R.N. and Chen, B.J. (2009) Luminescent Properties of Y₂(MoO₄)₃: Eu³⁺ Red Phosphors with Flowerlike Shape Prepared via Coprecipitation Method. *Journal of Physical Chemistry C*, **113**, 10767-10772. <http://dx.doi.org/10.1021/jp901053q>