

文章编号: 1000-324X(2006)02-0329-06

$\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:0.03\text{Eu},0.03\text{Ti}$ 的长余辉特性及 Ti 向 Eu^{3+} 的余辉传能机制

洪樟连^{1,2}, 张朋越¹, 黄秋平¹, 樊先平^{1,2}, 王民权^{1,2}

(1. 浙江大学材料科学与工程系, 2. 硅材料国家重点实验室, 杭州 310027)

摘 要: 采用高温还原法合成了 Eu, Ti 共激活橙红色 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}$ 长余辉发光材料, 并测量了 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:0.03\text{Eu},0.03\text{Ti}$ 磷光体的荧光光谱, 余辉分辨和余辉衰减曲线谱. 实验结果表明, $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:0.03\text{Eu},0.03\text{Ti}$ 磷光体的发射谱由一系列 Eu^{3+} 离子内部能级跃迁的尖峰组成; 余辉分辨谱则不同, 由一个主峰位于 565nm 的宽发射带和一系列波长范围位于 500nm 以上的窄发射带两种峰形组成, 可分别归为 Ti 离子的宽带余辉发射和三价 Eu^{3+} 的线状余辉发射. 分析认为, 样品中存在 Ti 余辉发射向 Eu^{3+} 内部能级间产生选择性的余辉传能机制, 从而导致 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:0.03\text{Ti},0.03\text{Eu}$ 磷光体中同时出现两种发光中心离子的余辉分辨谱现象.

关 键 词: 长余辉; 传能; 磷光体; 发光; 稀土

中图分类号: TQ 422 **文献标识码:** A

1 引言

1996 年, T. Matsuzawa 等人^[1]报道了 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ 磷光体的余辉特性, 指出其余辉时间达 2000min, 远优于 ZnS 型发光材料, 且不含放射物质, 无环境污染, 引起各国学者及产业界的关注. 而后又相继开发了多种高效碱土铝酸盐长余辉材料. 不过, 这些优异性能的铝酸盐长余辉材料的发射波长几乎全部处于蓝绿光范围内^[2], 而发射波长在黄-橙-红色范围内, 同时兼有高效、稳定等特点的新型长余辉材料的研发较少.

虽然有不少研究报道了材料长余辉产生机理, 但是目前对其产生机制与制约余辉性能的关键控制因素尚不清楚, 缺少从材料基质、发光离子以及共掺敏化等角度选择与设计开发新型长余辉材料的指导思路, 影响了新型长余辉材料的研究与开发^[3,4]. 作为优化发光强度的重要技术途径与传能机制, 敏化传能已广泛应用于荧光材料的设计与生产中. 它指一种激发中心受到外界激发后, 将吸收能量传能给另一个发光中心, 使其发光强度显著增强的现象: 如 $\text{BaLaB}_9\text{O}_{16}$ 中 Ce^{3+} 敏化 Dy^{3+} 发光, MgB_4O_7 中 Ce^{3+} 向 Mn^{2+} 传能, 沸石微孔材料中 Ce^{3+} 对 Tb^{3+} 的敏化发光等; 同时该机理也成为合成新型高效多色荧光材料的重要手段^[5]. 但这种发光中心离子间的能量传递现象, 却很少被用于新型长余辉发光材料体系的开发中.

收稿日期: 2005-04-01, 收到修改稿日期: 2005-05-23

基金项目: 教育部留学回国人员科研启动基金 (2003-14); 国家自然科学基金 (50472062)

作者简介: 洪樟连 (1968-), 男, 副教授. E-mail: hong-zhanglian@zju.edu.cn

最近,我们合成了一种不含稀土发光离子、单掺 Ti 的新型黄色 Y_2O_2S 长余辉磷光体,虽然其余辉时间可达 5h,但离实用化的余辉亮度指标有较大差距^[6,7].为了提高其发光和余辉强度,作者在不改变其原有缺陷能级条件下,在 Y_2O_2S 基质中掺入三价稀土离子 Re^{3+} (如 Eu、Tm 和 Sm 等),合成了一类发光和余辉颜色在红-橙-黄色范围内可调节的 $Y_2O_2S:Re,Ti$ 长余辉材料.发现了 Y_2O_2S 磷光体系中 Ti 的余辉发光,经能量传递产生 Re^{3+} 余辉发射的新结果,本文报道了相关实验结果及其可能的余辉传能机理;期望通过类似研究,找到一种合成和开发新型多色高效磷光体长余辉材料的技术途径.

2 实验方法

依据 $Y_2O_2S:0.03Eu,0.03Ti$ 化学计量比准确称量 Y_2O_3 (99.999%), Eu_2O_3 (AR) 和 TiO_2 (AR),再分别称取质量分数为 30% Y_2O_3 的 Na_2CO_3 和 S 混合作为助熔剂.将配比好的原料与助熔剂混合均匀、球磨 1h,之后压成直径为 20mm、厚度为 3mm 的圆片.成型圆片放入碳盒中,置于高温炉内,在 CO 气氛下于 1200°C 下烧成 2.5h.然后,将冷却至室温的样品用 8% 冰乙酸浸泡、并用 80°C 去离子水反复冲洗,除去过量硫化物与助熔剂.经过滤、烘干,最后得到灰白色的磷光体粉末样品.样品经 XD-98 型 X 射线衍射仪测定,确定为单相六方的 Y_2O_2S 相结构.采用日立 F-4500 型荧光光谱仪测试样品的荧光光谱,余辉分辨谱和余辉衰减曲线.所有测试均在室温下进行.

3 结果和讨论

图 1 为 $Y_2O_2S:0.03Ti,0.03Eu$ 磷光体的发射和激发谱.在 625nm 监测下,激发光谱主要

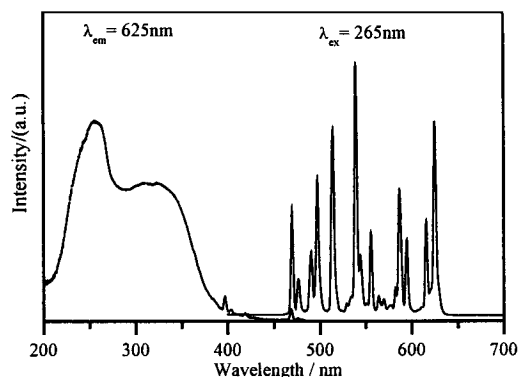


图 1 $Y_2O_2S:0.03Ti,0.03Eu$ 磷光体激发(虚线)和发射谱(实线)

Fig. 1 Emission (solid line) and excitation (dash line) spectra of the $Y_2O_2S:0.03Ti,0.03Eu$ phosphor

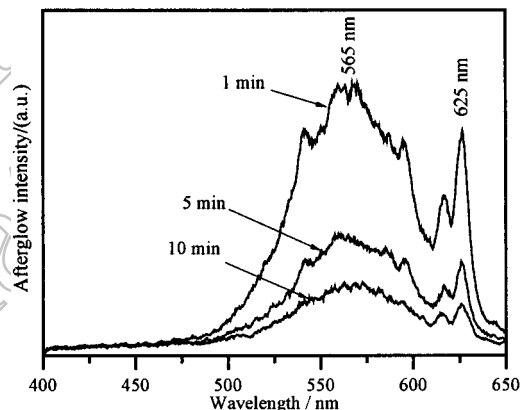


图 2 $Y_2O_2S:0.03Ti,0.03Eu$ 磷光体在不同衰减时间的余辉分辨谱

Fig. 2 Afterglow time-resolved spectra of the $Y_2O_2S:0.03Ti,0.03Eu$ phosphor at different decay time

由峰位分别位于 265 和 320nm 的宽激发带组成,前者归为 Y_2O_2S 基质吸收,后者属于 Eu-O 之间的电荷迁移带^[9].另外,在激发谱中还观察到了一些发光强度相当弱的线状峰,如 396、468 和 538nm 线状峰,它们归为 Eu^{3+} 离子 $4f-4f$ 能级间禁带跃迁^[9].在 265nm 激发下,该磷光体的发射谱是由一系列波长范围为 400~750nm 窄的稀土离子特征发射峰组成,

可归为 Eu^{3+} 的 $^5D_J(J=0, 1)$ 到 $^7F_J(J=0, 1, 2, 3, 4)$ 能级跃迁, 主要发射峰位分别在 538nm ($^5D_1 - ^7F_1$), 555nm ($^5D_1 - ^7F_2$), 586nm ($^5D_1 - ^7F_3$) 和 594nm ($^5D_0 - ^7F_1$), 616 和 625nm ($^5D_0 - ^7F_2$)^[9]. 需要指出的是, 在 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Eu},\text{Ti}$ 样品的发射谱中并没有观察到单掺 Ti 的 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}$ 磷光体中 Ti 离子的特征宽发射峰^[7,8].

图 2 为发光衰减时间分别在 1、5 与 10min 时, $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Eu},\text{Ti}$ 磷光体的余辉分辨谱. 与图 1 中 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Eu},\text{Ti}$ 稳态发射谱不同, Ti 和 Eu 共掺杂样品的余辉分辨谱较为复杂. 从图中可以看出, 谱线由一个宽发射带和一系列窄的线状发射带组成. 随着发光衰减时间的延长, 这些余辉谱强度有所下降, 但余辉谱中这两种峰的形状一直存在. 通过 Gauss 拟合可更清楚地发现 (见图 3): 余辉分辨谱是由一个主峰位于 565nm 宽带发射和一些窄的尖峰组成, 与单掺 Ti 的 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti}$ 长余辉特性对比, 前者归属为 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}$ 基质中 Ti 离子余辉发射^[6,7]; 后者与 Eu^{3+} 离子特征发射谱比较相似^[9], 即两者的峰位置比较吻合; 从材料组成以及发光特性分析, 应归属为 Eu^{3+} 离子的余辉发射. 当然需要指出的是, 图 3 中的 Eu^{3+} 离子余辉发射谱与稳态发射谱 (图 1) 之间的各发射峰强度差别明显, 这种差别将在下文中给出合理的解释.

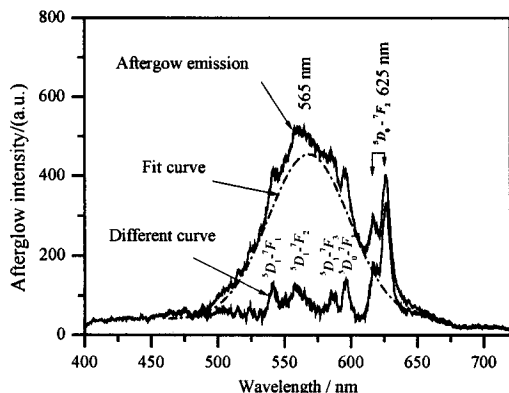


图 3 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:0.03\text{Ti},0.03\text{Eu}$ 磷光体在发光衰减 5min 时余辉分辨谱的分峰曲线

Fig. 3 Peak fitting curves for afterglow time-resolved spectrum of the $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:0.03\text{Ti},0.03\text{Eu}$ phosphor at the decay time of 5min

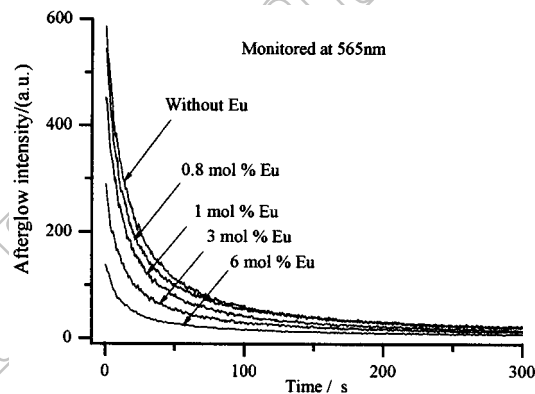


图 4 经 265nm 激发 3min 后 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:0.03\text{Ti},x\text{Eu}$ 磷光体以 565nm 为监控波长的余辉衰减曲线 ($x=0, 0.008, 0.01, 0.03, 0.06$)

Fig. 4 Afterglow curves at 565nm of $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:0.03\text{Ti},x\text{Eu}$ after 265nm irradiation for 3min ($x=0, 0.008, 0.01, 0.03, 0.06$)

单掺 Eu^{3+} 的 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}$ 磷光体是一种很早就被人们所熟知红色荧光材料, 其寿命约在微秒级, 因此 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Eu}$ 磷光体无长余辉现象^[10]. 但当 Ti 离子掺入后, $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti},\text{Eu}$ 样品中产生余辉时间长达 3h ($\geq 0.32\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}$) 的发光现象; 并且, 在 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti},\text{Eu}$ 样品余辉分辨谱中同时观察到两种特征余辉峰形发射, 即 Ti 离子的 565nm 宽余辉发射带和 Eu^{3+} 离子的窄余辉发射带. 考虑到只有掺入 Ti 的样品中才能观测到这种 Eu^{3+} 离子的窄余辉发射现象, 因此我们认为 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti},\text{Eu}$ 磷光体中 Eu^{3+} 余辉发射与 Ti 离子的余辉发射密切相关. 同时, 在实验中发现掺入 Ti 的 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Re}(\text{Re}=\text{Sm}^{3+}, \text{Tm}^{3+} \text{ 等})$ 磷光体也显示出不同色度和时间的余辉发射现象.

$\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti},\text{Eu}$ 样品中观察到的 Eu^{3+} 余辉发射谱有两种可能的产生途径. 一种是源于 Ti 离子掺杂时引入的杂质陷阱能级, 第二种是直接起源于 Ti 余辉发射向 Eu^{3+} 的传能. 从相

关的实验数据分析, 认为在 Ti 余辉衰减过程中向 Eu^{3+} 发光中心传能的可能性较大. 一方面, 实验观察到经紫外光激发后的 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti}, \text{Eu}$ 样品 565nm 处 Ti 余辉发射峰的强度随 Eu^{3+} 掺杂浓度的提高不断地下降如图 4 所示. 这与荧光材料中光敏化传能现象极为相似^[11], 表明 Ti 与 Eu^{3+} 之间可能存在着余辉能量传递的互补现象. 另一方面, 从图 3 中 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti}, \text{Eu}$ 的余辉分辨谱也发现了一个重要的信息, 即 Eu^{3+} 的余辉分辨谱中只出现了波长 $>500\text{nm}$ 的长波发射, 而位于 $400\sim 500\text{nm}$ 之间的短波段发射峰完全消失, 这与图 1 中 Eu^{3+} 稳态发射谱线相差明显. 此结果表明, Eu^{3+} 离子余辉发射不可能来源于 Ti 掺入引起的杂质能级. 因为杂质能级引起的余辉发光, 一般是来源于热 / 光激活被捕获电子 / 空穴, 进而与基质中其他电子或空穴复合, 复合能量传给发光中心离子即产生余辉发光现象^[4]. 当发光中心为三价稀土离子 $\text{Re}(\text{Eu}^{3+}, \text{Sm}^{3+} \text{ 和 } \text{Tm}^{3+} \text{ 等})$ 时, 由于这类离子具有特殊的电子层构型 $(\text{Xe})(4f)^n(5s)^2(5p)^6$, 其内层 $4f$ 能级间的电子跃迁被外层电子所屏蔽, 这种跃迁具有固定的能级. 所以, 当这种空穴和电子复合能量传递给 Eu^{3+} 发光中心时, 应产生 Eu^{3+} 的全部特征发射. 而图 3 中给出的余辉发射谱只能观察到波长 $>500\text{nm}$ 的 Eu^{3+} 能级跃迁发射峰, 这表明 Eu^{3+} 余辉发射谱线明显地具有选择性. 这种选择性发光一般与敏化作用机制有关, F.S.Richardson 等人在研究螺旋转移核糖核酸等配体能量传递给 Eu^{3+} 过程中发现, 该配体对 Eu^{3+} 的发光传能时具有选择敏化增强作用^[5]. 因此图 3 中 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti}, \text{Eu}$ 样品中 Eu^{3+} 余辉发射光谱的形成可能与 Ti 具有选择性的余辉传能有关.

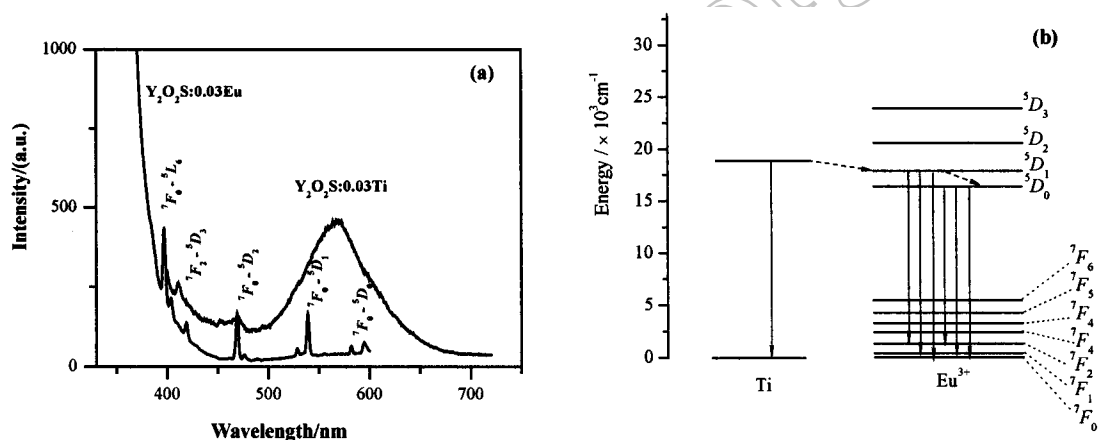


图 5 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti}$ 样品的发射谱与 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Eu}$ 样品激发谱的重迭图 (a) 和 Ti 和 Eu^{3+} 传能示意图 (b)

Fig. 5 (a) Overlap function of the emission for the single Ti doped $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}$ sample and excitation spectrum of the single Eu doped $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}$ sample and (b) energy levels and energy transfers between Ti and Eu^{3+}

在荧光材料中, 发生能量传递的条件是要求施主离子的发射光谱和受主离子的激发谱有一定的重合, 这对传递和输运至关重要; 重合越大, 意味着传递几率越高^[11]. 这种能量相匹配关系也同样适用于余辉发光的传能过程. 如图 1 所示, Eu 在 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}$ 基质中的主要激发峰 (260 和 320nm) 都位于 400nm 以下, 与单掺 Ti 的 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}$ 样品宽发射带 (在 $450\sim 650\text{nm}$ 范围) 相距较远, 因此它们之间不可能发生能量传递. 另外, 我们注意到在可见光波段 Eu^{3+} 存在一些强度较弱的吸收带, 如 $7F_0-5D_J (J=1, 2, 3)$ 等. 这些弱的激发带与 Ti 离子的 565nm 宽发射带 (余辉发射) 重合, 图 5(a) 给出了相应谱峰的重叠情况. 因此, Ti 离子的

565nm 宽发射带(余辉发射)与 Eu^{3+} 的弱窄吸收带^[9]可存在如下的余辉能量传递机理:光照激发后, $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti}$ 样品在发光衰减过程中,产生中心峰位置在 565nm 处余辉发射带;由于该宽余辉发射谱与 Eu^{3+} 的 ${}^7F_0-{}^5D_1$ (539nm)和 ${}^7F_0-{}^5D_0$ (583nm)窄吸收带相重合,产生了能量传递过程,即将 Ti 离子的余辉发射能量直接传给 Eu^{3+} 的 5D_1 和 5D_0 激发态,随后能量又从 5D_1 激发态弛豫到 5D_0 发射能级,最后返回基态产生了 Eu^{3+} 离子的余辉发射,相应的 Ti 和 Eu^{3+} 能级和传能途径示于图 5(b) 中。

上述分析表明,这种余辉传能只发生于 Eu^{3+} 的 ${}^7F_0-{}^5D_J$ ($J=1, 2, 3$) 能级区间,这就不难理解在 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti}, \text{Eu}$ 样品中只观测到了波长 $>500\text{nm}$ 的 Eu^{3+} 余辉发射。另一方面, $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti}, \text{Eu}$ 样品中 Eu^{3+} 余辉发射强度受 Ti 离子的余辉发射效率和 Ti 离子 565nm 宽余辉发射带与 Eu^{3+} 弱 $f-f$ 窄吸收带传能效率,以及 Eu^{3+} 离子发光过程 ${}^5D_J-{}^7F_I$ ($J, I=1, 2, 3$) 电子跃迁几率等因素制约,因此在实验中观察到 Eu^{3+} 的余辉发光谱中各峰强度比例关系(图 3)与稳态谱各峰强度比例(图 1)明显不同。尽管 Ti 与 Eu^{3+} 之间谱重合较少(见图 5(a)),能量传递效率较低,但与单掺 3mol%Ti 的 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti}$ 稳态发光强度(356 CPS)相比^[6,7],共掺 3mol% Eu^{3+} 的 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti}$ 磷光体(3120 CPS)显著提高发光强度约 10 倍左右,余辉发光亮度(发光在衰减 10min 时)也提高约是单掺 Ti 磷光体的 5 倍,可见共掺稀土 Eu^{3+} 离子显著增大 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti}$ 磷光体的发光和余辉性能,这可能与稀土离子具有高效发光性能有关。同时,基于 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti}$ 中的 Ti 离子具有较宽的发射带,且波长可在一定范围内调节的特性,可能存在类似本研究中发现的 Ti 离子宽发射带与其他稀土离子之间的传能过程,为研究与开发新型、高效的长余辉材料提供新的技术途径。

4 结论

合成了一种 Eu 和 Ti 共激活的 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}$ 橙红色长余辉材料。测定荧光光谱发现, $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Eu}, \text{Ti}$ 磷光体的稳态发射光谱是由一系列尖峰组成,归于 Eu^{3+} 离子内部能级间跃迁;而余辉分辨谱则由一个主峰位于约 565nm 处宽发射带和一系列波长范围 $>500\text{nm}$ 的窄发射带组成,他们分别归属为 Ti 离子的宽带余辉发射和 Eu^{3+} 的线状余辉发射。分析表明,因 Ti 离子的 565nm 余辉发射向 Eu^{3+} 发光中心进行了选择性余辉传能,导致 $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Ti}, \text{Eu}$ 磷光体中同时具有两种发光中心的余辉分辨谱。

参考文献

- [1] Matsuzawa T, Aoki Y, Takeuchi N, et al. *J. Electrochem. Soc.*, 1996, **143** (8): 2670-2673.
- [2] Jia D, Wang X, Kolk E, et al. *Optics Communication*, 2002, **204**: 247-251.
- [3] Jia W, Yuan H, Holmstrom S, et al. *J. Lumin.*, 1999, **83-84**: 465-469.
- [4] Qiu J, Hirao K. *Solid State Communications*, 1998, **106**: 795-798.
- [5] 孙家跃, 杜海燕, 胡文祥. 固体发光材料, 第一版. 北京: 化学工业出版社, 2003. 151-161.
- [6] Zhang P Y, Wang M Q, Hong Z L, et al. *J. Rare Earths*, 2004, **22**: 75-78.
- [7] 张朋越, 洪樟连, 黄秋平, 等 (ZHANG Peng-Yue, et al). 硅酸盐学报 (Journal of the Chinese Ceramic Society), 2005, **33** (2): 8-12.
- [8] Zhang P Y, Hong Z L, Wang M Q, et al. *J. Lumin.*, 2005, **113** (1-2): 89-93.
- [9] Imanaga S, Yokono S, Hoshina T. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1980, **19**: 41-49.
- [10] Fonger W H, Struck C W. *J. Electrochem. Soc.*, 1971, **118** (2): 273-280.
- [11] Dexter D L, Schulman J H. *J. Chem. Phys.*, 1954, **22**: 1063-1070.

Afterglow and Energy Transfer from Ti to Eu^{3+} in $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:0.03\text{Eu},0.03\text{Ti}$ Phosphor

HONG Zhang-Lian^{1,2}, ZHANG Peng-Yue², HUANG Qiu-Ping¹,
FAN Xian-Ping^{1,2}, WANG Min-Quan^{1,2}

(1. Department of Materials Science and Engineering; 2. State Key Laboratory of Silicon Materials, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: A new kind of orange-red long afterglow Eu and Ti co-doped $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}$ phosphor was synthesized *via* a traditional solid state reaction method under reducing atmosphere of CO. The photoluminescence spectrum, afterglow time-resumed spectrum and afterglow decay curve of the $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:0.03\text{Ti},0.03\text{Eu}$ phosphors were measured. The result shows that the emission spectrum of $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:0.03\text{Ti},0.03\text{Eu}$ consists of a group of narrow linear peaks from charge transmission of Eu^{3+} . The orange-red afterglow was observed in present phosphors with two different luminescence centers: a broad yellow emission band around 565nm related to Ti emission and a group of narrow peaks of Eu^{3+} emission in the longer wavelength range. The afterglow mechanism of Eu^{3+} emission was suggested to come from the energy transfer process from Ti afterglow emission to Eu ions, and result in two different afterglow centers of Ti afterglow emission and Eu^{3+} afterglow emission in present $\text{Y}_2\text{O}_2\text{S}:0.03\text{Ti},0.03\text{Eu}$ phosphor.

Key words afterglow; energy transfer; phosphor; photoluminescence; rare earth

《中国材料工程大典·无机非金属材料工程》出版

《中国材料工程大典》是关于材料的结构和性能、制备和测试、成形和加工、热处理和表面工程的大型工具书。《中国材料工程大典》共 26 卷，近 7000 万字，由中国机械工程学会、中国材料研究学会牵头组织编写，1200 多名专家学者，包括 39 名两院院士、百余名各学科学术带头人参加了编写和审稿工作。是我国迄今为止篇幅最大、涵盖内容最为新颖、全面、丰富和权威的材料工程工具书。《中国材料工程大典》由化学工业出版社出版，2006 年 1 月成批出版，2006 年 3 月全套出齐。

《无机非金属材料工程》是《中国材料工程大典》的第 8、9 卷，是我国迄今为止篇幅最大，涵盖内容最新、最全的无机非金属材料工程方面的专业工具书。分别介绍了结构陶瓷(含陶瓷基复合材料)、功能陶瓷、传统陶瓷、玻璃、晶体材料、无机涂层材料、耐火材料、碳与石墨材料、水泥与混凝土和其他新型无机材料等各种无机材料。

《中国材料工程大典》各卷图书信息和其他详情，请登录化学工业出版社网站 www.cip.com.cn

联系地址：北京市朝阳区惠新里 3 号楼(邮政编码 100029) 咨询电话：010-64982532
销售电话：010-64918083, 64982530(销售中心) 传真：010-64982630