

低温燃烧法制备 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}, \text{Er}^{3+}$ 高亮度 蓝光荧光粉及发光性能研究*

刘丹 梁培[†] 王乐[‡] 徐国堂 刘阳 李晓艳 董前民 黄杰

(中国计量学院, 光学与电子科技学院, 杭州 310018)

(2013年5月8日收到; 2013年6月29日收到修改稿)

采用低温燃烧法合成 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ 及 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}, \text{Er}^{3+}$ 蓝色发光材料, 通过 X 射线衍射仪 (XRD)、扫描电子显微镜 (SEM) 和荧光光谱仪 (PL) 等测试手段对所得样品进行表征. XRD 及 SEM 测试结果表明: 利用低温燃烧法合成 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ 材料具有较高的结晶度, 且微量的稀土元素掺杂不会破坏其晶体结构; PL 测试结果表明: $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ 荧光粉在 300—390 nm 范围内可以被有效的激发, 该波长范围与近紫外 LED 芯片匹配, 发射光谱分布在 430—520 nm 之间, 发射峰位于 460 nm, 属蓝光发射材料. 共掺 Er^{3+} 可显著增强 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ 的发光强度, 且当 Er^{3+} 的掺杂浓度为 4% 时, 样品的发光强度最大, 较单掺 Eu^{2+} 时样品的发光强度高出 54.9%, 表明 Er^{3+} 对 Eu^{2+} 的发光具有良好的敏化作用, 该敏化作用的机理可以利用能量传递原理进行解释.

关键词: 低温燃烧法, $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$, 蓝光荧光粉, 敏化作用

PACS: 78.55.-m, 78.60.Lc, 81.20.Ka

DOI: 10.7498/aps.62.197802

1 引言

发光二极管 (light emitting diode, LED) 作为一种新型固体光源, 以其节能、绿色环保、寿命长且体积小等诸多优点^[1-3], 在室内照明、液晶显示以及背光源等方面显示出巨大的应用前景^[2,3]. 获取白光 LED 的途径大致有三种: 光转换、多色 LED 芯片组合和多量子阱^[4,5]. 光转换法是目前较常用的方法, 然而传统 $\text{YAG}:\text{Ce}^{3+}$ 荧光粉由于低显色性、高色温等因素制约而难以满足发展需求^[6,7], 利用近紫外芯片激发三基色荧光粉成为获得白光 LED 的一种有效途径, 因而发展高性能三基色荧光粉具有重要意义.

在三基色荧光粉中, $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ 作为一种潜在的 LED 蓝色荧光粉受到越来越多地关注^[8-11], 目前合成荧光粉的主要方法是高温固

相法, 但此种方法存在生产周期长、成本高等缺点^[12], 在这种情况下就需要一种更为优良的荧光粉制备方法. 燃烧合成法是将相应的金属硝酸盐 (氧化剂) 和尿素等有机化合物 (还原剂) 的混合物放置在一定温度的环境下, 以某种方法点燃, 随后依靠原料燃烧释放出的热量, 来维持反应系统处于高温状态, 使合成过程独自维持下去直至反应结束, 最后得到目标产物的一种方法^[13]. 该方法不仅工艺简单、合成温度低、反应时间短, 而且产物具有良好的结晶度及发光强度, 弥补了高温固相法的不足^[12].

目前, 研究人员已经成功的用燃烧法合成了如 $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ ^[8,11], $\text{BaAl}_{12}\text{O}_{19}:\text{Mn}^{2+}$ ^[8,11], $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ ^[8,11,14], $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ ^[9] 等优质荧光粉, 其反应的炉温远低于传统高温固相法的反应温度, 并且其分析结果表明: 燃烧法合成的产物晶相比较纯且发光性能可以

* 国家自然科学基金青年基金 (批准号: 61006051, 61177050), 浙江省自然科学基金 (批准号: Y407370, Y1110777) 和浙江省重点科技创新团队 (批准号: 2010R50020) 资助的课题.

[†] 通讯作者. E-mail: plianghust@gmail.com

[‡] 通讯作者. E-mail: kingbo66@163.com

达到传统方法制备荧光粉的水平. 为了进一步提高 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ 的发光性能, 本文以 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 为燃料, H_3BO_3 为助熔剂, Li_2CO_3 为电荷补偿剂, 采用燃烧法制备高亮度蓝色荧光粉 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$, Er^{3+} , 并对其发光性能及其发光机理进行了系统研究.

2 实验部分

2.1 样品制备

以 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (分析纯), $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (分析纯), $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (分析纯), H_3BO_3 (分析纯), $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ (分析纯), Li_2CO_3 (分析纯), Eu_2O_3 (99.99%) 和 Er_2O_3 (99.99%) 为原料, 采用低温燃烧法合成 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ 及 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$, Er^{3+} 发光材料. 具体步骤为: 按照化学计量比称取以上原材料, 置于玛瑙研钵中研磨, 使其充分的混合并得到黏稠膏状物; 将该混合物置于坩埚中, 待马弗炉升温至 600°C 后, 将盛有试剂的坩埚置入炉内燃烧, 整个燃烧过程持续约 1—2 min, 保温 5 min 分钟后取出坩埚, 冷却至室温取出产物并研磨.

2.2 样品表征

采用德国 Bruker D2 PHASER 型 X 射线衍射仪 (铜靶 $K\alpha$ 线, $\lambda = 0.15406$ nm, 步长 0.02° , 扫描范围 10° — 80° , 电压和电流分别为 30 kV 和 10 mA) 测得样品的粉末衍射图; 采用 HORIBA JobinYvon Fluorolog 荧光光谱仪测得样品的激发光谱和发射光谱; 采用德国 ZEISS ULTRA 55 型扫描电子显微镜 (SEM) 测得样品的形貌特征, 所有表征均在室温下完成.

3 结果及讨论

3.1 样品物相组成分析

3.1.1 XRD 图分析

采用低温燃烧法在 600°C 下合成 $\text{Sr}_{1-x}\text{MgAl}_{10}\text{O}_{17}:x\text{Eu}^{2+}$ ($x = 1\%$, 3% , 5% , 7%) 样品的 X 射线衍射 (XRD) 与标准衍射卡片对比图, 如图 1 所示. 由图 1 可以看出, 样品的衍射峰与 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ 标准衍射卡片 (JCPDS 卡片)26-0879 的衍射峰一

致, 不仅具有较高的衍射峰, 且未出现杂峰, 表明采用低温燃烧法成功合成了单一相的 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ 结构. 对比不同掺杂浓度的样品发现 Eu^{2+} 的加入并不会改变基质的结构, 但通过对 XRD 图谱的局部放大发现, 随着 Eu^{2+} 掺杂浓度的增加, $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ 样品的衍射峰向右出现了微小的偏移 (图 2), 这是由于作为激活剂的 Eu^{2+} 半径 (0.112 nm) 与 Sr^{2+} 半径 (0.126 nm) 最为接近, 因此 Eu^{2+} 进入基质后取代 Sr^{2+} , 使得样品的晶格常数减小, 导致晶面间距变小.

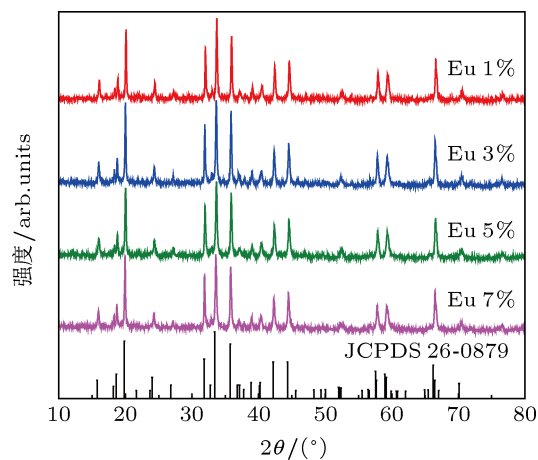


图 1 不同 Eu^{2+} 掺杂浓度 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ 样品的 XRD 与标准卡片对比图

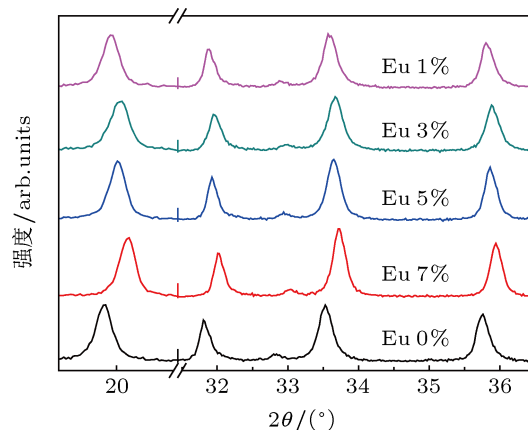


图 2 不同 Eu^{2+} 掺杂浓度 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ 样品的 XRD 局部放大图

采用 Scherrer 公式估算晶粒尺寸:

$$D_{hkl} = k\lambda / \beta \cos \theta,$$

其中, D_{hkl} 为沿晶面 (hkl) 衍射方向上的晶粒直径, k 为 Scherrer 常数 (通常为 0.89), λ 为入射 X 射线波长 ($\text{Cu}K\alpha$ 波长为 0.15406 nm, $\text{Cu}K\alpha_1$ 波长为 0.15418 nm), θ 为布拉格衍射角 ($^\circ$), β 为衍射峰的

半高峰宽 (rad). 根据上述公式计算不同晶面衍射方向上的晶粒直径并取平均值, 得到不同 Eu^{2+} 掺杂浓度样品的晶粒尺寸如表 1 所示.

表 1 不同 Eu^{2+} 掺杂浓度样品的晶粒尺寸

Eu^{2+} 掺杂浓度	1%(D_1)	3%(D_2)	5%(D_3)	7%(D_4)
晶粒尺寸/nm	32.37767	33.64737	30.25867	34.33707

由表 1 可知, $D_1/D_2 \approx 0.96226$; $D_1/D_3 \approx 1.07003$; $D_1/D_4 \approx 0.94294$, 因而 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ 样品的晶粒尺寸随着 Eu^{2+} 掺杂浓度的增加没有明显的变化.

图 3 为不同 Er^{3+} 掺杂浓度的 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Er}^{3+}$ 样品 XRD 图, 由图可见, 与单掺 Eu^{2+} 类似, 共掺 Eu^{2+} , Er^{3+} 的样品 XRD 衍射峰与 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ 的 JCPDS 卡片衍射峰一致, 且具有较强的衍射峰值, 表明实验成功合成了较高结晶度的 Eu^{2+} , Er^{3+} 共掺 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ 荧光粉.

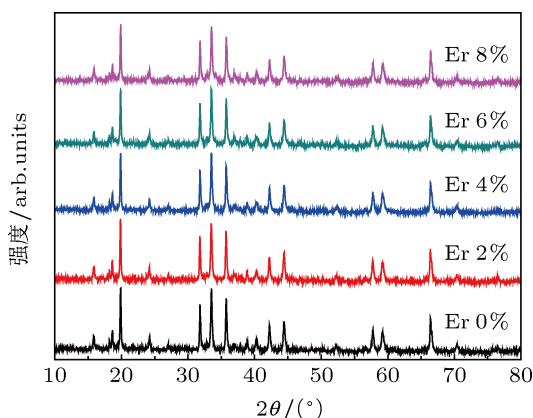


图 3 不同 Er^{3+} 掺杂浓度 $\text{Sr}_{0.95}\text{MgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Er}^{3+}$ 的 XRD 图

3.2 样品形貌分析

图 4 为 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ 样品放大 10000 倍 (a) 和 20000 倍 (b) 的 SEM 照片. 从图中可以看出 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ 晶体呈棒状结构, 长度在 $1\ \mu\text{m}$ 左右, 且荧光粉体尺寸均匀、形貌规则, 但出现一定的团聚现象, 这是由于在燃烧反应过程中温度极高从而导致样品部分出现烧结现象, 该结果与游燕^[15] 的研究报道相一致. 同样 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ 及 $\text{Sr}_{0.95}\text{MgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Er}^{3+}$ 的 SEM 图像与此类似, 由此可知稀土离子的单掺杂与共掺杂对 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ 样品的形貌没有明显的影响.

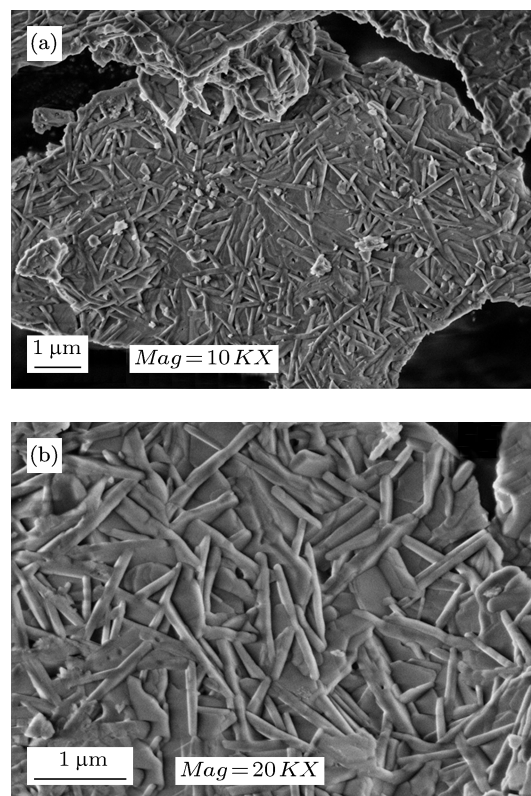


图 4 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ 样品 SEM 照片 (a) 10000 倍; (b) 20000 倍

3.3 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ 光谱特性分析

图 5 为不同 Eu^{2+} 掺杂浓度的 $\text{Sr}_{1-x}\text{MgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ 激发光谱 (a) 和发射光谱 (b) 图. 由图可以看出: $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ 荧光粉具有较宽的激发光谱 (300—390 nm), 与近紫外 LED 芯片相匹配^[16], 且在 340 nm 处表现出强烈的吸收特性, 这是 Eu^{2+} 离子由基态 $4f^8(8S_{7/2})$ 到 $5d$ 分裂能级 $5d$ (e_g) 跃迁吸收引起的; 发射光谱同样具有较宽的发射带 (430—520 nm), 发射峰位于 460 nm 附近, 这是由于 Eu^{2+} 的 $4f^65d \rightarrow 4f^7$ 跃迁引起的. 样品中并未检测到 Eu^{3+} 离子的 $5D_0 \rightarrow 7F_j$ ($j = 1, 2, 3$) 跃迁辐射 (580—750 nm), 表明掺杂的 Eu^{3+} 离子被完全还原为 Eu^{2+} , 这是由于在燃烧反应过程中会生产大量的气体, 如 NH_3 , N_2 , CO_2 以及氮的氧化物和水蒸气等, 这些气体可以有效地隔绝周围的氧气, 同时具有还原性的气体将 Eu^{3+} 离子还原成 Eu^{2+} 离子. 荧光粉的发光强度主要取决于掺入激活剂稀土离子的含量, 即发光中心的数量. 在相同合成条件下, $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ 荧光粉随着 Eu^{2+} 掺杂浓度的增加, 发光强度呈现先增强后减弱的趋势, 当掺杂量为 5% 时发光强度达到最大值 (如图 5(b)). 这是由于在较低掺杂浓度时, 发光强度与发光中心数

量成正相关,随着 Eu^{2+} 掺杂浓度的增加,基质中的发光中心增多, Eu^{2+} 吸收激发光强的能力增加,使得发光强度增强;与此同时,随着 Eu^{2+} 掺杂浓度的增加,使得发光中心之间的平均距离缩短, Eu^{2+} 离子间相互作用增强,则相互间以非辐射方式进行的能量传递 ($\text{Eu}^{2+}-\text{Eu}^{2+}$) 相应加快,当该能量传递速率与 Eu^{2+} 离子的发射速率相同时,发光强度达到最大值,当能量传递速率大于 Eu^{2+} 离子的发射速率时,样品的发光强度会出现明显的下降 [17]. 同时随着 Eu^{2+} 离子浓度的增加,致使 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ 晶格畸变加剧,而晶格缺陷的大量存在,亦可能吸收激活能而形成猝灭中心.

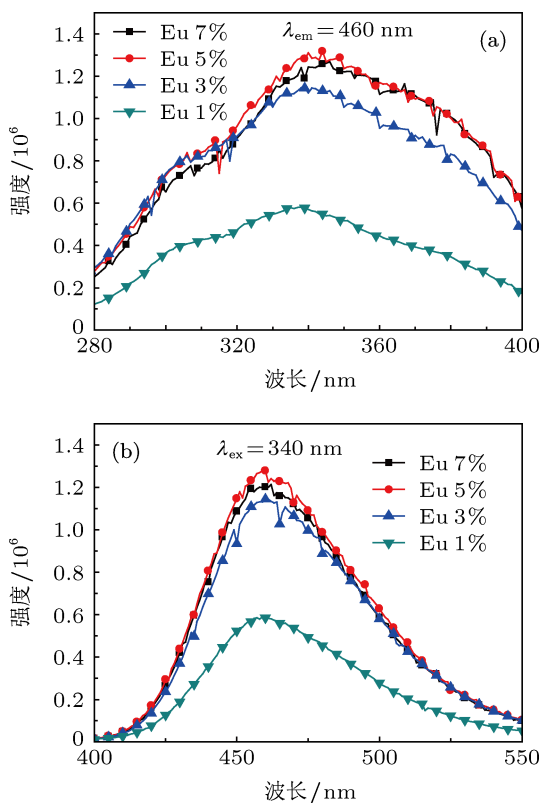


图5 不同 Eu^{2+} 掺杂浓度下 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ 的激发 (a) 与发射 (b) 光谱

3.4 共掺 Er^{3+} 对样品发光性能的影响

$\text{Sr}_{0.95}\text{MgAl}_{10}\text{O}_{17}:0.05\text{Eu}^{2+}, \text{Er}^{3+}$ 共掺杂荧光粉中, Eu^{2+} 是以正二价的形态存在,而 Er^{3+} 则以正三价的形态存在,这是因为两种稀土离子价态变化倾向不同. 稀土元素的价态变化倾向如图 6 所示,图中线的长短表示价态变化倾向的大小. 影响稀土价态稳定性的因素主要有: 第三电离能随原子序数的变化; 稀土光学电负性随原子序变化; $\text{RE}^{3+} \rightarrow \text{RE}^{2+}$ 标准还原电位随原子序的变化; 基质组成结构及稀

土离子的取代格位 [18]. 由图 6 可知, Eu^{3+} 易还原为二价离子 Eu^{2+} , 而 Er^{3+} 变价倾向极弱 [18,19], 因而根据 Er^{3+} 极不易变价特性, 利用燃烧法合成 $\text{Eu}^{2+}, \text{Er}^{3+}$ 共掺杂的 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ 荧光粉.

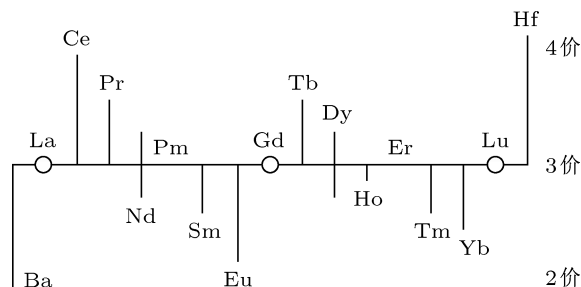


图6 稀土元素的价态变化倾向

图 7 所示为不同 Er^{3+} 掺杂浓度 $\text{Sr}_{0.95}\text{MgAl}_{10}\text{O}_{17}:0.05\text{Eu}^{2+}, \text{Er}^{3+}$ 及 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Er}^{3+}$ 激发谱 (内置) (a) 与发射 (b) 光谱. 由图可以看出, 共掺 Er^{3+} 后, 激发光谱与发射光谱的峰形及峰值位置基本保持不变, 主发射峰位于 460 nm 的蓝光区段, 这与单掺 Eu^{2+} 时的发射峰一致, 说明样品的发光中心仍是 Eu^{2+} . 随着 Er^{3+} 掺杂浓度的增加, $\text{Sr}_{0.95}\text{MgAl}_{10}\text{O}_{17}:0.05\text{Eu}^{2+}, \text{Er}^{3+}$ 的发光强度同样具有先增强后减弱的趋势, 当掺杂浓度为 4% 时, 其发光强度达到最大值, 且 Eu^{2+} 和 Er^{3+} 共掺杂样品较单掺 Eu^{2+} 的发光强度高出 54.9%. 这表明在 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ 基质中, Er^{3+} 对 Eu^{2+} 的发光具有良好的敏化作用, Er^{3+} 可以将吸收的部分光能量有效的传递给 Eu^{2+} , 促使 Eu^{2+} 的发光强度增强 [20,21]. 而当 Er^{3+} 的掺杂浓度高于 4% 时, 对 Eu^{2+} 的敏化作用开始减弱, 导致样品的发光强度急剧下降, 这是由于 Er^{3+} 的浓度猝灭引起的, 因而在 5% 的 Eu^{2+} 掺杂浓度下, 共掺 4% 的 Er^{3+} 可以显著提高 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ 的发光强度.

为了更好的分析 Eu^{2+} 与 Er^{3+} 之间的能量传递关系, 又研究了 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:0.04\text{Er}^{3+}$ 的光谱特性. 由图 7(b) 内置图中可以看出, $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:0.04\text{Er}^{3+}$ 的发射光谱由多个发射峰组成, 且强度相对较低. 通过对比图 5(b) 与图 7(b) 可以发现, 共掺杂 $\text{Sr}_{0.95}\text{MgAl}_{10}\text{O}_{17}:0.05\text{Eu}^{2+}, \text{Er}^{3+}$ 的发射光谱在 511 nm 与 533 nm 处存在微弱的 Er^{3+} 特征发射峰, 这分别是由 Er^{3+} 的 $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ 及 $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ 能级的辐射跃迁引起的; $^4\text{F}_{5/2}$ 与 $^2\text{H}_{11/2}$ 能级的特征辐射跃迁并不明显, 而 Eu^{2+} 的特征光谱出现极大的增强 [19,20]. 由此推断, 在 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}, \text{Er}^{3+}$ 荧光粉中, Er^{3+} 的 $^4\text{F}_{5/2}, ^2\text{H}_{11/2}$ 能级与 Eu^{2+} 的

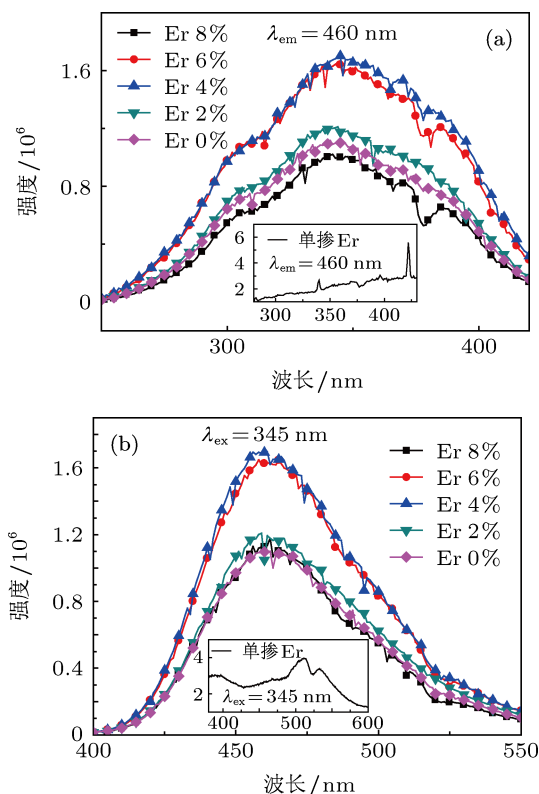


图7 不同 Er^{3+} 掺杂浓度 $\text{Sr}_{0.95}\text{MgAl}_{10}\text{O}_{17}:0.05\text{Eu}^{2+}, \text{Er}^{3+}$ 及 $\text{Sr}_{0.95}\text{MgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Er}^{3+}$ 激发谱(内置)与发射(b)光谱

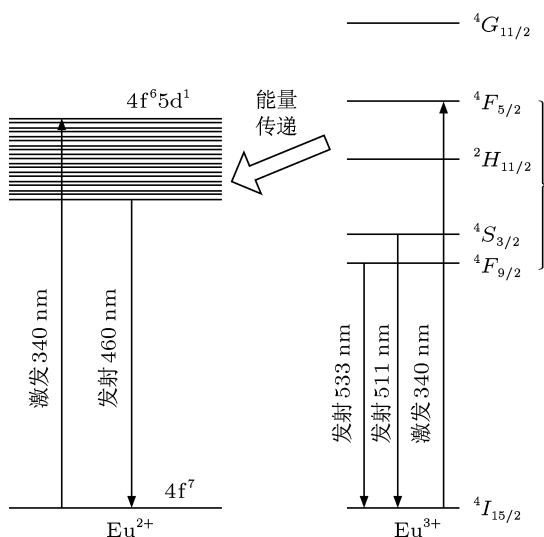


图8 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$ 中 Er^{3+} 与 Eu^{2+} 能量传递示意图

$4f^65d^1$ 能级进行高效的能量传递, 这里 Er^{3+} 吸收的能量通过非辐射跃迁方式传递给 Eu^{2+} , 从而有效的促进 Eu^{2+} 发射, 其能量传递示意图如图8所示. 这里稀土离子之间的非辐射能量传递是以共振传递的方式进行的, 也就是近场作用下的等能传递. 这种能量传递必须满足稀土离子之间的能级匹配和稀土离子之间的距离足够近这两个条

件. 实验中 Er^{3+} 和 Eu^{2+} 能级匹配且浓度都接近发光猝灭浓度故满足存在非辐射式能量传递的两个条件. 由此可以看出, Er^{3+} 对 Eu^{2+} 的敏化机理主要是 Er^{3+} 以非辐射跃迁方式将吸收的能量高效的传递给 Eu^{2+} , 从而促进 Eu^{2+} 的发射光强, 在此过程中同时伴随着 Er^{3+} 微弱的辐射跃迁. 图9为不同 Er^{3+} 掺杂浓度的色度图, 其中单掺 Eu^{2+} 时色坐标为 (0.1326, 0.1339), 而共掺杂 Er^{3+} 浓度为 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 时相对应的色坐标分别为 (0.1323, 0.1388), (0.1330, 0.1284), (0.1331, 0.1242), 可以看出色坐标没有明显的位移, 由此表明, Er^{3+} 的 $4S_{3/2} \rightarrow 4I_{15/2}$ 及 $4F_{9/2} \rightarrow 4I_{15/2}$ 能级辐射跃迁对荧光粉的色纯度影响较小, 可作为一种优异的LED用蓝色荧光粉.

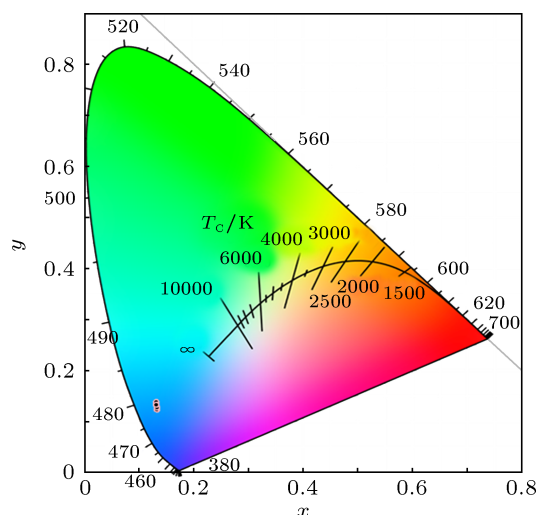


图9 不同 Er^{3+} 掺杂浓度 $\text{Sr}_{0.95}\text{MgAl}_{10}\text{O}_{17}:0.05\text{Eu}^{2+}, \text{Er}^{3+}$ 的色度图

4 结论

采用燃烧法成功合成了 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}, \text{Er}^{3+}$ 高亮度蓝光荧光粉, 该荧光粉不仅具有较高的结晶度及相位纯度, 且激发光谱 (300—390 nm) 与近紫外 LED 芯片相匹配, 在 340 nm 近紫外光的激发下, 由于 Eu^{2+} 的 $4f^65d \rightarrow 4f^7$ 辐射跃迁, 在 430—520 nm 波段内发出较强的发射光谱, 发射峰在 460 nm 附近. Eu^{2+} 和 Er^{3+} 共掺杂样品的发光强度较单掺 Eu^{2+} 时的发光强度高出 54.9%, 这是由于 Er^{3+} 对 Eu^{2+} 发光有较强的敏化作用, 当 Er^{3+} 的掺杂浓度为 4% 时, 样品的发光强度达到最大值. 因而 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}, \text{Er}^{3+}$ 可以作为一种性能良好的三基色 LED 用蓝光荧光粉.

- [1] Ponce F A, Bour D P 1997 *Nature* **386** 351
- [2] Pimputkar S, Speck J S, DenBaars S P, Nakamura S 2009 *Nature Photonics* **3** 180
- [3] Morkoc H, Mohammad S N 1995 *Science* **267** 51
- [4] Muthu S, Schuurmans F J, Pashley M D 2002 *IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics* **8** 333
- [5] Xiao D, Kim K, Bedair S, Zavada J 2004 *Appl. Phys. Lett.* **84** 672
- [6] Hirotsuki N, Xie R J, Kimoto K, Sekiguchi T, Yamamoto Y, Suehiro T, Mitomo M 2005 *Appl. Phys. Lett.* **86** 211905
- [7] Ho Ryu J, Park Y G, Won H S, Suzuki H, Kim S H, Yoon C 2008 *J. Ceram. Soc. Jpn.* **11** 6389
- [8] Onuma H, Tanno H, Suzuki A, Sahnoun R, Koyama M, Tsuboi H, Hatakeyama N, Endou A, Takaba H, Carpio C A 2010 *J. Soc. Inf. display* **18** 211
- [9] Wanjun T, Donghua C, Ming W 2009 *Optics & Laser Technology* **41** 81
- [10] Ju G, Hu Y, Chen L, Wang X 2012 *J. Lumin.* **132** 1792
- [11] Mahakhode J, Dhoble S, Joshi C, Moharil S 2007 *J. Alloys Compd.* **438** 293
- [12] Manjunathaa C, Sunitha D V, Nagabhushana H, Nagabhushana B M, Sharma S C, Chakradhar R P S 2012 *Spectrochim. Acta Part. A* **93** 140
- [13] Ekambaram S, Maaza M 2005 *J. Alloys Compd.* **395** 132
- [14] Singh V, Gundu Rao T, Zhu J J 2008 *J. Lumin.* **128** 583
- [15] You Y 2010 *M. E Dissertation* (Wuhan: Huazhong University of Science and Technology) (in Chinese) [游燕 2010 硕士学位论文 (武汉: 华中科技大学)]
- [16] Song G H, Liao J W, Jiang B, Ji X M, Cui Y P 2011 *Journal of Optoelectronics. Laser.* **22** 17791783 (in Chinese) [宋国华, 廖建文, 姜斌, 纪宪明, 崔一平 2011 光电子·激光 **22** 17791783]
- [17] Cao S X, Han T, Tu M J 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 127802 (in Chinese) [曹仕秀, 韩涛, 涂铭旌 2011 物理学报 **60** 127802]
- [18] Wu Y, Shi C S 1994 *chinese rare earths* **15** 37 (in Chinese) [吴郢, 石春山 1994 稀土 **15** 37]
- [19] Hong G Y 2011 *Rare earth luminescent materials-basic and applied* (beijing: Science Press) p200 (in Chinese) [洪广言 2011 稀土发光材料 - 基础与应用 (北京: 科学出版社) 第 200 页]
- [20] Ryu H, Bartwal K S 2008 *Physica B: Condensed Matter* **403** 3195
- [21] Bartwal K S, Ryu H, Brik M G, Sildos I 2009 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **42** 245401

Low-temperature combustion synthesis and luminescent properties of SrMgAl₁₀O₁₇:Eu²⁺, Er³⁺ high brightness blue phosphors*

Liu Dan Liang Pei[†] Wang Le[‡] Xu Guo-Tang Liu Yang
Li Xiao-Yan Dong Qian-Min Huang Jie

(College of Optics and Electronic Science and Technology, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)
(Received 8 May 2013; revised manuscript received 29 June 2013)

Abstract

The SrMgAl₁₀O₁₇:Eu²⁺ and SrMgAl₁₀O₁₇:Eu²⁺, Er³⁺ blue phosphors were synthesized by the combustion synthesis method. Their crystal structures and luminescent properties were analyzed by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM) and photoluminescence spectra, respectively. The XRD and SEM results indicate that the sample is well-crystallized in the combustion procedure, and its crystal structure has not changed when doped with low concentrations of rare-earth ions. PL results show that the phosphor of SrMgAl₁₀O₁₇:Eu²⁺ can be effectively excited by near UV LED chip with a broad emission spectrum extending from 430 nm to 520 nm, and has main peaks located at 460nm. Furthermore, the sample of the luminous intensity is the largest when the Er²⁺, Er³⁺ co-doped concentration is 4%, and the emission intensity of Sr_{0.95}MgAl₁₀O₁₇:0.05Eu²⁺, Er³⁺ phosphor is significantly enhanced 54.9% higher than that of SrMgAl₁₀O₁₇:Eu²⁺ phosphor. It is indicated that Er³⁺ has good sensitization effect for Eu²⁺ in luminescence, and this can be explained by the theory of energy transfer.

Keywords: low-temperature combustion synthesis, SrMgAl₁₀O₁₇, blue phosphor, sensitization effect

PACS: 78.55.-m, 78.60.Lc, 81.20.Ka

DOI: 10.7498/aps.62.197802

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61006051, 61177050), the Natural Science Foundation of Zhejiang Province, China (Grant Nos. Y407370, Y1110777), and the Key Scientific and Technological Innovation Team of Zhejiang Province, China (Grant No. 2010R50020).

[†] Corresponding author. E-mail: plianghust@gmail.com

[‡] Corresponding author. E-mail: kingbo66@163.com