

LED 发光材料的制备及应用前景

邵文尧, 何彩云, 胡超群, 陈玉清

(厦门大学化学化工学院, 福建 厦门 361005)

摘 要: 发光二极管(Light Emitting Diodes LED)在日常生活生产中得到了广泛的应用。本文对发光材料进行了分类, 详细介绍了发光材料研究进展及具体制备方法, 并对LED的研究进展、应用情况以及目前存在的一些问题进行阐述。

关键词: 发光二极管; 有机发光材料; 无机发光材料; 荧光粉

中图分类号: TB 381

文献标识码: A

文章编号: 1671-9905(2014)06-0051-05

发光材料(luminescent materials),也可以称为荧光粉(phosphors),是由基质以及基质中的激活剂共同构成的,可以通过激活剂或者基质来实现能量的吸收,基质晶格也能发生激发能的传递。激发停止后,发光物质仍然可以发射光,这时候的光称为余辉。通常都将余辉很长的发光材料称为磷光材料,余辉短的称为荧光材料。以发光的过程来讲,将激发能直接(或经过能量传递)转化成发射光的称为荧光,而激发能经过储存后再转化成发射光的称为磷光。

1 发光材料的种类

发光材料的分类有多种,按照材料的属性可以分为有机发光材料和无机发光材料。有机分子发光材料很多,主要类型有螺环类、聚对苯乙炔类、聚烷基苄类^[1-2]、聚噻吩类^[3]、聚噻二唑及金属配位类等。有机电致发光材料按化合物的分子量可以分为两大类:小分子发光材料和高分子发光材料。小分子发光材料又分为有机小分子化合物和金属有机配合物两类。高分子发光材料又可分为共轭型发光化合物和非共轭型发光化合物。有机发光材料主要应用于荧光类材料和显示器件材料。荧光材料可以用于荧光增白剂、荧光染料、荧光颜料、荧光试剂、激光染料,用于荧光分析、跟踪检测、交通标志、核技术中的闪烁体,太阳能转换技术中的荧光集光器等,在工业、农业、医学、国防等领域都有广泛应用。无机发

光材料大多数都是以硅酸盐、铝酸盐、硅铝氮化物等为原料制备而得的^[4]。按照材料的激发方式又可以分为光致发光材料和电致发光材料。光致发光材料是指借助光的激发而发光的发光材料,光可以是紫外光、红外光或可见光。电致发光材料是在直流或交流电场作用下,依靠电流和电场的激发而发光的发光材料。有机电致发光器件具有体积小、重量轻、能耗低、寿命长、分辨率高、色彩全、响应面快等优点^[5]。有机LED就是基于有机电致发光材料的一种电流型半导体发光器件,是由透明阳极和金属阴极以及夹在两电极之间的有机发光薄膜层组成的,它具有色彩丰富、效率高、亮度强、寿命长、能耗低、响应速度快等优点。

2 发光材料的制备

2.1 发光材料的制备进展

不管是有机还是无机发光材料,人们不断地从各方面去发掘它们、了解它们,以至于它们的发展越来越迅速,在生产生活中的应用也越来越广泛。

2.1.1 无机发光材料的制备

近年来,无机发光材料研究主要集中在稀土离子(Eu^{3+} 、 Tb^{3+} 、 Nd^{3+} 等)或过渡金属离子掺杂的氧化物、硫化物、铝酸盐、硅酸盐、钒酸盐以及硼酸盐等。以加拿大Kitai为代表的研究小组分别用 Ga_{203} :Eu、 $\text{Zn}_2\text{Si}_{0.5}\text{Ge}_4$:Mn和 SrGa_2O_4 :Tm荧光层得到色纯度很好的红、绿、蓝三基色光^[6-8]。T.Minami^[9]在多元系氧

作者简介:邵文尧(1980-),男,汉族,福建厦门人,硕士研究生,工程师,研究方向:膜材料制备及应用、纳米功能材料的制备及应用、天然产物应用开发、发酵工业新型工艺,电话:0592-2188848, E-mail:wysao@xmu.edu.cn

收稿日期:2014-04-16

化物中也得到了高亮度的电致发光,用磁控溅射法,选用镓酸盐系材料为基质材料,掺杂稀土离子,以 ZnGa_2O_4 : Ce 为发光薄膜层制备的 TFEL 器件得到了亮度为 $0.5 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 的蓝光发射,以 $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$: Eu 和 $\text{Ba}_3(\text{VO}_4)_2$: Ti 为发光薄膜层制备的 TFEL 器件,得到了亮度为 $2.0 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 的蓝紫光发射^[10],铥激活的钆氧化物和钷氧化物薄膜在 470 nm 处有高亮度的蓝光发射^[11]。这些研究为氧化物基质薄膜发光器件的实际应用奠定了良好的基础。尽管一些新的器件结构和基质材料不断出现,并且取得了非常乐观的成绩,但无机材料发光的功率效率依然比较低。

2.1.2 有机发光材料的制备

自从 1987 年^[12]有机 LED 研究工作取得实质性进展以来,人们对有机发光材料进行了深入研究,也取得了优异的成绩。1988 年^[13]在 LED 器件中引入电子传输材料制备出了多层结构的 LED 器件;1990 年^[14]报道了聚苯乙烯的电致发光现象;20 世纪 90 年代初稀土配合物的电致发光得到了研究, Eu^{3+} 配合物为红光材料, Tb^{3+} 配合物为绿光材料,典型稀土配合物有 $\text{Eu}(\text{DBM})_3\text{Bath}$ 和 $\text{Tb}(\text{AcA})_3\text{phen}$ 等。Kido 等人^[15-16]1990 年就合成了 Eu^{3+} 和 Tb^{3+} 的三元配合物,替代了二元配合物中金属配合物发光材料。李文连等人^[17-18]合成配体 $\text{Eu}(\text{DBM})_3\text{Bath}$ 并掺杂到 TPD 中,得到的材料最大亮度达到 $820 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ 。Forrest 等人^[19]将配合物 $\text{Eu}(\text{TTA})_3\text{phen}$ 掺杂在空穴传输材料 CBP 中,得到了比较好的发光效果。

2.2 发光材料的制备方法

发光材料的制备方法有很多,根据目标材料的性能要求选择恰当的制备方法是很有必要的。下面详细讲述了几种常见的发光材料的制备方法,除这些制备方法外还有悬浮区域法、电弧法、微波合成法、激光加热提拉法、微乳液法、单晶生长法等。

2.2.1 高温固相烧结法

高温固相烧结法首先将高纯度的各种原料进行机械粉磨、混合、预处理,然后再在一定温度下完成烧结获得粗品。得到的粗品发光材料还需要进行后处理才能够完成整个材料的制备。这些后处理包括粉碎、选粉、洗粉、包覆、筛选等工艺。发光材料的涂覆性能、抗老化性能等重要性质都严格受这些后处理过程的影响,因此,在高温固相烧结法中后处理相当重要。因为制备过程的特点,烧结法的优缺点也很明显,优点主要表现在微晶晶体质量

优良,缺陷少,亮度大,余辉时间长,因此该方法常常用来制备 Eu^{2+} 、 Dy^{3+} 掺杂的铝酸盐发光材料的方法,缺点在于温度高,原料组分不容易混合均匀,所得产品的晶体粗大,经磨细后材料的发光性能又会受到影响^[20-23]。

2.2.2 沉淀法

沉淀法是指在包含一种或多种可溶盐的溶液中加入合适的沉淀剂或在一定温度下使溶液发生水解,形成不溶性的氢氧化物、水合氧化物或盐类从溶液中析出后,经洗涤、热分解或脱水得到氧化物粉料,再在还原气氛一定温度下烧结而成,冷却后即得产品。沉淀法使得各组分在溶液状态就已达到混合均匀,从而使坯料颗粒细、活性大、分布均匀,优化了基质结构降低了反应温度。沉淀法包括共沉淀法和均相沉淀法。共沉淀法主要是依据组成发光材料的金属离子来选择合适的沉淀剂,将它作为共沉淀物而沉淀下来。这样各组分在溶液状态下已经达到混合均匀的目的,保证掺杂的稀土离子能够进入基质晶格。李晓云等^[24]、袁曦明等^[25]、袁赵欣等^[26]以及周传仓等^[27]都用共沉淀法制备了特定的发光材料。均相沉淀是一种新型制备发光材料的方法,由该方法制备所得的发光材料具有合成温度低、组成均匀、纯度高、颗粒细等优点^[28]。陈国华等人^[29]用均相沉淀的方法合成铝酸镱基质发光粉体,对粉体的形貌和相组成进行表征,探究了添加硼酸对发光材料的相组成、激发和发射光谱及长余辉性能的影响。

2.2.3 水热法

水热法是在高温高压下,在水溶液或蒸汽等流体中进行有关化学反应的总称,是指在密闭的反应容器中,以水或其他水溶性液体作为介质,并将其加热到一定的温度,体系内的物质发生化学变化或反应,生成新的物质或新的相。密闭的反应器通常都为反应釜。具体过程是:将混合物先溶解后,转入高压反应釜中,在一定温度和压力下,物质在溶液中进行化学反应,再将样品蒸干进行热处理。水热法的优点很多,除了工艺简单、物相均匀、纯度高外,还能实现低中温液相控制以及其它手段难以获得的物相和晶体。但是与高温固相反应法相比,水热法制得的材料发光效率低,余辉性能差,结晶质量差,晶粒不易控制等。吴莉莉等人^[30]以及邓文雅等人^[31]都用水热法制备纳米 ZnO 发光材料并研究了材料的发光特征。

2.2.4 溶胶 - 凝胶法

溶胶 - 凝胶法是当前制备各种功能材料和结构材料的重要方法,是指金属有机或无机化合物经过溶胶、凝胶而固化,再经过热处理形成氧化物或其他固体化合物的方法。它的基本原理就是将金属盐和无机或有机化合物溶解在水或有机溶剂中形成均匀的溶液,溶液中溶质与溶剂产生水解、醇解或整合反应,反应生成物聚集成离子并形成溶胶,经蒸发干燥转变成凝胶,再经过干燥、热处理等过程来获得目的材料。该方法的关键之处在于控制水或者水 - 氢氧络合物的水解速率,从而能够制备出在碱性条件下也能稳定的前驱液。溶胶 - 凝胶法的流程简单,易于操作,合成过程条件要求低,易于实现,还可以提高材料的发光效率,但是由于原料中需要用到金属,使得生产成本低、周期长,而材料的发光性能并没有得到明显的改善。溶胶 - 凝胶法的应用也得到了广大研究者的青睐,沈风雷^[32]用溶胶 - 凝胶法制备了发光材料,张希艳等^[33]用溶胶 - 凝胶法制备 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$, Dy^{3+} 纳米发光材料,袁曦明等人^[34-35]用溶胶 - 凝胶法制备了长余辉发光材料以及纳米荧光粉并做了相关研究。

2.2.5 燃烧法

燃烧法是用金属硝酸盐和有机还原剂的混合液,在相对低的温度下进行燃烧,从而发生氧化还原反应来制备发光材料。在燃烧法制备材料的合成过程中,当反应物温度达到放热反应所需的点火温度时,会以特定方式被点燃,然后由原料燃烧释放出的热量来维持反应系统一直处于高温的状态,从而实现合成过程独自维持下去直至反应结束,最后所得产物即为目标产物^[36]。这种方法没有高温固相反应中晶粒较大需粉碎研磨的缺点,同时也不需要复杂的外部加热设备,生产过程渐变,反应迅速,产品纯度高,发光亮度不易受破坏,节省能源,是一种较有前途的制备发光材料的方法。王惠琴等^[37]、曾庆轩等^[38]、周传仓等^[39]都用燃烧的方法成功制备得到了长余辉的发光材料。

3 发光二极管 (LED)

发光二极管从产生到发展,到广泛的应用都有着快速的变化。人们日常生活对它的依赖使得它的发展前景以及发展过程中存在的问题都逐渐成为人们的关注焦点。

3.1 LED 的发展

20 世纪 60、70 年代就诞生了第一支商用的发光二极管,它是以磷、砷、镓等为原材料合成的化合物半导体材料磷砷化镓,该发光二极管发红光且亮度较低,以至于未能用于照明领域而只能勉强用于仪器仪表指示灯。后来经过不断地开发、发展、优化,发光二极管的性能得到了很大的提高,比如大幅度提高了发光效率,降低了生产成本,从而发展为照明主流产品。到了 20 世纪 80 年代,AlGaAs 的出现,使得 LED 材料的研究有了一个历史性的突破,LED 的商业化也加快了步伐。以砷化铝镓为原料制成的发红光的发光二极管的发光效率有很大幅度的提高,亮度也随着增加了很多。LED 照明进入崭新的时代^[40-43]还要追溯到 20 世纪 90 年代,超高亮度蓝光 LED 的诞生。蓝光 LED 材料是以 InGaN 为核心,随后发蓝光和绿光的 InGaN、发黄光和红光的 GaAlInP 两种全新材料的成功研发,使得 LED 的光效再次得到了大幅度的提高。蓝光 LED 的出现是历史性的进步,使白光 LED 的诞生有了很大的可能性,因为白光可以由红、蓝、绿三色复合而成。到 21 世纪初,蓝光 LED、红橙光 LED 的光效性能都有了很大的发展、提升,这就标志着白光 LED 诞生了,这是照明领域具有划时代的进步。紧接着,高功率、超亮度 LED 逐渐走向规模化的大生产,使得具有高效、节能、环保等特点的白光 LED 正迅速进入汽车、LCD 背光源、数码设备、个埋灯或建筑景观照明等领域。如今,全世界各个国家和地区都关注到了 LED 的发展,并提到议事日程上^[44-47]。

3.2 LED 的应用

LED 的应用非常广泛,人们的日常生活生产中无处不在。它以尺寸相对较小、正常工作释放能量较少等优势占据普通照明领域的重要位置;因效率高、亮度高、重量轻、尺寸小、节能环保、色彩丰富等优点被用作 LCD 背光源,因此在背光技术领域的应用有很好的优势;以能耗低、可靠性高、性能稳定安全、使用寿命长、维修费用低等优点在指示方面和交通信号灯方面的应用占据独特优势;以优异的对对比度、较高的亮度,以及对动态图像较好的处理能力等优点使得其应用在大尺寸显示领域成为可能;色彩鲜明、颜色亮丽的优点使它在对色彩的要求相比于对光源亮度的要求更高的景观装饰照明得到青睐;以其冷光源的特点获得了在汽车照明领域的广阔市

场。除此之外,LED在其他领域也有相当大的潜在市场,比如农业、畜牧业、医疗事业、养殖业、军事通信业、服饰饰品行业等等。

4 展望

LED市场前景非常宽广,相信在未来能够形成巨大的产业链,但在国内,产业规模的发展尚存许多不足之处^[48]。例如国内集成电路产业发展过于缓慢,液晶面板产业的基础相对薄弱而且投资大。目前国内LED的技术水平和国外相比有较大的差距,相比于日韩等国家,国内的集成电路的技术基础薄弱,LED外延技术、工艺技术等的储备时间较长。而且国内LED产业的规模都比较小。国内研发基地大多集中在高等院校、科研院所而非各大企业,严重影响了技术转化的速度,国内核心专利严重缺乏等都是LED产业面临的困难。

在未来社会里,人们更希望发光材料的发光强度更强、效率更高、驱动电压更低、单色性更好、更节能环保,也希望发光材料能表现出一些惊人的物理化学性质^[49],因此目前的发光材料的研究重点将会有目的地实现规则排布的量子点来形成特殊结构的新型材料的合成,而不再是传统的简单的复合掺杂。

参考文献:

- [1] 张华西,陈浩,李瑛,等.新型含苯并噻唑及吡唑啉环的聚烷基苄电致发光材料的合成及性能研究[J].功能材料,2006(7):1027-1029.
- [2] 张华西,陈浩,李瑛,等.新型烷基苄共聚物的合成及电致发光性质[J].高分子材料科学与工程,2006,22(2):71-74.
- [3] 冯卫东,祁争健,孙岳明,等.噻吩类化合物电致发光材料的研究进展[J].现代显示,2006(5):26-30.
- [4] 肖志国.白光电致发光二极管用发光材料研究进展[J].化学通报,2008(2):91-96.
- [5] 方震.浅谈发光材料与发光涂料[J].中国涂料,2009,24(8):48-50.
- [6] Kitai A H, Cook K A, Zhang Y, et al. Oxide phosphor green EL on glass substrates[C]//SID Symposium Digest of Technical Papers. Blackwell Publishing Ltd, 1999, 30(1): 596-597.
- [7] Stodilka D, Kitai A H, Huang Z, et al. 4.2: High Brightness Red Emitting Ga₂O₃:Eu Electroluminescent Phosphor[C]//SID Symposium Digest of Technical Papers. Blackwell Publishing Ltd, 2000, 31(1): 11-13.
- [8] Kitai A H, Jiang Z, Deng J, et al. 25.4: New Developments in Blue Oxide EL Phosphors[C]//SID Symposium Digest of Technical Papers. Blackwell Publishing Ltd, 2001, 32(1): 424-427.
- [9] Minami T. Oxide thin-film electroluminescent devices and materials[J]. Solid-State Electronics, 2003, 47(12): 2237-2243.
- [10] Miyata T, Mochizuki Y, Minami T. Blue-violet phosphate phosphor thin films for EL [J]. Thin solid films, 2006, 496(1): 174-178.
- [11] Minami T, Utsubo T, Miyata T, et al. PL and EL properties of Tm-activated vanadium oxide-based phosphor thin films[J]. Thin Solid Films, 2003, 445(2): 377-381.
- [12] Tang C W, VanSlyke S A. Organic electroluminescent diodes [J]. Applied Physics Letters, 1987, 51(12): 913-915.
- [13] Adachi C, Tsutsui T, Saito S. Blue light emitting organic electroluminescent devices [J]. Applied Physics Letters, 1990, 56(9): 799-801.
- [14] Burroughes J H, Bradley D D C, Brown A R, et al. Light-emitting diodes based on conjugated polymers [J]. Nature, 1990, 347(6293): 539-541.
- [15] Kido J, Nagai K, Okamoto Y, et al. Electroluminescence from polysilane film doped with europium complex [J]. Chemistry Letters, 1991(7): 1267-1270.
- [16] Kido J, Hayase H, Hongawa K, et al. Bright red light emitting organic electroluminescent devices having a europium complex as an emitter[J]. Applied physics letters, 1994, 65(17): 2124-2126.
- [17] Li W, Yu J, Sun G, et al. Organic electroluminescent devices using terbium chelates as the emitting layers [J]. Synthetic metals, 1997, 91(1): 263-265.
- [18] Hong Z R, Liang C J, Li R G, et al. Rare Earth Complex as a High-Efficiency Emitter in an Electroluminescent Device[J]. Advanced Materials, 2001, 13(16): 1241-1245.
- [19] Adachi C, Baldo M A, Forrest S R. Electroluminescence mechanisms in organic light emitting devices employing a europium chelate doped in a wide energy gap bipolar conducting host [J]. Journal of Applied Physics, 2000, 87(11): 8049-8055.
- [20] 张希艳,卢利平,王晓春,等.固相反应法制备SrAl₂O₄:Eu²⁺,Dy³⁺长余辉发光陶瓷及性能表征[J].兵工学报,2004,25(2):194-196.
- [21] Zhong R, Zhang J, Zhang X, et al. Red phosphorescence in Sr₄Al₁₄O₂₅:Cr³⁺,Eu²⁺,Dy³⁺ through persistent energy transfer [J]. Applied physics letters, 2006, 88(20): 201916-201918.
- [22] Wang J, Su Q, Wang S. A novel red long lasting phosphorescent (LLP) material -(Zn₃PO₄)₂:Mn²⁺,Sm³⁺ [J]. Materials research bulletin, 2005, 40(4): 590-598.
- [23] Han S D, Singh K C, Cho T Y, et al. Preparation and characterization of long persistence strontium aluminate phosphor[J]. Journal of luminescence, 2008, 128(3): 301-305

- [24] 李晓云, 陆天长, 等. 铝酸锶系长余辉发光粉的制备及其光学性能 [J]. 南京化工大学学报, 2001, 23(2), 32-35.
- [25] 袁曦明, 田熙科, 于江波, 等. 共沉淀法制备长余辉发光材料 $\text{SrAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 的研究材料开发与应用 [J]. 材料开发与应用, 2002, 17(2) :26-30.
- [26] 袁赵欣, 常程康, 毛大立. H_3BO_3 对化学共沉淀法制备 $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}: \text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 的影响 [J] 功能材料, 2004, 35(1) : 94-96.
- [27] 周传仓, 卢忠远, 戴亚堂, 王兵. 共沉淀法制备超细长余辉发光材料铝酸锶铕的研究 [J]. 稀有金属, 2005, 29(1) :20-24.
- [28] 苏春辉, 张华山, 韩辉, et al. Preparation of neodymium-doped yttrium aluminum garnet transparent ceramics by homogeneous precipitation method[J].Journal of Rare Earths, 2005, 23(6): 716-720.
- [29] 陈国华, 刘心宇, 陈丽洁. 均匀沉淀法制备铝酸锶发光材料及其性能 [J]. 中国有色金属学报, 2009, 19(6) : 1113-1118.
- [30] 吴莉莉, 邹科, 赵金博, 等. 纳米 ZnO 的形态控制及其发光性能 [J]. 人工晶体学报, 2009, 38 (3) :689-692.
- [31] 邓文雅, 赵宗彬, 沈琳, 等. 氧化锌空心球的制备及光致发光特征 [J]. 功能材料, 2007, 38(9) :1559-1562.
- [32] 沈风雷. 溶胶 - 凝胶法制备 $\text{Sr}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7:\text{Eu}$ 发光材料及其性能研究 [J]. 稀土, 2009, 30(4) :92-94.
- [33] 张希艳, 卢利平, 王晓春. 溶胶 - 凝胶法制备 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 纳米发光材料 [J]. 硅酸盐学报, 2003, 31(3):268-271
- [34] 袁曦明, 许永胜, 于江波, 等. 溶胶 - 凝胶法制备纳米荧光粉 $\text{Y}_4\text{Al}_2\text{O}_9:\text{Eu}^{3+}$ 的初步研究 [J]. 地球科学 - 中国地质大学学报, 2002, 27(4) :409-412.
- [35] 袁曦明, 许永胜, 于江波, 等. 溶胶 - 凝胶法制备长余辉发光材料 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 的研究 [J]. 稀土, 2002, 23(4) :33-38.
- [36] Nakazawa E, Mochida T. Traps in $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ phosphor with rare-earth ion doping [J]. Journal of Luminescence, 1997(72): 236-237.
- [37] 王惠琴, 张磊, 马林, 等. 燃烧法快速合成铝酸锶: 铕及其发光性能 [J]. 复旦学报:自然科学版, 1997, 36(1) : 65-71.
- [38] 曾庆轩, 周从章, 冯长根, 等. 燃烧合成 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}, \text{Dy}$ 长余辉发光材料的研究 [J]. 北京理工大学学报, 2002, 22(5) :655-657.
- [39] 周传仓, 卢忠远, 戴亚堂, 等. 燃烧法合成铕掺杂铝酸锶长余辉发光材料的研究 [J]. 化工新型材料, 2004, 32(8) :33-36.
- [41] 刘向阳. 半导体照明产业的发展 [J]. 光源与照明, 2006(1) :41-43.
- [42] 方志烈. 发光二极管材料与器件的历史, 现状和展望 [J]. 物理, 2003, 32(5) :295-300.
- [40] 罗毅, 张贤鹏, 韩彦军, 等. 半导体照明关键技术研究 [J]. 激光与光电子学进展, 2007, 44(3) :17-28.
- [43] 李刚. 半导体照明发光二极管 (LED) 芯片制造技术及相关物理问题 [J]. 物理, 2005, 34(11) :827-833.
- [44] 肖宏志. 半导体照明的基础 - 白光 LED[J]. 中国照明电器, 2009(3) :25-29.
- [45] 彭万华. 我国超高亮度及白光 LED 产业的现状与发展 [J]. 激光与红外, 2005, 35(4) :223-227.
- [46] 廖志凌, 阮新波. 半导体照明工程的现状与发展趋势 [J]. 电工技术学报, 2006, 21(9) :106-111.
- [47] 宋晓舒. 日本半导体照明工程 [J]. 发光与照明, 2003(11) :7-12.
- [48] Jiang J, To S, Lee W B, et al. Optical design of a freeform TIR lens for LED streetlight [J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2010, 121(19): 1761-1765.
- [49] Urban J J, Talapin D V, Shevchenko E V, et al. Synergism in binary nanocrystal superlattices leads to enhanced p-type conductivity in self-assembled $\text{PbTe}/\text{Ag}_2\text{Te}$ thin films[J]. Nature materials, 2007(2): 115-121.

Preparation and Application Prospect of LED Light-emitting Materials

SHAO Wen-yao, HE Cai-yun, HU Chao-qun, CHEN Yu-qing

(College of Chemistry and Chemical engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract :Light emitting diodes was more and more widely used in daily life. In this article, the classification of luminescent material, the research progress and preparation method was introduced in detail. Application situation and some problems in the development of LED were discussed.

Key words :light emitting diodes(LED); organic light-emitting materials; inorganic luminescent material;, phosphors