

# 铱金属配合物磷光材料掺杂聚合物体系的电致发光特性\*

唐晓庆 于军胜† 李 璐 王 军 蒋亚东

(电子科技大学光电信息学院, 电子薄膜与集成器件国家重点实验室, 成都 610054)

(2008 年 1 月 24 日收到, 2008 年 5 月 14 日收到修改稿)

通过对一种新型贵金属铱的配合物磷光材料  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  与咔唑共聚物进行物理掺杂, 制备了结构为 indium-tin oxide (ITO)/poly(N-vinylcarbazole (PVK)):( $\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  x %/2,9-dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline (BCP) (20 nm)/8-Hydroxyquinoline aluminum ( $\text{Alq}_3$ ) 10 nm/Mg:Ag 的聚合物电致磷光器件, 研究了磷光聚合物掺杂体系在低掺杂浓度时 (0.1% 和 0.5% (质量百分数, 全文同)) 的光致发光 (PL) 和电致发光 (EL) 特性. 结果表明, 该掺杂体系的 PL 光谱和 EL 光谱中均同时存在主体材料 PVK 与磷光客体  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的发光光谱, 但主客体的发射强度不同, 推测该掺杂体系在电致发光条件下, 同时存在主体材料到客体的不完全的能量传递和载流子直接俘获过程. 磷光掺杂浓度为 0.1% 的器件在 19 V 电压下实现了白光发射, 色坐标为 (0.32, 0.38), 掺杂浓度为 0.5% 的器件在 20.6 V 电压下的最大发光亮度为  $11827 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , 而在 13.4 V 电压下的最大流明效率为  $4.13 \text{ cd}\cdot\text{A}^{-1}$ .

关键词: 有机电致发光器件, 铱配合物磷光, 聚合物掺杂

PACC: 7860F, 3250F, 3350D

## 1. 引言

在有机电致发光器件 (organic light-emitting diodes, OLEDs) 中, 聚合物电致磷光器件由于其独特的性质而引起学术界和产业界的广泛关注<sup>[1-3]</sup>, 聚合物器件的功能层由于同时可以具有电荷注入、电荷传输和发光等作用, 因而可简化 OLEDs 器件的结构, 而磷光材料在发光过程中可以利用单线态和三线态的激子, 理论上内量子效率可达到 100%, 因此这类材料的应用被认为是提高 OLEDs 效率的有效手段之一<sup>[4,5]</sup>. 尽管小分子电致磷光器件的性能已经达到了实际应用的水平, 但其采用真空热蒸镀的制作工艺, 对材料的熔点和热稳定性都有较高的要求<sup>[6-8]</sup>. 相比对于聚合物磷光体系, 几乎所有的磷光材料都可以作为客体使用, 同时湿法制备过程适合于大面积显示, 可以采用旋涂方法或喷墨打印技术, 大幅度地降低了器件的生产成本, 被认为是未来 OLEDs 技术产业化的主要途径之一<sup>[9,10]</sup>. 现阶段对聚合物电致磷光器件的研究主要集中在开发

效率高、物理性能稳定的磷光掺杂剂以及超宽带系的聚合物基质材料、高效载流子阻挡材料和改进器件结构等方面<sup>[11,12]</sup>, 但理论探索与实验方面的飞速发展相比, 对聚合物电致磷光器件发光过程 (包括能量传递、载流子复合发光机理、激子的湮灭等) 的基本探讨尚有欠缺<sup>[13]</sup>.

目前常用的聚合物主体材料主要有 poly(N-vinylcarbazole (PVK)) 及其衍生物、聚芴 (PF) 及其衍生物、聚苯及其衍生物等<sup>[14]</sup>, 常用的磷光掺杂剂主要有 Ir, Pt, Os, Eu, Re, Au 等<sup>[15]</sup> 的金属配合物. 其中, 铱的配合物具有相对较短的三线态寿命和较高的发光效率, 是近几年来研究及应用最多的磷光材料之一<sup>[16]</sup>. 由于铱配合物具有较高的极性, 在聚合物主体材料中, PVK 的咔唑单元有着很高的极性, 属高极性聚合物, 因此铱的配合物分子与 PVK 分子的化学具有较好的相溶性. 另一方面, PVK 具有很高的玻璃化转变温度 (176 °C)、较好的成膜性和较宽的带系能量 (3.6 eV), 是一种性能优良的电致磷光主体材料<sup>[17-19]</sup>.

本文利用一种新型贵金属铱的配合物磷光材料

\* 国家杰出青年基金 (批准号: 60425101) 教育部新世纪优秀人才计划 (批准号: 06-0812) 和电子科技大学中青年学术带头人计划 (批准号: 060206) 资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: jsyu@uestc.edu.cn

( $\text{pbi}$ )<sub>2</sub>Ir(acac), 将其作为客体掺杂剂以 0.1% 和 0.5% 的较低的浓度掺杂到聚合物主体材料 PVK 中, 制备了复合掺杂发光层的 OLEDs 器件, 探讨了该磷光聚合物掺杂体系的光致发光(PL)和电致发光(EL)特性, 并分析了主客体之间的能量传递以及载流子复合发光机理。

## 2. 实验部分

### 2.1. 器件制备

制备了结构为 indium-tin oxide (ITO)/PVK:( $\text{pbi}$ )<sub>2</sub>Ir(acac) ( $x$ )/2,9-dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline (BCP)(20 nm)/8-Hydroxyquinoline aluminum (Alq<sub>3</sub>)(10 nm)/Mg:Ag(200 nm) 的 OLED 器件, 其中  $x$  分别为 0.1% 和 0.5%, 相对应的器件为 A 和 B。其中氧化铟锡(ITO)导电玻璃基片和镁银合金(Mg:Ag = 10:1)分别作器件的阳极和阴极, PVK 作为主体材料, ( $\text{pbi}$ )<sub>2</sub>Ir(acac) 作为磷光客体材料,

BCP 作为空穴阻挡层(HBL), Alq<sub>3</sub> 作为电子传输层(ETL)。

实验中使用的有机材料 PVK, BCP 等均购于 Sigma-Aldrich 公司, 各材料的化学结构式及器件结构如图 1 所示。对于掺杂体系 PVK:( $\text{pbi}$ )<sub>2</sub>Ir(acac), 将其配制成质量分数分别为 0.1% 和 0.5% 的溶液备用。器件阳极使用的 ITO 导电玻璃基片购于深圳南玻公司, 方阻为 10  $\Omega/\square$ , 采用不同试剂分别超声清洗 10 min, 最后用高纯氮气吹干。将清洁好的基片进行氧等离子体处理, 以便增加 ITO 表面的功函数, 降低空穴的注入势垒<sup>[20]</sup>。然后置于 KW-4A 型台式匀胶机上进行 PVK:( $\text{pbi}$ )<sub>2</sub>Ir(acac) 的旋涂, 旋涂后的基片放入 OLED-V 型有机多功能高真空成膜设备的有机室和金属室在  $1.0 \times 10^{-4}$  和  $1.0 \times 10^{-3}$  Pa 的高真空度状态下依次蒸镀有机层和金属电极, 蒸发速率分别控制为 0.2 和 1.5  $\text{nm} \cdot \text{s}^{-1}$ , 器件中薄膜厚度及各种材料的蒸发速率均由 Proteck9100 石英晶振监控器来测量。器件的发光面积为 5 mm  $\times$  6 mm。

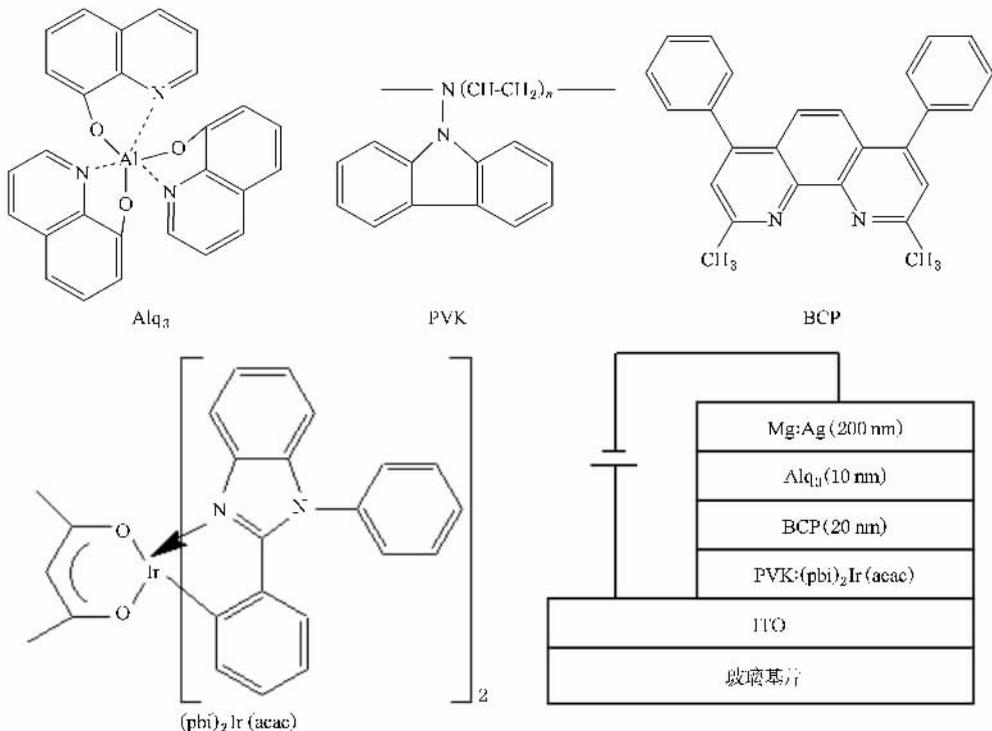


图 1 所有有机材料的分子结构式和器件的结构示意图

### 2.2. 器件表征

在室温(25  $^{\circ}\text{C}$ )大气环境下, 对以上未封装器

件采用 KEITHLEY-4200 半导体特性测试仪及 ST-86LA 亮度计表征其电流密度-电压( $J$ - $V$ ), 亮度-电压( $L$ - $V$ )特性; 采用 OPT-2000 型光谱光度计来表征

器件的电致发光 (EL) 和光致发光 (PL) 光谱, 材料的 UV-Vis 吸收光谱利用紫外-可见分光光度计 UV1700 进行表征.

### 3. 结果与讨论

图 2 是磷光掺杂剂  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的 UV-Vis 吸收光谱及其与主体材料 PVK 的荧光光谱. 在磷光主客体掺杂器件的发光层中, 主发光体的单重激发态与三重激发态的能量可分别由 Förster 能量转移和 Dexter 能量转移传递到磷光发光体的单重激发态和三重激发态, 再经由磷光发光体内部快速的系间窜越 (intersystem crossing, ISC) 将单重激发态的能量转换到三重激发态, 进而发出磷光<sup>[21, 22]</sup>. 在本文中使用的磷光客体材料  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  为一种苯并咪唑类衍生物, 从图 2 中的 UV-Vis 吸收光谱中可以看出, 配合物在 300 nm 处的吸收峰来自于配体, 是配合物中苯并咪唑部分  $\pi \rightarrow \pi^*$  的跃迁, 在长波长方向的弱吸收为  $^3\text{MLCT}$  (金属配位电荷转移) 的跃迁<sup>[23]</sup>.  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的发射主峰位于 521 nm 处, 在 550 nm 有一肩峰. 结合图 2 中的主体材料 PVK 的 PL 光谱, 可以看到, PVK 的发射主峰位于 413 nm 处, 与  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的  $^3\text{MLCT}$  有较好的重叠. 根据 Förster 和 Dexter 能量转移理论<sup>[24]</sup>, 主体材料与客体材料之间的单重激发态与三重激发态的能量转移效率分别为

$$\eta_F = \frac{1}{\tau_D} \cdot \frac{1}{R^6} \left[ \frac{3}{4\pi} \int \frac{c^4}{\omega^4 n_0^4} F_D(\omega) \sigma_A(\omega) d\omega \right], \quad (1)$$

$$\eta_D = K \exp(-2r/L) \int \frac{c^4}{\omega^4 n_0^4} F_D(\omega) \sigma_A(\omega) d\omega, \quad (2)$$

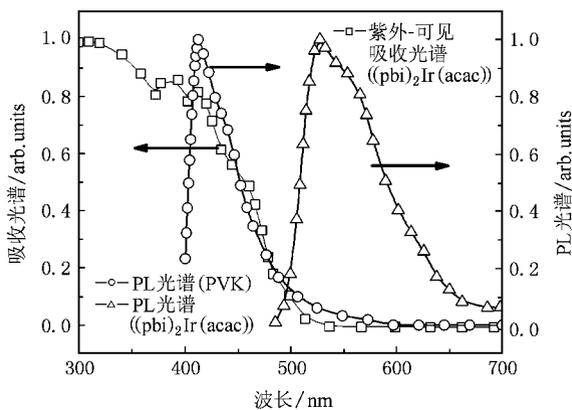


图 2 磷光材料  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的紫外-可见吸收光谱和 PL 光谱及 PVK 的 PL 光谱图

其中  $\eta_F$  与  $\eta_D$  分别为主客体分子之间的 Förster 和 Dexter 能量转移效率,  $\tau_D$  为主体激发态的寿命,  $n_0$  为掺杂体系的介电常数,  $K$  为与分子交叠情况有关的常数,  $L$  为与分子相关的常数,  $R$  与  $r$  分别为主客体分子之间的距离,  $F_D(\omega)$  为归一化的主体发射光谱,  $\sigma_A(\omega)$  为归一化的客体吸收光谱.  $F_D(\omega)\sigma_A(\omega)$  反映了主客体的发射光谱和吸收光谱的重叠程度. 从 (1) 和 (2) 式可以得出, Förster 与 Dexter 能量传递效率均与主客体材料之间的发射光谱和吸收光谱的重叠程度以及主客体之间的距离有关. 当主客体分子之间的距离保持不变时, 主体材料的发射光谱与客体材料的吸收光谱之间的重叠程度越大, 主客体之间的单重激发态与三重激发态的能量转移效率越高. 在 PVK 掺杂  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的磷光聚合物掺杂体系中, 主体材料 PVK 的发射光谱与磷光客体材料  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的吸收光谱之间的重叠保证了在该磷光聚合物掺杂体系中从 PVK 到  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的有效能量传递过程. 对于一定的主客体掺杂体系, 主客体的发射光谱和吸收光谱的重叠程度是不变的. 因此, 能量转移效率的大小只与主客体分子之间的距离有关. 在 PVK 掺杂  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  中, 由于掺杂浓度低, 可认为  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  分子均匀的分散在客体材料 PVK 分子链间, 宏观上体现在主客体分子之间距离的大小与主客体之间掺杂浓度的高低成反比关系. 因此, 对于一定的主客体掺杂体系, 能量传递效率的大小直接与客体掺杂浓度的高低有关.

图 3 给出了 PVK 的 PL 光谱和器件 A, B 的 PL 光谱和 EL 光谱. 从图中可以看出, 器件 A, B 的 PL 光谱和 EL 光谱中均同时存在主体材料 PVK 和磷光客体  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的发射光谱, 但主客体的发射强度有所不同, 在 PL 光谱中发光主峰为主体材料 PVK 的发射峰, 磷光客体材料  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的发射峰较弱, 而在 EL 光谱中,  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的发射占据主导地位, PVK 的发射峰减弱, 同时, 还可以看出在 PL 与 EL 光谱中随着磷光客体掺杂浓度的逐渐升高, 相比主体材料 PVK 而言,  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的发射逐渐增强. 导致以上现象, 我们认为是在该磷光主客体掺杂体系中, 在电致发光过程中除了存在主体材料到客体的不完全的能量传递外, 还存在磷光客体分子直接俘获电子空穴形成激发态并辐射发光的过程. 一方面, 磷光客体  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的掺杂浓

度较低,造成局部激发的主体材料 PVK 和磷光掺杂剂  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  分子之间的距离超出能量传递发生的长度,不利于 PVK 到  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的分子间的能量传递,因此增加了主体材料 PVK 自身发光的概率;同时随着掺杂浓度的逐渐升高,使得分布在掺杂体系中的  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  分子增多,激发的主体材料 PVK 和磷光掺杂剂  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  分子之间的距离减小,导致  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  从主体材料 PVK 中获得的总能量增大. 另一方面,  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  掺杂浓度的升高,将会在磷光客体上增加载流子陷阱,提高了  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  载流子直接俘获电子空穴对的概率,使  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的发射逐渐增强.

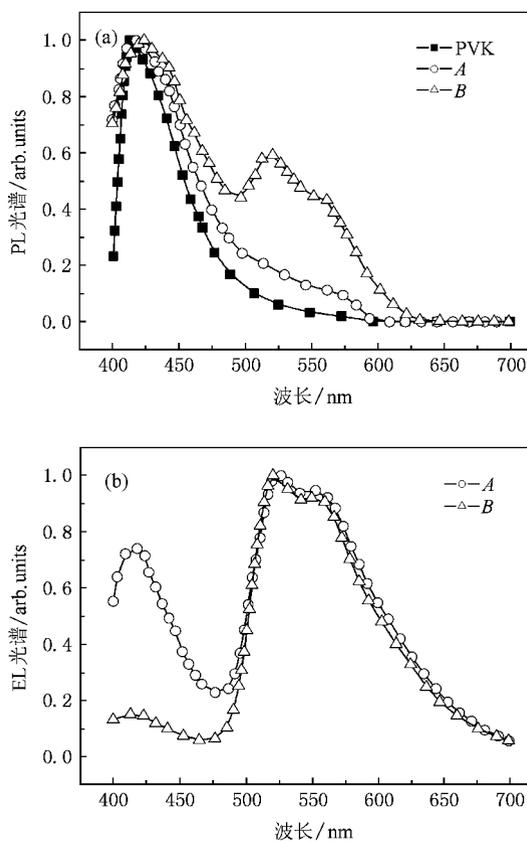


图3 PVK 的 PL 光谱和器件 A、B 的 PL 光谱 (a) 和 EL 光谱 (b) 图

图4给出了器件 B 分别在 13 V、15 V 和 17 V 偏置电压下的 EL 光谱图,由图中可以看出,随着偏置电压的升高,器件 B 的 EL 光谱中  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的发射强度基本不变, PVK 的发射逐渐增强,器件 A 也有相同的现象产生. 即器件 A、B 随着偏置电压的逐渐升高,主体材料 PVK 的发射峰增强,客体材料的发射强度基本上不发生变化. 以上现象可以从器件的电致发光机理方面进行解释: 在 PVK

掺杂  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  体系中,分析器件的发光除了存在能量传递外,会有部分电子和空穴通过隧穿分别注入到  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的最高占有分子轨道 (HOMO) 和最低未占有分子轨道 (LUMO) 能级,形成  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的激子辐射衰减发光,即载流子直接俘获过程. 根据 Fowler-Nordheim tunneling model<sup>[25]</sup>:

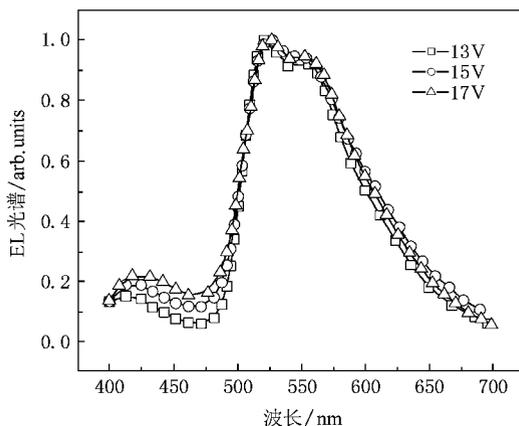


图4 器件 B 在不同电压下的 EL 光谱图

$$I \propto F^2 \exp\left(-\frac{k}{E}\right), \quad (3)$$

$$k = \frac{8\pi\sqrt{2m^*}\Phi^{3/2}}{3qh}, \quad (4)$$

其中  $m^*$  为载流子的有效质量,  $q$  为电位电荷,  $h$  为普朗克常数,  $\Phi$  为势垒高度,  $E$  为势垒处的电场强度,  $F$  是电位  $V$  的函数. 结合 (3) 和 (4) 式可以得出,注入电流的大小取决于载流子注入势垒的高度,载流子注入势垒越大,注入电流随电压的升高越慢. 由于 PVK 是较宽带隙的主体材料 (3.6 eV)<sup>[17]</sup>, 因此载流子注入到主体材料比注入到掺杂剂  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  有更高的势垒,随着电压的升高,使得通过  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  的电流急剧增加,能俘获载流子的  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  空位很快处于饱和状态,而在主体材料 PVK 处形成的激子数目继续增加用于自身的发光. 因此随着偏置电压的升高,光谱中主体材料 PVK 的发射强度相对于客体材料  $(\text{pbi})_2\text{Ir}(\text{acac})$  逐渐增强.

图5给出了器件的电流密度-电压及亮度-电压特性曲线. 从图中可以看出,器件 A 在 20 V 电压下达到最大亮度  $2590 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , 最大电流密度  $548 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ , 在 19 V 时发射光的 CIE 色坐标为 (0.32, 0.38), 属于白光范围; 器件 B 在 20.6 V 电压下达到最大亮度  $11827 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ , 最大电流密度为

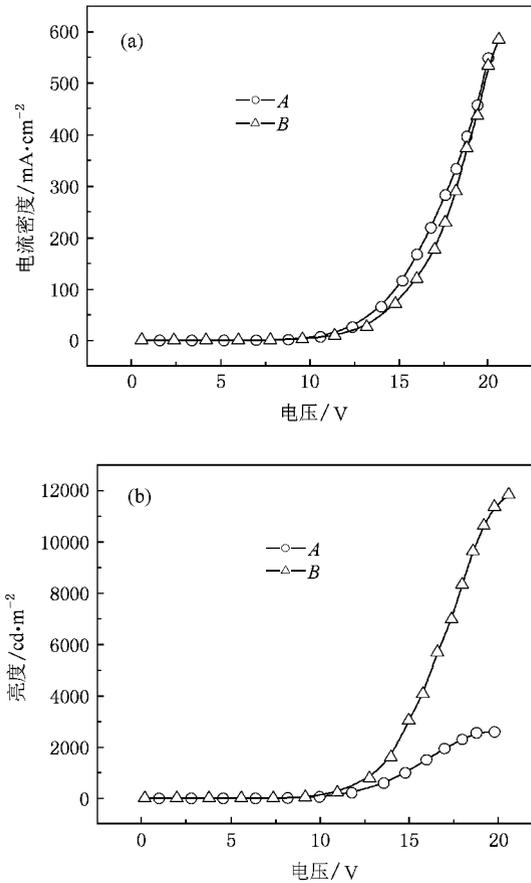


图 5 器件的电流密度-电压(a)及亮度-电压(b)特性曲线图

584 mA·cm<sup>-2</sup>, 在 20 V 电压下的电流密度为 533 mA·cm<sup>-2</sup>. 从图中可以明显地看到, 在相同的偏置电压下, 器件 A, B 的电流密度相差很小, 而器件的亮度相差较大, 较高掺杂浓度的器件 B 的电流密度要低于器件 A, 而器件 B 的亮度却远高于器件 A. 器件 A, B 的启亮电压分别为 5 和 6.4 V, 这种随着磷光客体掺杂浓度的升高器件的启亮电压升高、电流密度减小以及器件性能提高的现象进一步证明了电荷俘获机理的存在<sup>[26]</sup>. 由于载流子被磷光分子 (pbi)<sub>2</sub>Ir(acac) 俘获, 在发光层中形成了内建的空间电场, 静电排斥作用阻碍载流子从电极注入和在发光层内的传输, 并且随着掺杂浓度的升高内建电场和静电排斥作用逐渐增强, 宏观上体现为启亮电压升高和电流密度减小, 同时磷光分子 (pbi)<sub>2</sub>Ir(acac) 直接俘获载流子发光更有利于器件性能的提高<sup>[2]</sup>, 下面将结合器件的流明效率-电压特性曲线对器件性能的提高作进一步的解释.

图 6 给出了器件的流明效率-电压特性曲线. 由图中可看出, 器件 A 在 10.4 V 的电压下达到最

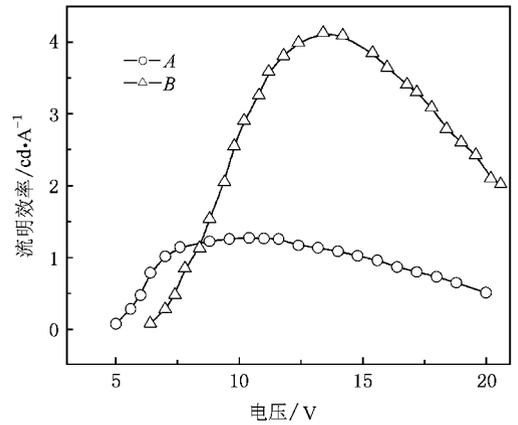


图 6 器件的流明效率-电压( $\eta_v$ )特性曲线

大的流明效率 1.27 cd·A<sup>-1</sup>, 器件 B 在 13.4 V 电压下达到最大流明效率 4.13 cd·A<sup>-1</sup>; 器件 A, B 的流明效率均随着电压的升高逐渐增大, 到达最大值后开始逐渐降低. 结合图 5 和图 6 可以看出, 在低电压下, 器件呈现出较小的电流密度和相对较低的亮度, 由于在低电压下, 从正负电极注入的载流子较少, 输入的电功率也较小, 但形成的激子数目占整个复合载流子数目的比例较大, 可以得到器件的效率相对较大, 并很快达到最大值. 器件效率的最大值表明, 器件在此时对注入电荷的利用率最高. 随着电压的升高, 一方面, 从正负电极注入的载流子数目增加, 造成了发光区域内正负载流子数目的不平衡使得器件效率下降; 另一方面, 器件内部的电场强度增大, 空穴和电子的相向迁移速率增加很快, 降低了它们在磷光客体 (pbi)<sub>2</sub>Ir(acac) 上相遇复合的概率. 因此, 随着电压的升高器件的流明效率呈逐渐降低的趋势. 从图 5 和图 6 中还可以看出, 较高掺杂浓度的器件 B 的亮度和发光效率均高于器件 A, 出现上述现象的原因在于在较低掺杂浓度下, 从图 3 器件的 EL 光谱中可以看到, 光谱中同时存在主体材料与客体材料的发光, 由主体材料传递到磷光客体的能量有限, 并且主体材料 PVK 的发光效率较低; 同时, 由于磷光材料掺杂浓度低, 磷光材料直接俘获载流子的数目有限, 使得低掺杂浓度的器件的亮度和发光效率均较低, 即器件的整体性能较低; 随着掺杂浓度的升高, 磷光客体 (pbi)<sub>2</sub>Ir(acac) 俘获载流子的概率增大, 并随着掺杂浓度的继续增高逐渐占据主导地位, 激子直接在磷光分子 (pbi)<sub>2</sub>Ir(acac) 上形成, 能够减少主体的电激发过程, 进而减少主体的三线态非辐射跃迁, 有利于提

高器件效率,从而使得器件的性能逐渐提高。

## 4. 结 论

采用 PVK ( pbi )<sub>2</sub>Ir( acac )的聚合物磷光掺杂体系作为发光层,以旋涂工艺制备了低掺杂浓度的聚合物电致磷光器件。该掺杂体系在光致发光和电致发光条件下表现出了不同的发光特性,推测在电致发光条件下,掺杂体系中同时存在主体材料到客体的不完全的能量传递和磷光客体的载流子直接俘获

过程。器件 A 和 B 的电致发光特性相差较大,器件 A 在 19 V 电压下实现了白光发射;由于在较高掺杂浓度的器件 B 中磷光客体载流子俘获的概率增大,使其表现出了较好的发光特性,在 20.6 V 电压下达到最大亮度 11827 cd·m<sup>-2</sup>,在 13.4 V 电压下达到最大流明效率 4.13 cd·A<sup>-1</sup>。该项研究对进一步理解聚合物电致磷光器件的内部发光机理以及利用旋涂技术制备新型磷光器件具有一定的参考价值和指导意义。目前,对于高掺杂浓度的磷光/聚合物体系及其器件的研究正在进行中。

- [ 1 ] Baldo M A , Thompson M E , Forrest S R 2000 *Nature* **403** 750
- [ 2 ] Kim T H , Lee H K , Park O O , Chin B D , Lee S H , Kim J K 2006 *Adv. Funct. Mater.* **15** 611
- [ 3 ] Lee C L , Lee K B , Kim J J 2000 *Appl. Phys. Lett.* **77** 2280
- [ 4 ] Baldo M A , Lamansky S , Burrows P E , Thompson M E , Forrest S R 1999 *Appl. Phys. Lett.* **75** 4
- [ 5 ] Adachi C , Baldo M A , Thompson M E , Forrest S R 2001 *J. Appl. Phys.* **90** 5048
- [ 6 ] Baldo M A , O 'Brien D F , You Y , Shoustikov A , Silbey S , Thompson M E , Forrest S R 1998 *Nature* **395** 151
- [ 7 ] Thoms T , Okada S , Chen J P , Furugori M 2003 *Thin Solid Film* **436** 264
- [ 8 ] Wang J , Jiang Y D , Yu J S , Lou S L , Lin H 2007 *Appl. Phys. Lett.* **91** 131105
- [ 9 ] Adachi C , Baldo M A , Forrest S R , Thompson M E 2000 *Appl. Phys. Lett.* **77** 904
- [ 10 ] Xiao J , Deng Z B , Yao Y S , Wang X S 2008 *Dyes and Pigments* **76** 290
- [ 11 ] Chang S C , He G F , Chen F C , Guo T F , Yang Y 2001 *Appl. Phys. Lett.* **79** 2088
- [ 12 ] Zhu W G , Zhu M X , Ke Y , Su L J , Yuan M , Cao Y 2004 *Thin Solid Film* **446** 128
- [ 13 ] Baldo M A , Adachi C , Forrest S R 2000 *Phys. Rev. B* **62** 10968
- [ 14 ] Suo F , Yu J S , Deng J , Jiang Y D , Wang R , Wang Z W , Liu T X 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 6685 [ in Chinese ] 锁 钊、于军胜、邓 静、蒋亚东、王 睿、汪志伟、刘天西 2007 物理学报 **56** 6685 ]
- [ 15 ] Wang J , Wei X Q , Rao H B , Cheng J B , Jiang Y D 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 1156 [ in Chinese ] 王 军、魏孝强、饶海波、成建波、蒋亚东 2007 物理学报 **56** 1156 ]
- [ 16 ] King S M , Al-Attar H A , Evans R J , Congreve A , Beeby A , Monkman A P 2006 *Adv. Funct. Mater.* **16** 1043
- [ 17 ] Kan S D , Liu X D , Shen F Z , Zhang J Y , Ma Y G , Zhang G , Wang Y , Shen J C 2003 *Adv. Funct. Mater.* **13** 603
- [ 18 ] Yang X H , Müller D C , Neher D , Meerholz K 2006 *Adv. Mater.* **18** 948
- [ 19 ] Yu J S , Chen Z J , Sone M , Miyata S , Li M , Watanabe T 2001 *Jpn. J. Appl. Phys. ( A )* **40** 3201
- [ 20 ] Lu D , Wu Y , Guo J H , Lu G , Wang Y , Shen J C 2003 *Mater. Sci. & Eng. B* **97** 141
- [ 21 ] Vaeth K M , Dicillo J 2003 *J Polym Sci Part B : Polym Phys* **41** 2715
- [ 22 ] Gong X , Ostrowski J C , Moses D , Bazan G C , Heeger A J 2003 *J Polym Sci Part B : Polym Phys* **41** 2691
- [ 23 ] Huang W S , Lin J T , Chien C H , Sun S S , Tao Y T , Wen Y S 2004 *Chem Mater* **16** 2480
- [ 24 ] Huang C H , Li F Y , Huang W 2005 *Introduction to Organic light-Emitting Materials and Devices* ( Shanghai : Fudan University Press ) p45 [ in Chinese ] 黄春辉、李富友、黄 维 2005 有机电致发光材料与器件导论 ( 上海 : 复旦大学出版社 ) 第 45 页 ]
- [ 25 ] Parker I D 1994 *J. Appl. Phys.* **75** 1656
- [ 26 ] Gong X , Robinson M R , Ostrowski J C , Moses D , Bazan G C , Heeger A J 2002 *Adv. Mater.* **14** 581

# Electroluminescence of an iridium complex phosphorescent material doped polymeric system<sup>\*</sup>

Tang Xiao-Qing Yu Jun-Sheng<sup>†</sup> Li Lu Wang Jun Jiang Ya-Dong

( State Key Laboratory of Electronic Thin Films and Integrated Devices , School of Optoelectronic Information ,  
University of Electronic Science and Technology of China , Chengdu 610054 ,China )

( Received 24 January 2008 ; revised manuscript received 14 May 2008 )

## Abstract

With a novel iridium complex ( pbi )<sub>2</sub>Ir( acac ) doped into carbazole copolymer , polymer doped electrophosphorescent organic light-emitting diodes with the structure of indium-tin oxide( ITO )/poly( N-vinylcarbazole )( PVK )( pbi )<sub>2</sub>Ir( acac )( x )/2,9-dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline( BCP )( 20 nm )/8-Hydroxyquinoline aluminum( Alq<sub>3</sub> )( 10 nm )/Mg :Ag were fabricated. The photoluminescent ( PL ) and electroluminescent ( EL ) characteristics of the polymer doped system were investigated at the low doping concentrations of 0.1% and 0.5% , respectively. The results demonstrate that the luminescent spectra with different intensities of PVK and ( pbi )<sub>2</sub>Ir( acac ) co-existed in the PL and EL spectra of blend system , which was ascribed to an incomplete energy transfer process and direct charge trapping in the electroluminescence process. The 0.1% ( pbi )<sub>2</sub>Ir( acac ) doped device achieved a white light emission with the commissions internationale de l' eclairage ( CIE ) coordinates of ( 0.32 , 0.38 ) when the bias voltage was 19 V ; the 0.5% ( pbi )<sub>2</sub>Ir( acac ) doped device had a maximum luminance of 11827 cd·m<sup>-2</sup> and a maximum luminance efficiency of 4.13 cd·A<sup>-1</sup> corresponding to a bias of 20.6 V and 13.4 V , respectively.

**Keywords** : organic light-emitting diode , iridium complex phosphorescence , polymer doped system

**PACC** : 7860F , 3250F , 3350D

<sup>\*</sup> Project supported by the National Natural Science Foundation for Distinguished Young Scholars of China ( Grant No. 60425101 ) , the Program for New Century Excellent Talents of Ministry of Education , China ( Grant No. 06-0812 ) , and the Young Talent Project of University of Electronic Science and Technology of China ( Grant No.060206 ) .

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail : jsyu@uestc.edu.cn