

发光层厚度对联苯乙烯衍生物蓝色有机发光器件性能的影响*

吴有智^{1)†} 张文林¹⁾ 倪蔚德¹⁾ 张材荣²⁾ 张定军¹⁾

1) (甘肃省有色金属新材料省部共建国家重点实验室, 兰州理工大学材料科学与工程学院, 兰州 730050)

2) (兰州理工大学理学院应用物理系, 兰州 730050)

(2011年8月12日收到; 2011年10月6日收到修改稿)

本文制备了联苯乙烯衍生物 (4, 4'-bis(2, 2'-diphenylvinyl)-1, 1'-biphenyl, DPVBi) 为发光层的蓝色有机电致发光器件. 器件性能随发光层厚度变化而变. 在 DPVBi 厚度为 10—50 nm 范围内, 同样电流密度下器件亮度及效率随 DPVBi 厚度增加先增后减, 40 nm 时最佳, 最高亮度达到 15840 cd/m², 最高外量子效率达到 3.2%, 器件色坐标 (Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) co-ordinates) 为 (0.15, 0.15). DPVBi 厚度超过 40 nm 时器件发光光谱出现红移而致色度变差, 其原因可归于微腔效应所致. 同时, 通过实验结果分析表明 DPVBi 中激子扩散长度位于 20—30 nm 范围.

关键词: 发光学, 有机电致发光, 蓝色, 发光效率

PACS: 81.05.Fb, 72.80.Le, 78.60.Fi

1 引言

在有机发光器件 (organic light-emitting device, OLED) 的研究与发展中, 由于蓝色发光器件是实现全彩色显示和获得白色发光的基础而占据非常重要的地位, 获得高效率高色纯度蓝色发光器件具有重要意义. 有机电致发光器件的色度和效率不仅取决于有机材料本身的性能, 如光学带隙、荧光效率等, 而且还取决于器件中阳极和阴极接触特性及包括功能层厚度在内的器件结构等因素. 对于功能层厚度影响器件性能的研究已有很多报道^[1-4]. Zhou 等^[1] 在一种掺杂器件中发现空穴传输层 NPB (*N, N'*-bis-(1-naphthyl)-*N, N'*-diphenyl-1, 1'-biphenyl-4, 4'-diamine) 厚度会影响器件效率及色度, 发现空穴传输层厚度在 12 nm 左右时器件性能最佳; 而 Jiao 等^[2] 报道在 NPB/Alq (tri-(8-quinolino) aluminum) 型简单双层器件中较厚 (60—100 nm) 的空穴传输层有利于器件中空穴的注入, 但过厚的空穴传输层厚度却导致了驱动电压的大幅升高. 文献 [3] 在一种掺杂型聚合物器件

中观察到较厚的器件可获得较宽发射谱, 有利于白光获得, 但驱动电压同样较高. Xie 等^[4] 在一种典型蓝色发光材料——联苯乙烯衍生物 (4, 4'-bis(2, 2'-diphenylvinyl)-1, 1'-biphenyl, DPVBi, 最初由日本 Idemitsu 公司开发, 并由 Hosokawa 进行器件实验, 为一种性能优良的蓝光材料)^[5] 为发光层的器件中, 同时调整发光层及电子传输层厚度而保持器件总厚度不变, 发现发光层较厚 (40 nm) 电子传输层较薄的器件色度较好, 但效率只有 1.78 cd/A; 而发光层较薄 (10 nm) 电子传输层较厚的器件效率可达 4.68 cd/A, 但发光呈蓝绿色, 发光光谱中明显包含了较多来自电子传输层 Alq 的发光. 这一点我们在另一种蓝色发光器件的实验中也观察到类似行为^[6], 即在采用 Alq 为电子传输材料的蓝色有机发光器件中, Alq 较厚时会出现自身发射而影响发光色度. 一般在蓝色发光器件中电子传输层采用 Alq 时厚度应控制在 10 nm 之内为宜.

本文以典型蓝色发光材料——DPVBi^[5] 为发光层, 采用最常用的 NPB 和 Alq 分别作空穴传输层和电子传输层 (厚度经优化分别为 50 nm 和 6 nm,

* 甘肃省自然科学基金 (批准号: 1010RJZA035), 教育部留学回国人员科研启动基金 (批准号: 第 40 批) 和国家自然科学基金 (批准号: 11164015, 11164016) 资助的课题.

† E-mail: youzhiwu@163.com

以期降低器件工作电压并遏制电子传输层 Alq 参与发光而影响发光色度) 制备了 DPVBi 厚度不同的蓝色有机发光器件, 发现发光层 DPVBi 厚度显著影响器件的发光效率及色度. 在 DPVBi 厚度为 10—40 nm 范围时, 器件发光效率随厚度增加而增大, 而器件发光光谱及色度几乎不随厚度变化而变; 当 DPVBi 厚度大于 40 nm 时, 不仅器件发光效率下降, 而且器件发光光谱产生红移而致色度变差. 在 DPVBi 厚度为 40 nm 时, 器件的效率、亮度和色度最佳, 器件最高外量子效率可达 3.2%(或 4.3 cd/A), 最高亮度为 15840 cd/m², 启亮电压为 3.4 V, 器件色坐标 (Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) co-ordinates) 为 (0.15, 0.15).

2 实验

氧化锡铟 (indium tin oxide, ITO) 导电玻璃按照文献 [6] 的方法进行清洗和处理, 烘干后迅速放入真空室内, 在真空度为 3×10^{-4} Pa 的条件下相继蒸镀空穴缓冲层 MoO₃(0.5 nm)^[7,8]、空穴传输层 NPB (50 nm), 发光层 DPVBi(10—50 nm), 电子传输层 Alq (6 nm), 电子缓冲层 LiBq₄(lithium tetra-(8-hydroxy-quinolino) boron, 1 nm)^[9], 最后蒸镀 Al (100 nm) 电极, 得到了结构为: ITO/MoO₃/NPB/DPVBi/Alq/LiBq₄/Al 的器件, 对应不同 DPVBi 厚度 10 nm, 20 nm, 30 nm, 40 nm 和 50 nm 的器件分别记为 A1, A2, A3, A4, A5. 有机材料的蒸发速率约为 0.2—0.5 nm/s, 金属电极的

蒸发速率约为 5 nm/s, 蒸发速率及各功能层厚度用石英晶体振荡仪监测. 器件的电致发光光谱、色度和亮度用理宝公司 (Libero Ltd.) 的 PR650 光谱扫描色度计测量, 电流和电压用吉时利公司 (Keithley Ltd.) 的 2400 数字源表测量, 所有测量在室温大气氛围下进行. 图 1 示出 NPB, DPVBi 和 Alq 的分子结构式.

3 结果与分析

图 2 示出 DPVBi 薄膜光致发光 (photoluminescence, PL) 光谱和不同厚度 DPVBi 器件的电致发光 (electroluminescence, EL) 光谱的比较. 容易看出 DPVBi 厚度为 10—40 nm 的器件 EL 光谱与 DPVBi 薄膜 PL 光谱重合较好, 峰值位于约 456 nm 处, 而 DPVBi 厚度为 50 nm 的器件 EL 光谱大约位于 464 nm, 与 PL 光谱相比大约红移了 8 nm. 说明过厚的 DPVBi 厚度对 EL 光谱产生了一定的影响. 一般, 引起有机发光器件 EL 光谱与相应发光层 PL 光谱差异的可能原因有来自界面的影响 (如界面激基复合物^[10]的影响)、来自其他功能层 (多为电子传输层的影响^[6]) 或来自微腔效应的影响^[11]. 首先, 来自界面的影响基本可以排除, 因为所有器件的相应界面相同, 前四种 DPVBi 较薄的器件 A1, A2, A3 及 A4 中未出现界面影响 EL 光谱的现象, 第五种 DPVBi 厚度为 50 nm 的器件 A5 中界面也自然不会对 EL 光谱产生影响. 实际上, 由于 DPVBi 的非平面结构, 其不易在空穴传输层/发光层界面形成激基复合物类双分子激发态^[5]; 其次,

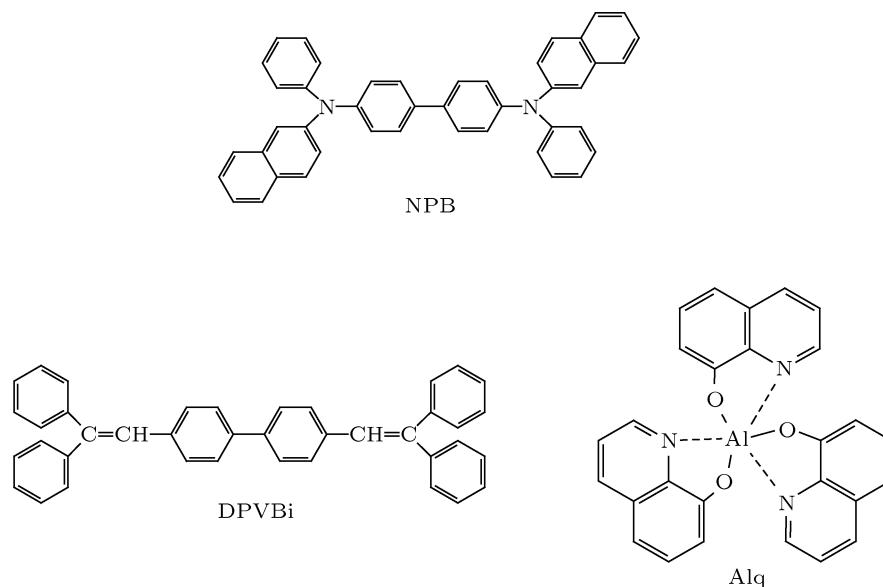


图 1 NPB, DPVBi 和 Alq 的分子结构式

来自其他功能层的影响也可以排除, 因为前四种器件 A1, A2, A3 及 A4 中发光层 DPVBi 较薄的器件中电子传输层未影响到器件 EL 光谱, 而第五种器件 A5 中发光层 DPVBi 较厚, 由于 DPVBi 的空穴阻挡作用^[12] 而更加有利于将激子限制在 DPVBi 层中, 从而电子传输层 Alq 更不大可能产生激发而影响到发光. 至于空穴传输层 NPB 的影响, 若是其参与发光而影响到器件的 EL 光谱, 则不会造成光谱的红移, 因为 NPB 的发射^[13] 比 DPVBi 的发射^[5] 更蓝一些; 唯一可能就是微腔效应^[11,14-16] 影响到了 EL 光谱. 即当 DPVBi 达到 50 nm 时微腔光学干涉效应开始产生影响, 从而影响到了 EL 光谱.

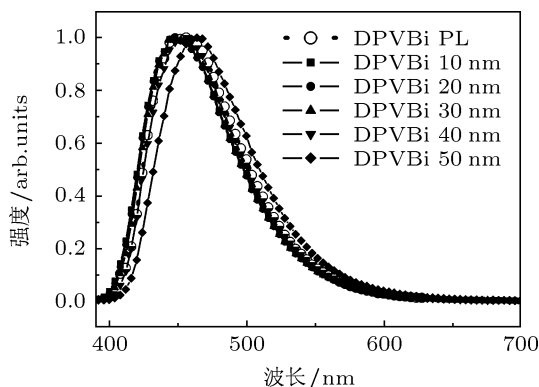


图2 DPVBi 薄膜 PL 光谱及不同 DPVBi 厚度器件的 EL 光谱比较

这里所谓“微腔”是类似于光学谐振腔的一种结构, 当腔的尺寸与光波长达到同一量级时便会产生明显干涉增强或减弱效应. 在 OLED 尤其是顶发射型 OLED 中^[15,16], 若两个电极均具有较高反射率, 或一个高反射另一个半透明, 则在两个电极之间自然形成一个一维光学微腔. 忽略有机层间界面的反射干涉(一般较弱), 当腔内尺寸满足以下条件时, 该种波长的光便会得到增强:

$$\sum_i 2n_i d_i \cos \theta_0 - \frac{\lambda}{2\pi} (\phi_1(\lambda) + \phi_2(\lambda)) = k\lambda, \quad (1)$$

式中 λ 为微腔谐振波长, n_i 和 d_i 分别为电极间第 i 层折射率和厚度, θ_0 为光出射方向与电极法线方向的夹角, $\phi_1(\lambda)$ 和 $\phi_2(\lambda)$ 分别为在两个电极界面上的反射相移, k 为整数. 在 OLED 中微腔中的干涉效应可以明显改变出光光谱及光强. 若 OLED 微腔中存在多光束干涉则导致正向出光的加强和光谱的窄化从而改善发光色纯度^[11], 不过, 同时也会造成器件发光呈非朗伯 (non-Lambertian) 或非余弦辐射. 这一点对显示器件来说是一个不利因素, 因为

理想的显示器件要求发光屏亮度不依赖于方向, 即, 要求发光屏为余弦辐射体.

现在回到本文器件中. 正如多数 OLED 结构一样, 本文器件中只含有一个反射电极 (Al 阴极), 故而不能直接应用上述方程 (1). So 等人^[11] 认为这种结构中广角干涉起到主要作用, 并提供了一套在垂直方向定量计算模拟这种干涉的较为复杂的理论, 对 NPB/Alq 双层器件中 EL 光谱随 Alq 厚度变化的行为进行了拟合, 理论曲线与实验曲线仍不能完全符合.

本文采用另一思路进行分析、解释实验结果. 在这种只含有一个反射电极的结构中, 实际可认为器件发光是直接背向阴极出射的光与金属 Al 电极反射回来的光叠加的结果. 当直接出射光与 Al 阴极反射回来的光程差满足一定关系时便会产生干涉, 而光程差又依赖于发光层厚度, 于是总的发光光谱自然依赖于发光层厚度变化而变. 假定激子主要位于 NPB/DPVBi 界面附近, 根据 (1) 式, 直接出射光与 Al 阴极反射回来光的光程差 (考虑垂直方向) 可表为

$$\Delta L = 2n_{\text{DPVBi}}d_{\text{DPVBi}} + 2n_{\text{Alq}}d_{\text{Alq}} - \frac{\lambda}{2\pi}\phi(\lambda), \quad (2)$$

式中 n_{DPVBi} 和 d_{DPVBi} 分别为 DPVBi 的折射率和厚度, n_{Alq} 和 d_{Alq} 分别为 Alq 的折射率和厚度, $\phi(\lambda)$ 为在 Al 阴极上的反射相移. 当 (2) 式的光程差等于发光波长的整数倍时出射光加强, 而光程差等于发光半波长奇数倍时出射光削弱. 由于 DPVBi 的折射率及反射相移无法确定, 直接应用 (2) 式不可行. 但结合实验事实, 如前所述, 在 DPVBi 厚度为 10 nm 到 40 nm 范围, EL 光谱无明显变化, 当 DPVBi 厚度为 50 nm 时, EL 光谱开始明显红移, 因此可以认为 DPVBi 在 10 nm 到 40 nm 范围内无干涉效应发生, 这意谓着程差 ΔL 微不足道或小于半波长; DPVBi 到 50 nm 时干涉效应刚刚出现, 也就意谓着程差 ΔL 开始接近波长较短部分 (EL 光谱左侧) 光的半波长, 此时产生干涉相消导致出射光短波长部分的削弱. 由图 2 可以看到 DPVBi 厚度为 50 nm 的器件 EL 光谱的红移可看成是在原发光峰值左侧 (短波长方向) 由于 DPVBi 厚度的增加使光程差增大到半波长而致干涉相消并导致该部分光的首先削弱. 如果粗略估算, 取干涉相消中心波长 425 nm (DPVBi PL 光谱短波一侧半高处波长), 取 Alq 折射率^[11] $n_{\text{Alq}} = 1.75$, 并假定反射相移 $\phi(\lambda) = 0$, 则可得 DPVBi 折射率 $n_{\text{DPVBi}} = 1.9$.

这个数据与已知有机材料折射率数值接近,当然还需要其他实验手段的进一步证实.可以预期,若进一步增加 DPVBi 厚度,则干涉相消波长会相应增大,从而导致器件发光光谱进一步红移.这一点在实验中得到完全证实.

至此,通过微腔干涉效应对发光光谱依赖于发光层 DPVBi 厚度变化而变的实验事实得到了较满意的解释.虽然对该问题的定量方面还需做进一步的研究,但微腔效应影响器件 EL 光谱的结论为器件的设计提供了一条重要参考依据.

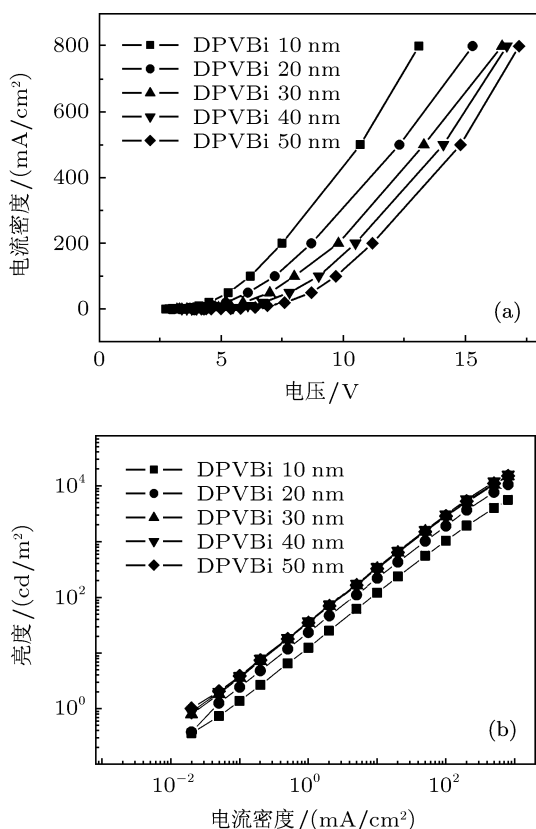


图 3 不同 DPVBi 厚度器件的电流密度 - 电压特性曲线 (a) 和相应的亮度 - 电流特性曲线 (b)

图 3 为不同 DPVBi 厚度器件的电流密度 - 电压特性曲线 (a) 和相应器件的亮度 - 电流密度特性曲线 (b).由图可知 DPVBi 厚度在 10—50 nm 范围内,随 DPVBi 厚度增加,器件工作电压一直升高,而亮度先是随 DPVBi 厚度增加而增加,但在 DPVBi 厚度超过 30 nm 时亮度增加缓慢,在超过 40 nm 时亮度反而减小.在电流密度为 20 mA/cm² 时,DPVBi 厚度为 10 nm, 20 nm, 30 nm, 40 nm 和 50 nm 的器件 A1, A2, A3, A4 和 A5 的工作电压及亮度分别列于表 1 中.容易看出 DPVBi 厚度在 10—50 nm 范围内,每增加 10 nm,器件工作电压基本增加 0.8 V 左右.而亮度随 DPVBi 厚度的变化有不同

的行为,DPVBi 厚度从 10 nm 增加到 20 nm 时,亮度从 234 cd/m² 提高 426 cd/m²、亮度提高了 82%,几乎翻了一翻;当 DPVBi 厚度再增加到 30 nm 时,亮度又从 426 cd/m² 提高到 636 cd/m²,大约又提高了 50%;当 DPVBi 厚度进一步增加到 40 nm 时,亮度提高到 676 cd/m²,仅提高了约 6%,DPVBi 厚度再次增加到 50 nm 时,亮度反而降低到 633 cd/m².这里 DPVBi 厚度增加到 50 nm 时亮度降低的事实也可用前面所述的微腔干涉效应得到很好的解释,这就是说 DPVBi 厚度达到 50 nm 时由于光学干涉相消作用导致出射光短波长部分的削弱,不仅导致 EL 光谱红移(如上所述),同时还造成正向出射光亮度的突然下降.总之,DPVBi 厚度为 40 nm 时,器件性能最佳,该器件在 800 mA/cm² 电流密度时最高亮度达到 15840cd/m².

表 1 不同 DPVBi 厚度的器件在 20 mA/cm² 电流密度条件下的工作电压、亮度、发光效率及启亮电压

器件	A1	A2	A3	A4	A5
DPVBi 厚度/nm	10	20	30	40	50
电压/V	4.4	5.2	5.9	6.7	7.6
亮度/(cd/m ²)	234	426	636	676	633
发光效率/(cd/A)	1.2	2.1	3.2	3.4	3.2
启亮电压/V	2.8	3.0	3.2	3.4	3.8

另一方面,上述器件发光亮度在 DPVBi 厚度 10—40 nm 范围随发光层 DPVBi 厚度增加而提高的行为可通过激子的产生、扩散规律分析如下:如上所述,由于 DPVBi 的空穴阻挡^[12]作用,可以认为激子仅产生于 NPB/DPVBi 界面附近,但由于激子的扩散行为使激子在发光层 DPVBi 中呈一定分布,在发光层足够厚时可认为呈简单的指数分布^[17],即随离开 NPB/DPVBi 界面距离激子密度按指数规律衰减.当 DPVBi 厚度过薄时,产生于 NPB/DPVBi 界面附近的激子便有相当比例在辐射衰变之前就经扩散越过发光层而进入电子传输层 Alq 中,但由于 Alq 厚度仅为 6 nm,这一尺寸范围^[6,17]激子几乎来不及复合便进入阴极,并最终猝灭(这也是所有器件发光中未观察到来自 Alq 的绿色发光的原因),从而导致发光亮度不高.当发光层厚度增加时,激子越过发光层、电子传输层到达阴极猝灭的比例随之减小,故而器件发光亮度升高.实验结果中 DPVBi 厚度从 10 nm 增加到 20 nm 和从 20 nm 增加到 30 nm 时,器件发光亮度分别提高了 82%和 50%,而从 30 nm 增加 40 nm 时,器件发光亮度仅提高了 6%,说明距离 NPB/DPVBi 界

面 30 nm 以外区域, 激子数量已经很少, 换句话说, 在 NPB/DPVBi 界面附近产生的激子在辐射衰变之前能够经由扩散而到达的距离基本不超过 30 nm. 虽然由于激子产生过程的复杂性, 从定量上尚难于确定激子的扩散长度, 但从上述器件亮度随发光层厚度变化规律可大致推测 DPVBi 中激子扩散长度基本上接近并在 30 nm 以内. 再考虑到 DPVBi 厚度从 20 nm 增加到 30 nm 时, 器件亮度提高达 50%, 则基本可肯定激子扩散的范围可超过 20 nm. 由此可得出结论, DPVBi 中激子扩散长度位于 20—30 nm 范围. 这一结果与有机材料 Alq 的激子扩散长度的下述实验结果相近: Tang 等^[17] 在 Alq 基发光器件中通过在 Alq 中插入 5 nm 厚染料掺杂层探测激子的方法得到 Alq 中激子扩散长度为 20 nm 左右; Kalinowski 等^[18] 通过复杂的激子相互作用的方法研究得到的 Alq 中激子扩散长度为 30 ± 15 nm. 相比之下, 本文所用方法及分析要比已报道的这两种方法简单得多. DPVBi 中激子扩散长度 20—30 nm 的结论若能进一步通过其他实验途径证实, 则本文中分析发光亮度随发光层厚度变化而变化规律的方法为研究有机半导体材料中激子扩散行为并获得扩散长度提供了一条简单而实用的方案.

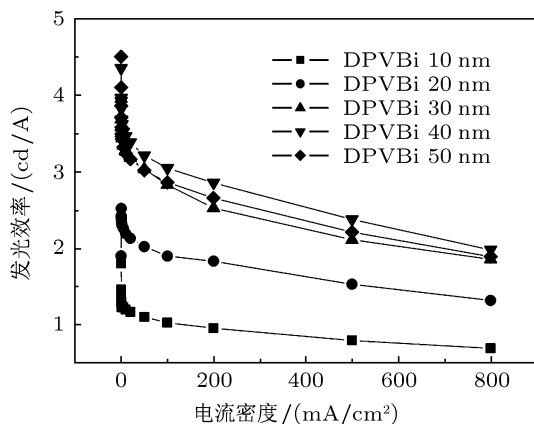


图 4 不同 DPVBi 厚度器件的发光效率 - 电流密度特性曲线

五种器件相应启亮电压也列于表 1 中, 很容易看到器件启亮电压随 DPVBi 厚度增加一致增加, 这与前面讨论过的定电流条件下电压随 DPVBi 厚度变化的行为相同. 这里需要对影响启亮电压高低的因素进行分析. 注意到 OLED 属于注入型发光器件, 器件的工作电压及启亮电压高低除了与器件中电极/有机层界面结构、各功能层厚度有关外, 还与器件发光层光学带隙相关, 带隙越大, 相应所需电压也越高. 在理想的电极/有机层界面及正确选择各功能层厚度情况下, 器件的工作电

压、启亮电压应该达到最低, 而启亮电压数值上应该尽可能接近发光层的光学带隙. 本文中器件发光层 DPVBi 的光学带隙^[5] 为 3.1 eV, 除了 DPVBi 厚度为 50 nm 的器件 A5 启亮电压的数值明显高出 DPVBi 的光学带隙外, 其他 DPVBi 厚度为 10—40 nm 的器件 A1, A2, A3 及 A4 启亮电压数值上均接近或低于 DPVBi 的光学带隙, 其中 DPVBi 最薄的器件 A1 启亮电压仅为 2.8 V, 这一电压数值已经明显低于 DPVBi 的带隙 3.1 eV. 这就是说本文器件中电极/有机层界面由于选择了合适的电子缓冲层 LiBq₄^[9] 及空穴缓冲材料 MoO₃^[7,8] 而形成了非常有利于载流子注入的界面结构, 即形成了欧姆接触, 从而大幅降低了器件工作电压, 获得了 DPVBi 高效率 (见下段)、高亮度的蓝色发光. 同时可以预期, 若能进一步通过适当方法, 如掺杂的方法提高空穴传输层及电子传输层载流子的迁移率, 则器件性能可望得到进一步的提升.

五种器件发光效率随电流的变化规律示于图 4 中. 可以看出, 与通常的 OLED 行为类似, 在低电流条件下发光效率较高, 随着电流的增加, 5 种器件的发光效率均出现了下降的趋势. 电流密度 20 mA/cm² 下, DPVBi 厚度为 10 nm, 20 nm, 30 nm, 40 nm 和 50 nm 的器件的发光效率一并列于表 1 中. 显然, DPVBi 厚度为 40 nm 的器件 A4 发光效率最高, 为 3.4 cd/A, 这与发光亮度随 DPVBi 厚度的变化行为完全一致. 应该说明一点, 3.4 cd/A 的发光效率对应外量子效率为 2.5%, 这一结果与文献 [5] 报道的 DPVBi 掺杂型器件在较低电流密度下效率 (外量子效率 2.4% @ 8.28 mA/cm²) 相当, 而与其相应非掺杂型器件相比, 效率高出一倍. 器件 A4 在电流密度小于 100 mA/cm² 范围, 发光效率基本在 3 cd/A 以上, 最高效率约为 4.3 cd/A (@ 0.02 mA/cm²), 对应发光外量子效率为 3.2%. 这些性能的提升说明本文选择了较为恰当的器件结构.

4 结论

以 DPVBi 为发光层的蓝色有机电致发光器件中, 通过不同 DPVBi 厚度器件性能的对比发现 DPVBi 厚度为 40 nm 时器件性能最优, 启亮电压为 3.4 V, 最高外量子效率为 3.2%, 最高亮度为 15840 cd/m², 器件色坐标为 (0.15, 0.15). DPVBi 厚度超过 40 nm 时微腔效应开始起作用导致 EL 光谱的红移使器件发光色度变差. 通过分析器件

亮度随发光层 DPVBi 厚度变化而变化的规律得出 DPVBi 中激子扩散长度位于 20—30 nm 范围. 研究结果对于在器件结构设计时选取恰当的有机层

厚度或有目的地设计具有特殊光耦合效应的器件具有重要参考价值.

-
- [1] Zhou Y C, Zhou J, Zhao J M, Zhang S T, Zhan Y Q, Wang X Z, Wu Y, Ding X M, Hou X Y 2006 *Appl. Phys. A* **83** 465
- [2] Jiao B, Wu Z X, Yan X W, Hou X 2010 *Appl. Phys. A* **98** 239
- [3] Yap C C, Yahaya M, Salleh M M 2008 *Curr. Appl. Phys.* **8** 637
- [4] Xie W F, Hou J Y, Liu S Y 2003 *Semicond. Sci. Technol.* **18** L42
- [5] Hosokawa C, Higashi H, Nakamura H, Kusumoto T 1995 *Appl. Phys. Lett.* **67** 3853
- [6] Wu Y Z, Zheng X Y, Zhu W Q, Zhang B X, Jiang X Y, Zhang Z L, Xu S H 2002 *Semiconductor Optoelectronics* **23** 253 (in Chinese) [吴有智, 郑新友, 朱文清, 张步新, 蒋雪茵, 张志林, 许少鸿 2002 半导体光电 **23** 253]
- [7] Cao J, Jiang X Y, Zhang Z L 2006 *Appl. Phys. Lett.* **89** 252108
- [8] Matsushima T, Kinoshita Y, Murata H 2007 *Appl. Phys. Lett.* **91** 253504
- [9] Zhang Y, Li Y, Duan L, Zhang D Q, Qiu Y 2007 *Acta Phys. Chim. Sin.* **23** 455 (in Chinese) [张锐, 李杨, 段炼, 张德强, 邱勇 2007 物理化学学报 **23** 455]
- [10] Gebler D D, Wang Y Z, Blatchford J W, Jessen S W, Fu D K, Swager T M, MacDiarmid A G, Epstein A J 1997 *Appl. Phys. Lett.* **70** 1644
- [11] So S K, Choi W K, Leung L M, Neyts K 1999 *Appl. Phys. Lett.* **74** 1939
- [12] Jiang W L, Wang J, Ding G Y, Wang J, Wang L Z, Han Q, Liu S Y 2006 *Chi. J. Lum.* **27** 561 (in Chinese) [姜文龙, 王静, 丁桂英, 汪津, 王立忠, 韩强, 刘式壖 2006 发光学报 **27** 561]
- [13] Tse S C, Kwok K C, So S K 2006 *Appl. Phys. Lett.* **89** 262102
- [14] Lin C L, Lin H W, Wu C C 2006 *Appl. Phys. Lett.* **87** 021101
- [15] Dodabalapur A, Rothberg L J, Jordan R H, Miller T M, Slusher R E, Phillips J M 1996 *J. Appl. Phys.* **80** 6954
- [16] Chen S F, Deng L L, Xie J, Peng L, Xie L H, Fan Q L, Huang W 2010 *Adv. Mater.* **22** 5227
- [17] Tang C W, Van Slyke S A, Chen C H 1989 *J. Appl. Phys.* **65** 3610
- [18] Kalinowski J, Fattori V, Marco P D 2001 *Chem. Phys.* **266** 85

Influence of active layer thickness on the performance of distyrylarylene derivative blue organic light-emitting device*

Wu You-Zhi^{1)†} Zhang Wen-Lin¹⁾ Ni Wei-De¹⁾
Zhang Cai-Rong²⁾ Zhang Ding-Jun¹⁾

1) (State Key Laboratory of Gansu Advanced Non-ferrous Metal Materials, School of Materials Science & Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

2) (Department of Applied Physics, School of Science, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

(Received 12 August 2011; revised manuscript received 6 October 2011)

Abstract

Thickness of emissive layer in organic electroluminescent device is one of the important factors affecting the device performance. In this report, a blue electroluminescent device with an active layer of 4, 4'-bis(2, 2'-diphenylvinyl) -1, 1'- biphenyl (DPVBi) is fabricated. The device performance varies with the thickness of DPVBi. With the increase of the DPVBi thickness between 10—50 nm, the device luminance and efficiency at the same current density first increase and then decrease, the device with a DPVBi thickness of 40 nm exhibits the highest luminance of 15840 cd/m² and a maximum external quantum efficiency of 3.2%, with Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) co-ordinates being (0.15, 0.15). The luminescent spectral red shift and the color purity deteriorate when the thickness is over 40 nm, which can be attributed to a result of microcavity effect. In the meantime, the analysis from experimental results shows that the exciton diffusion length in DPVBi is between 20—30 nm.

Keywords: luminescence, organic electroluminescence, blue, electroluminescent efficiency

PACS: 81.05.Fb, 72.80.Le, 78.60.Fi

* Project supported by the Natural Science Foundation of Gansu Province, China (Grant No. 1010RJZA035), the Scientific Research Foundation for the Returned Overseas Chinese Scholars, State Education Ministry (Grant No. 40), and the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 11164015, 11164016).

† E-mail: youzhiwu@163.com