

• 研究论文 •

两种新型双极有机小分子发光材料的合成与发光

向能军^{a,b} 李狄豪^b 梁万里^b
苏树江^c 石建新^a 龚孟濂^{*,a}

(^a 中山大学化学与化学工程学院 光电材料与技术国家重点实验室 广州 510275)

(^b 香港浸会大学化学系 香港)

(^c 香港浸会大学物理系 香港)

摘要 设计和合成了两种新的具有“双极(bipolar)”性质和发光性能的有机小分子化合物 *N*-[4-(5-(2-苯基喹啉-4)-1,3,4-噁二唑-2)苯基]-*N'*-苯基-*N,N'*-二苯基-1,1'-联苯基-4,4'-二胺(TPDOPQ)和 *N,N'*-双{4-[5-(2-苯基喹啉-4-基)-1,3,4-噁二唑-2]苯基}-*N,N'*-二苯基-1,1'-联苯基-4,4'-二胺[TPD(OPQ)₂]。用 ¹H NMR, MS 和元素分析进行了表征, 研究了化合物的热稳定性和光致发光性质, 并用循环伏安法测定了其电化学性能。结果表明, 这两种合成的有机化合物同时具备空穴传导和电子输入双重功能, 光致发光性能优良, 热稳定性好, 能形成均衡薄膜, 因此可作为制作有机电致发光器件的候选材料。

关键词 有机小分子; 空穴传导; 电子传导; 发光

Synthesis and Photoluminescence of Two Novel Bipolar Organic Compounds

XIANG, Neng-Jun^{a,b} LEE, Tik-Ho^b LEUNG, Louis M^b
SO, Shu Kong^c SHI, Jian-Xin^a GONG, Meng-Lian^{*,a}

(^a State Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Technologies, School of Chemistry and Chemical Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275)

(^b Department of Chemistry, Hong Kong Baptist University, Hong Kong)

(^c Department of physics, Hong Kong Baptist University, Hong Kong)

Abstract Two novel organic compounds substituted with hole transporting arylamine and electron transporting 1,3,4-oxadiazole moieties have been designed and synthesized using a facile multistep reactions with high yield. The compounds are *N*-{4-[5-(2-phenylquinolin-4-yl)-1,3,4-oxadiazol-2-yl]-phenyl}-*N'*-phenyl-*N,N'*-diphenyl-1,1'-biphenyl-4,4'-diamine (TPDOPQ) and *N,N'*-bis{4-[5-(2-phenylquinolin-4-yl)-1,3,4-oxadiazol-2-yl]-phenyl}-*N,N'*-diphenyl-1,1'-diphenyl-4,4'-diamine [TPD(OPQ)₂]. These compounds emit intensive green light with high fluorescence quantum yields of 33%~48% under 450 nm light excitation. Cyclic voltammetry measurement results imply that these two compounds have both good hole-transporting and good electron-transporting properties, and hole-transporting is predominant. TG analysis showed high thermal stability of the compounds and vacuum-coating experiments confirmed the formation of homolous films from these compounds. All the results indicate that the synthesized compounds are potentially good candidates as bipolar (hole-transporting/electron-transporting) and emitting materials for fabrication of organic light-emitting diodes.

Keywords organic small molecule; hole-transporting; electron-transporting; luminescence

* E-mail: cesgml@zsu.edu.cn

Received July 20, 2005; revised November 8, 2005; accepted February 6, 2006.

广东省科技计划(No. B10502)资助项目.

有机电致发光(organic electroluminescence, OEL)技术,以其低驱动电压、宽视角、低成本、高亮度、可大面积显示而被认为是新的下一代平板显示技术,要实现全色显示,发红、绿、蓝光材料是必不可少的,寻找高效的发光材料是现在研究 OEL 的热点之一^[1~4].

OEL 器件(organic electroluminescence diodes, OLEDs)一般包括空穴传导层、电子传导层、发光层等.有机电致发光器件性能在很大程度上受到空穴注入和电子注入平衡的影响,近来发现在器件中加入电子注入层(EIL)和空穴注入层(HIL)可以降低电子注入和空穴注入的能垒,从而降低器件的启亮电压并增大电流效率^[5,6].

为了简化器件结构,降低器件的驱动电压,提高器件的稳定性,目前的研究趋向于将多种功能的基团集中在一个分子之中,使它同时具有2种或者多种功能(空穴传导、电子传导、发光等).*N,N'*-双(3-甲基苯基)-*N,N'*-二苯基-1,1'-二苯基-4,4'-二胺(TPD)为公认的空穴传导基团,而 1,3,4-噁二唑(1,3,4-oxadiazole)为电子传导基团^[7,8],我们用分子设计的思想,把上述空穴传导基团和电子传输基团组合在同一个分子中,合成了两种新的具有“双极(bipolar)”^[9~11]性质和发光性能的有机小分子材料(图 1),并且研究了化合物的热稳定性和光致发光性质,并用循环伏安法测定了其电化学性能.

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

三苯胺、三氯化铁、叠氮化钠、盐酸羟胺、氯化铵、二甲基甲酰胺、二氯亚砷、吡啶均为分析纯试剂(Aldrich), POCl_3 (Merck),其它试剂均为分析纯.

元素分析用德国 Elementar 公司 Vario EL 元素分析仪.质谱用 Finnigan MAT 90 质谱仪或 Q-TOF tandem mass spectrometer (APIQ-STAR Pulsar I, Applied Biosystems, Foster City, USA)高分辨质谱仪测定. ^1H NMR 由 JEOL FT-NMR270 核磁共振光谱测定.热重(TG)分析由美国 Perkin-Elmer TGA6 热分析仪测定,氮气气氛,流速为 20 mL/min,升温速率为 20 °C/min.量子效率和化合物的粉末荧光光谱用 Photo Technology International 荧光系统测定.UV-vis 吸收光谱由 CARY 100 Scan 分光光度计测定.循环伏安法测量用 BAS CV-50 W Voltammetric Analyser 仪,电解池用三电极组成,参比电极为 Ag/AgCl 电极,铂片为工作电极,通过盐桥和鲁金毛细管与工作电极相连,用二茂铁作为内标来校准,以 THF 为溶剂,四丁基高氯酸铵作支持电解质,扫描速率为 100 mV/s.

1.2 合成

1.2.1 *N,N,N',N'*-四苯基-1,1'-联苯基-4,4'-二胺(2)的合成

参考文献[12],称取三苯胺 26 g 倒入装有 300 mL CHCl_3 的 500 mL 圆底烧瓶中,在冰水浴下搅拌至溶解,再将 64 g 三氯化铁迅速全部倒入溶液中,剧烈搅拌反应 1 h,加入 300 mL 甲醇,有大量白色沉淀产生,过滤,用水和甲醇多次洗涤,干燥后用甲苯溶解,滤出不溶物,过短硅胶柱,得白色固体 21.6 g,产率 83%. MS (FAB) m/z : 488 ($\text{M}^+ + 1$).

1.2.2 *N*-(4-甲酰基苯基)-*N'*-苯基-*N,N'*-二苯基-1,1'-联苯基-4,4'-二胺(3)的合成

参考文献[11],在冰水浴和剧烈搅拌下,向装有 50 mL 干燥 DMF 的 250 mL 圆底烧瓶中,缓慢滴入 1.80 g 三氯氧磷,等反应溶液温度下降后,加入 10 g TPD,在 70 °C 反应 6 h,冷却至室温,反应液倒入 200 mL 冰水中,用氢氧化钠调节 pH 值至 6.0 左右,用三氯甲烷萃取,浓缩萃取液得初产物,过硅胶柱(洗脱液为 CH_2Cl_2 和 *n*-Hexane),浓缩洗脱液后得到黄色晶体 5.8 g,产率 55%. ^1H NMR (CDCl_3 , 270 MHz) δ : 9.88 (s, 1H), 7.77 (d, $J=8.1$ Hz, 2H), 7.55 (d, $J=8.1$ Hz, 4H), 7.44~7.07 (m, 21H); MS (FAB) m/z : 517.3 ($\text{M}^+ + 1$).

1.2.3 *N,N'*-双(4-甲酰基苯基)-*N,N'*-二苯基-1,1'-联苯基-4,4'-二胺(4)的合成

参考文献[11],在冰水浴和剧烈搅拌下,向装有 50 mL 干燥 DMF 的 250 mL 圆底烧瓶中,加入 10 g TPD,搅拌至溶解,缓慢滴入 10 mL 三氯氧磷,升温在 100 °C 反应 10 h,冷却至室温,反应液倒入 250 mL 冰水中,用氢氧化钠调节 pH 值至 6.0 左右,用三氯甲烷萃取,浓缩萃取液得初产物,过硅胶柱(洗脱液为 CH_2Cl_2 和 *n*-Hexane),浓缩洗脱液,得到白色晶体 7 g,产率 63%. MS (FAB) m/z : 545.2 ($\text{M}^+ + 1$).

1.2.4 *N*-(4-氰基苯基)-*N'*-苯基-*N,N'*-二苯基-1,1'-联苯基-4,4'-二胺(5)的合成

氮气保护下,5 g 化合物 3 和 3.5 g 盐酸羟胺溶解在 30 mL 2-甲基-2-吡咯烷二酮中,控制温度在 115 °C 反应 4 h,冷却,倒入 100 mL 冰水中,有大量白色固体析出,快速过滤,得到粗产物 5,不进一步提纯,直接进行下一步反应. MS (FAB) m/z : 514.2 ($\text{M}^+ + 1$).

1.2.5 *N,N'*-双(4-氰基苯基)-*N,N'*-二苯基-1,1'-联苯基-4,4'-二胺(6)的合成

参照 *N*-(4-氰基苯基)-*N,N,N'*-三苯基-1,1'-联苯基-4,4'-二胺的合成方法(投料也为 5 g). MS (FAB): 538 ($\text{M}^+ + 1$).

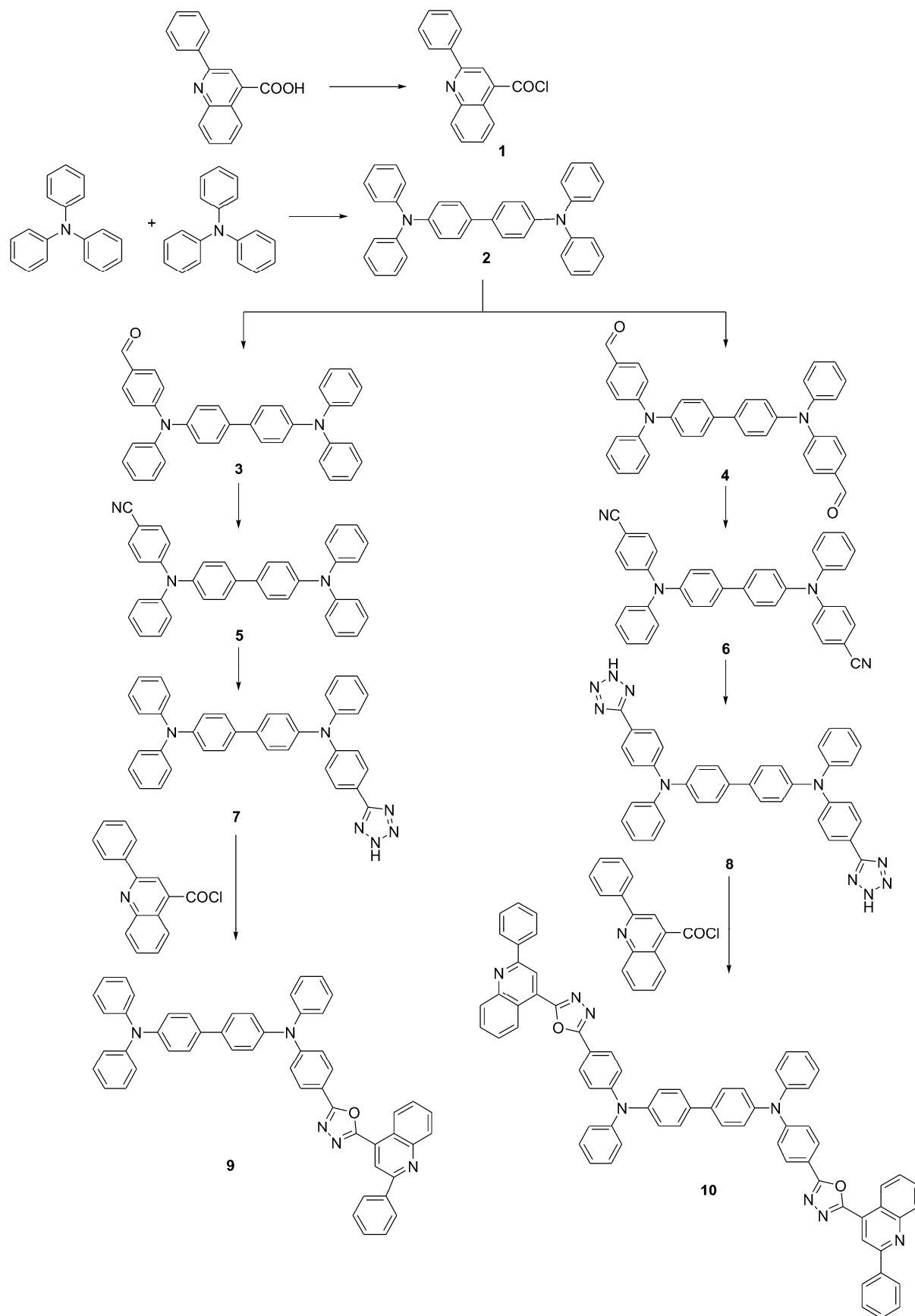


图1 目标化合物的合成

Figure 1 Synthesis of the target compounds

1.2.6 *N*-[4-(2*H*-四唑-5-基)苯基]-*N'*-苯基-*N,N'*-三苯基-1,1'-联苯基-4,4'-二胺(7)的合成

将反应产物 5, 15 g 叠氮化钠和 12 g 氯化铵溶于 100 mL DMF, 机械搅拌, 120 °C 反应 72 h. 反应完后冷却至室温, 反应物倒入 200 mL 冰水中, 调节 pH 值为 1.0, 得到白色固体, 干燥, 用甲苯重结晶, 得到产物 4.5 g, 两步合并产率 85%. ¹H NMR (CDCl₃, 270 MHz) δ : 7.00~7.24 (m, 16H), 7.28~7.42 (m, 5H), 7.57 (d, J =10.8 Hz, 2H), 7.62 (d, J =8.1 Hz, 2H), 7.93 (d, J =8.1 Hz, 2H); MS (FAB) m/z : 556 (M^+ +1).

1.2.7 *N,N'*-双[4-(2*H*-四唑-5-基)苯基]-*N,N'*-二苯基-1,1'-联苯基-4,4'-二胺(8)的合成

将反应产物 6, 25 g NaN₃ 和 20 g 氯化铵溶于 100 mL DMF, 机械搅拌, 130 °C 反应 72 h. 反应完后冷却至室温, 反应物倒入 200 mL 冰水中, 调节 pH 为 1.0, 得到白色固体, 干燥, 用甲苯重结晶, 得到产物 4.2 g, 两步合并产率 73%. MS (FAB) m/z : 624.3 (M^+ +1).

1.2.8 *N*-[4-(5-(2-苯基喹啉-4-基)-1,3,4-噁唑-2)苯基]-*N'*-苯基-*N,N'*-二苯基-1,1'-联苯基-4,4'-二胺(9)的合成

称取 0.68 g 2-苯基喹啉-4-甲酸于 250 mL 二口瓶中, 加入 20 mL 二氯亚砷. 加热回流 10 h, 减压蒸馏除去二氯亚砷, 加入 50 mL 干燥的吡啶, 搅拌至溶解, 加入 1.5 g 化合物 7, 回流反应 2 h, 减压蒸馏除去吡啶, 过硅胶柱(洗脱液为 CH₂Cl₂ 和 *n*-Hexane), 浓缩洗脱液, 得到黄色晶体 1.74 g, 产率 85%. ¹H NMR (CDCl₃, 270 MHz) δ : 9.25 (d, J =5.4 Hz, 1H), 8.53 (s, 1H), 8.25 (t, J =10.8 Hz, 3H), 8.05 (d, J =5.4 Hz, 2H), 7.83 (t, J =8.1 Hz, 1H), 7.7 (t, J =10.8 Hz, 1H), 7.52 (m, 8H), 7.36 (t, J =8.1 Hz, 2H), 7.30~7.12 (m, 16H), 7.04 (t, J =8.1 Hz, 2H); HRMS calcd for C₅₃H₃₇N₅O 788.2773, found 788.2779. Anal. calcd for C₅₃H₃₇N₅O: C 83.77, H 4.91, N 9.22; found C 83.67, H 5.12, N 9.23.

1.2.9 *N,N'*-二{4-[5-(2-苯基喹啉-4-基)-1,3,4-噁唑-2]苯基}-*N,N'*-二苯基-1,1'-联苯基-4,4'-二胺(10)的合成

称取 1.2 g 2-苯基喹啉-4-甲酸于 250 mL 二口瓶中, 加入 20 mL 二氯亚砷. 加热回流 10 h, 减压蒸馏除去二氯亚砷, 加入干燥的吡啶 50 mL, 搅拌至溶解, 加入 2 g 化合物 8, 回流反应 2 h, 减压蒸馏除去吡啶, 过硅胶柱(洗脱液为 CHCl₃ 和 *n*-Hexane), 浓缩洗脱液, 得到淡黄色晶体 1.3 g, 产率 53%. ¹H NMR (CDCl₃, 270 MHz) δ : 9.24 (d, J =8.1 Hz, 2H), 8.53 (s, 2H), 8.29~8.23 (m, 6H), 8.06 (d, J =5.4 Hz, 4H), 7.85 (t, J =10.8 Hz, 2H), 7.71 (t, J =10.8 Hz, 2H), 7.60~7.50 (m, 8H), 7.41~7.35 (t, J =8.1 Hz, 4H), 7.27~7.16 (m, 16H); HRMS calcd for C₇₀H₄₆N₈O₂ 1032.3821, found 1031.3805. Anal. calcd for

C₇₀H₄₆N₈O₂: C 81.53, H 4.50, N 10.87; found C 81.37, H 4.61, N 10.68.

2 结果和讨论

2.1 吸收光谱

图 2 为化合物 TPDOPQ 和 TPD(OPQ)₂ 在 CHCl₃ 溶液中的电子吸收光谱.

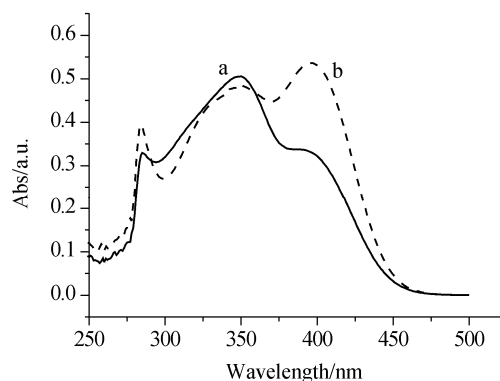


图 2 化合物 TPDOPQ (a) 和 TPD(OPQ)₂ (b) 在 CHCl₃ 中的吸收光谱 (1×10^{-5} mol/L)

Figure 2 Absorption spectra of TPDOPQ (a) and TPD(OPQ)₂ (b) in CHCl₃ (1×10^{-5} mol/L)

两种化合物在 CHCl₃ 溶液中的紫外-可见吸收光谱相似, 化合物 TPDOPQ 的吸收峰位于 284, 349 和 394 nm, 化合物 TPD(OPQ)₂ 的吸收峰位于 284, 351 和 396 nm, 其中, 化合物 TPDOPQ 位于 284 nm 的吸收峰和化合物 TPD(OPQ)₂ 位于 284 nm 的吸收峰都归属为化合物的 π - π^* 跃迁吸收峰. 化合物 TPDOPQ 位于 349 和 394 nm 的吸收峰与化合物 TPD(OPQ)₂ 位于 351 和 396 nm 的吸收峰都归属为分子内电子转移跃迁吸收. 化合物 TPD(OPQ)₂ 的最后一个吸收峰比 TPDOPQ 最后一个吸收峰强, 其原因可能是化合物 TPD(OPQ)₂ 分子结构比 TPDOPQ 多出一个缺电子基团 1,3,4-噁唑的缘故.

2.2 荧光光谱和量子效率

用 CHCl₃ 作为溶液, 测定了化合物 TPDOPQ 和 TPD(OPQ)₂ 的光致发光(photoluminescence, PL)激发光谱和发射光谱(图 3).

两种化合物在 CHCl₃ 溶液中的激发与发射光谱基本相似, 其激发峰位置分别为 451 和 452 nm. 以各自的最大激发波长光激发, 两种化合物均发射强烈的绿光, 发射峰分别位于 560 和 563 nm.

以硫酸喹啉为参照标准^[13], 测定了 TPDOPQ 和 TPD(OPQ)₂ 在 CHCl₃ 溶液中 298 K 时的荧光量子效率, 荧光量子效率分别为 48% 和 33%. TPDOPQ 在 CHCl₃ 溶液中的荧光量子产率比 TPD(OPQ)₂ 在 CHCl₃ 溶液中的

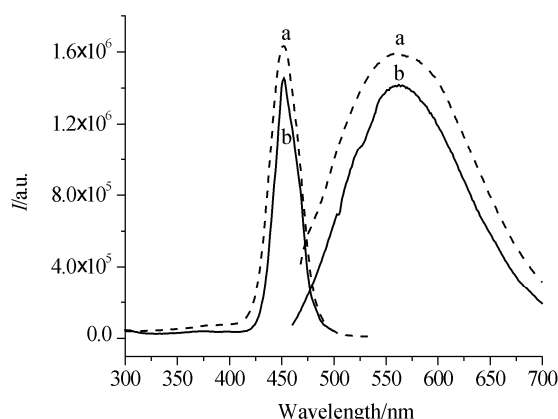


图3 化合物TPDOPQ (a)和TPD(OPQ)₂ (b)在CHCl₃溶液中的激发(左)与发射光谱(右)

Figure 3 Excitation (left) and emission (right) spectra of the compounds TPDOPQ (a) and TPD(OPQ)₂ (b) in CHCl₃ solution

(a) $\lambda_{\text{ex}}=451 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{em}}=560 \text{ nm}$; (b) $\lambda_{\text{ex}}=452 \text{ nm}$, $\lambda_{\text{em}}=563 \text{ nm}$

荧光量子产率高出 15%，这可以用对称电荷转移“TICT”模型^[14,15]解释：当分子从基态(S_0)激发至 S_1 态时，伴随着分子内电荷由分子两端给体向化合物中心 TPD (π)转移的同时，分子分别形成平面(intermolecular charge transfer, ICT)态和扭转(twisted intermolecular charge transfer, TICT)态，这一过程中，TPDOPQ 和 TPD(OPQ)₂ 分子中的中心 TPD 平面态和扭转态几率一致。因此，两化合物的发光除出现“ICT”发光带外，也出现了“TICT”发光带。随着分子中心 TPD 引入基团的增多，增加了分子的扭曲，扭曲的 TICT 态势必消耗较多的激发能，由于这两种状态的存在，从而减低了化合物的辐射衰变几率，使得 TPD(OPQ)₂ 的发光强度弱于 TPDOPQ。

制作 OLEDs 需要相关材料有高的热稳定性。用 Perkin-Elmer TGA6 热分析仪测定了化合物 TPDOPQ 和 TPD(OPQ)₂ 的热分解温度。热重(TG)分析表明 TPDOPQ 和 TPD(OPQ)₂ 具有很高的分解温度，分别为 500.8 和 497.6 °C，具有这么高的分解温度的有机小分子很少见。真空镀膜实验表明这二种化合物能形成均衡的膜层，在近紫外光照射下，发射强烈的绿色荧光。这为制备相应的有机电致发光器件奠定了基础。

2.3 电化学性质

由于循环伏安法可以较为精确地测定有机小分子的 HOMO 和 LUMO 能级^[16]，所以用循环伏安法可以为实现电极材料、发光材料和载流子传输材料之间的能带匹配，优化器件结构，提高器件效率，并提供理论依据。

以四丁基高氯酸铵作支持电解质，在一个三电极(参比电极为 Ag/AgCl 电极，铂片作为工作电极和辅助电极)体系，以 THF 为溶剂，扫描速度为 100 mV/s 测定了这二个化合物的循环伏安特性。其循环伏安工作曲线

分别见图 4 和图 5。

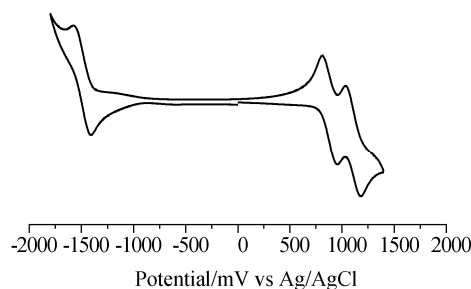


图4 TPDOPQ 的循环伏安曲线

Figure 4 The cyclic voltammogram of compound TPDOPQ

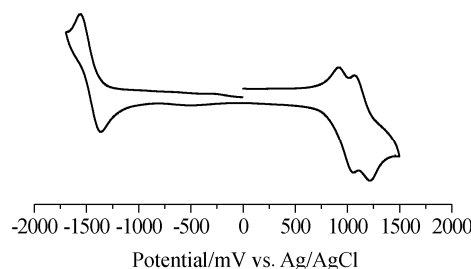


图5 TPD(OPQ)₂ 的循环伏安曲线

Figure 5 The cyclic voltammogram of compound TPD(OPQ)₂

从化合物 TPDOPQ 的循环伏安工作曲线(图 4)上可以看出，TPDOPQ 在较负电势区出现了一对氧化还原峰，其峰值为 -1.41 V，而正向出现了两对氧化还原峰，其峰值分别为 0.87 和 1.11 V。图 5 给出了化合物 TPD(OPQ)₂ 循环伏安曲线，TPD(OPQ)₂ 在较负电势区出现了一对氧化还原峰，其峰值为 -1.47 V，而正向出现了两对氧化还原峰，其峰值分别为 0.98 和 1.15 V，由于化合物的分子中心为 TPD，它有两个三苯胺基团，在氧化与还原过程中是依次进行，所以化合物的循环伏安曲线上正向出现了两对氧化还原峰。由这些数据可以看出，两种化合物容易失去电子而形成较稳定的正离子，空穴传导性应该优于电子传输性。

根据循环伏安工作曲线图上的氧化和还原的出峰位置，按照文献方法^[17]计算分子的 HOMO, LUMO 能级，数据见表 1。

表 1 化合物 TPDOPQ 和 TPD(OPQ)₂ 的电化学性质

	Red ¹ /V vs. Ag/AgCl	Ox ¹ /V vs. Ag/AgCl	Ox ² /V vs. Ag/AgCl	LUMO/ eV	HOMO/ eV
TPD(OPQ) ₂	-1.47	0.98	1.15	-2.81	-5.27
TPDOPQ	-1.41	0.87	1.11	-2.80	-5.16

从表 1 可知，TPD(OPQ)₂ 的 HOMO 为 -5.27 eV，TPDOPQ 的 HOMO 为 -5.16 eV，数值均接近于 ITO 玻璃(-4.5~-5.0 eV)^[18]，这表明合成的化合物和 ITO 玻

璃HOMO值较匹配,可作为空穴传导层,大大降低空穴传导的能垒,提高器件的效率. TPDOPQ比TPD(OPQ)₂更加容易氧化,这是因为TPD(OPQ)₂比TPDOPQ多引入了一个导电基团,使得所需要的氧化电位增高.

TPD(OPQ)₂的LUMO为-2.81 eV, TPDOPQ的LUMO为-2.80 eV,数值均接近于常用的电子输入材料PBD(-2.82 eV)^[19],具有较高的电子亲和势,而具有较高电子亲和势的材料可以作为电子传输层,且随电子亲和势的增加减低电子注入的能垒,提高器件的效率.

由以上电化学测量结果可知,这两种化合物同时具有空穴传导和电子传导的双重性质,即属于“双极(bipolar)”物质,而且空穴传导性质占优.如上所述,它们还具有良好的光致发光性能、成膜性能和高的热稳定性,因此可以用于制作单层OLED,也可以用于制作多层OLED,简化器件的结构,提高器件的发光效率.

References

- 1 Tang, C. W.; VanSlyke, S. A. *Appl. Phys. Lett.* **1987**, *51*, 913.
- 2 Tang, C. W.; VanSlyke, S. A.; Chen, C. H. *J. Appl. Phys.* **1989**, *65*, 3610.
- 3 Chan, L. H.; Yeh, H.-C.; Chen, C. T. *Adv. Mater.* **2001**, *13*, 1637.
- 4 Zhang, X. H.; Wu, S. K.; Gao, Z. Q.; Li, Z. S.; Li, S. T. *Acta Chim. Sinica* **2000**, *58*, 293 (in Chinese). (张晓宏, 吴世康, 高志强, 李振声, 李述汤, 化学学报, **2000**, *58*, 293.)
- 5 Baldo, M. A.; O'Brien, D. F.; You, Y.; Shoustikov, A.; Sibley, S.; Thompson, M. E.; Forrest, S. R. *Nature* **1998**, *395*, 151.
- 6 Van, S.; Chen, S. A.; Tang, C. H.; C. W. *Appl. Phys. Lett.* **1996**, *69*, 2160.
- 7 Sun, Y. F.; Song, H. C.; Li, W. M.; Xu, Z. L. *Chin. J. Org. Chem.* **2003**, *23*, 1286 (in Chinese). (孙一峰, 宋化灿, 李卫明, 许遵乐, 有机化学, **2003**, *23*, 1286.)
- 8 Hattori, T.; Taira, T.; Era, M.; Tsutsui, T.; Saito, S. *Chem. Phys. Lett.* **1996**, *254*, 103.
- 9 Liu, T. H.; Chung, Y. I.; Chen, C. H. *Curr. Appl. Phys.* **2005**, *5*, 218.
- 10 Scott, J. C.; Brock, P. J.; Salem, J. R.; Ramos, S.; Malliaras, G. G.; Carter, S. A.; Bozano, L. *Synth. Met.* **2000**, *111*~*112*, 289.
- 11 Tamoto, N.; Adachi, C.; Nagai, K. *Chem. Mater.* **1997**, *9*, 1077.
- 12 Sato, H.; Kanegae, A.; Yamaguchi, R.; Ogino, K.; Kurjata, J. *Chem. Lett.* **1999**, 79.
- 13 Parker, C. A.; Rees, W. T. *Analyst* **1960**, *9*, 204.
- 14 Retting, W. *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.* **1986**, *25*, 971.
- 15 Wei, S.-L.; Lu, J.-Z.; Jiang, Y.-B.; Xu, J.-G. *Acta Chim. Sinica* **1998**, *56*, 37 (in Chinese). (韦寿良, 卢建中, 江云宝, 许金钩, 化学学报, **1998**, *56*, 37.)
- 16 Eckhardt, H.; Shacklette, L. W.; Jenk, Y. *J. Chem. Phys.* **1989**, *91*, 1303.
- 17 Elandaloussi, E. H.; Spangler, C. W. *Polym. Prept.* **1998**, *39*, 1055.
- 18 Shaheen, S. E.; Jabbour, G. E.; Kippelen, B.; Peyghambarian, N.; Anderson, J. D.; Marder, S. R.; Armstrong, N. R.; Bellmann, E.; Grubbs, R. H. *Appl. Phys. Lett.* **1999**, *74*, 3212.
- 19 Wang, Y. M.; Teng, F.; Ma, C. Q.; Xu, Z.; Hou, Y. B.; Yang, S. Y.; Wang, Y. S.; Xu, X. R. *Displays* **2004**, *25*, 237.

(A0507207 LI, L. T.; DONG, H. Z.)