

专 论

白光聚合物和聚合物白光器件

张安琪, 应 磊, 吴宏滨, 杨 伟*, 曹 镛

(华南理工大学高分子光电材料与器件研究所 教育部特种功能材料重点实验室, 广州 510640)

摘要:有机/聚合物电致发光器件(O/PLEDs)具有低能耗、宽视角、色彩丰富、快速响应、绿色环保以及可制备柔性屏等诸多优异特性,被业界公认为是 21 世纪最具潜质和最具发展前景的高技术领域之一。白光聚合物电致发光器件(WPLEDs)具有可通过湿法加工技术(如旋涂、丝网印刷、喷墨打印)大大降低器件的制作成本等优点,在显示和照明领域有着极大的应用前景,而受到人们广泛的关注。本文就国内在白光聚合物和聚合物白光器件方面的研究现状,从聚合物白光器件和制备单一白光聚合物两个方面进行阐述,并介绍这一领域的发展前景和目前亟待解决的一些问题。

关键词:电致发光;白光聚合物;聚合物白光器件

引言

有机/聚合物电致发光器件(Organic/Polymer light emitting diodes, O/PLEDs)具有低能耗、宽视角、色彩丰富、快速响应、绿色环保以及可制备柔性屏等诸多优异特性,被业界公认为是 21 世纪最具潜质和最具发展前景的高技术领域之一。相对有机小分子发光器件(OLED)制备过程中苛刻的真空蒸镀条件而言,聚合物电致发光器件(PLED)具有可湿法加工(如旋涂、丝网印刷、喷墨打印等工艺)、大面积制备、在柔性衬底上制备可弯曲柔性器件的优势,在全彩色平板显示、液晶显示器(LCD)的背光源以及固态照明等诸多领域具有极大的应用前景,因此关于白光聚合物和聚合物白光器件的研究目前已经成为有机发光领域的热点之一^[1~3]。近年来,随着对这一领域研究的不断深入,WPLEDs 的性能已达到甚至超过了作为人类第二代照明技术的白炽灯的水平,在新型平板显示技术和固态照明领域的应用前景正受到全球显示和照明产业界的广泛关注^[4,5]。

根据国际照明委员会(CIE)的规定,白光区域指白光等能点(0.33, 0.33)附近的一个区域,色坐标在这个范围内的光都可称为白光。国际照明委员会于 1931 年根据色度学理论绘制的色坐标图如图 1 所示,这也是目前沿用最多的标准色度学系统,简称 CIE 1931。图中三个顶点为红、绿、蓝三色,中间部分为白色。按照色度学的加色原理,白光可以由色坐标图上任何三种颜色的光(如红光+绿光+蓝光)的色坐标三点连线形成的包含白光等能点的三角形叠加方法获得,或是由连线通过白光区域的两互补色(如橙/黄光和蓝光)加合而成。这两种方法都是通过精确调节各组分含量从而控制短波长光向长波长光的不完全能量转移,使器件的发光区域覆盖整个可见光区而获得白光^[6,7]。然而,由于不同材料的寿命和稳定性不尽相同,发光色度会因材料老化速度不同而变化,进而影响器件的发光稳定性。因此,设计合成含有多种发色团而发射白光的单一聚合物,从而尽可能减少由于不同材料老化速度不同造成色度变化的研究引起了人们越来越多的关注。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 20574021, U0634003);

* **联系人简介:**杨伟,男,教授,主要从事有机/高分子光电材料及器件研究, E-mail: pswyang@scut.edu.cn.

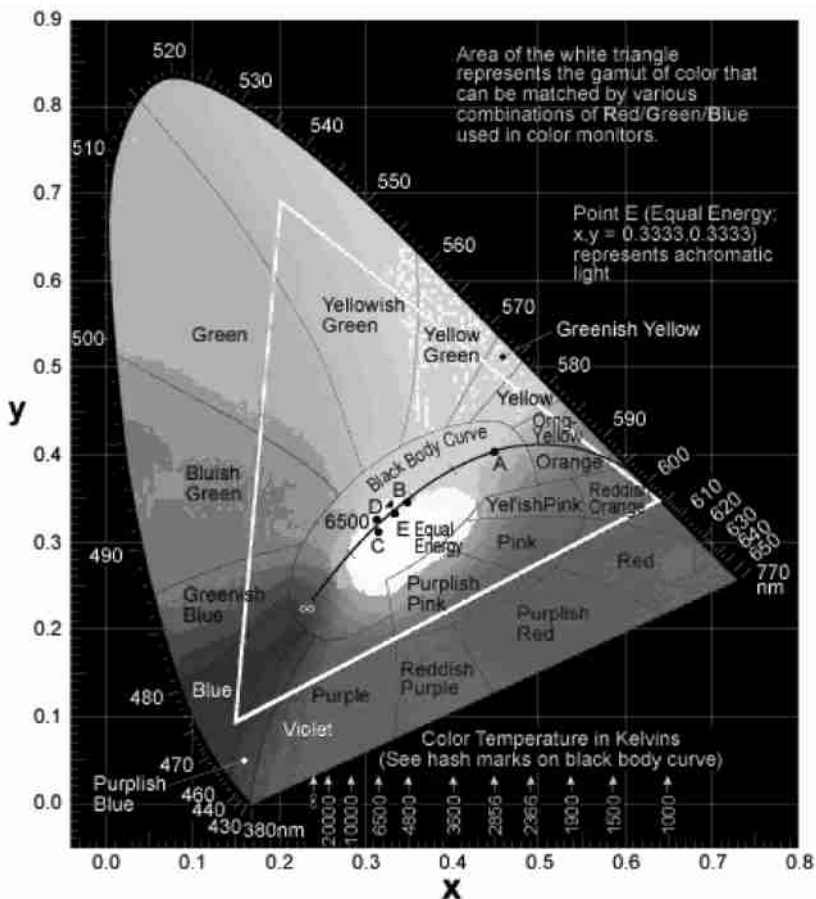


图 1 CIE 1931'色坐标图

Figure 1 Diagram of chromaticity of C.I.E. 1931'

1 聚合物白光器件

单独采用发单色光的聚合物难以实现发射光谱覆盖整个可见光区的白光发射。为了制备聚合物白光器件,通常需要将各种单色光聚合物以不同的方式进行组合来制备白光器件,如制备单层器件和多层器件。

1.1 共混的单层白光器件

对于单层器件,能量转移仅发生在单一发光层内,因此通过调控各组分浓度就能获得理想的发光颜色。由于没有载流子阻挡层,器件工作电压通常较低,且光谱随工作电压变化也较小。牛巧利等^[8]采用蓝光(PFO)、绿光(P-PPV)和红光(PFO-DHBT)聚合物的不同比例的共混物作为发光层(EML),制备单层白光器件,器件结构为ITO/PEDOT/PVK/EML/Ba/Al。当PFO:P-PPV:PFO-DHBT共混比例为96:4:0.4时,器件的最大电流效率和亮度分别达到7.6 cd/A和11 930 cd/m²,色坐标为(0.31,0.37)。外加电压变化时,器件的电致发光光谱保持较好的稳定性(如下图2所示)。

Tan等^[9]以BE-co-MEH-PPV/PDPF共混物为发光层,制备了单层白光器件。通过改变BE-co-MEH-PPV/PDPF的共混比例来调节发光光谱。当BE-co-MEH-PPV含量为0.194%时,获得了在宽电压范围内稳定的白光发射。单层白光器件的最大亮度和最大流明效率分别达2330 cd/m²和0.29 cd/A,引入电子传输/空穴阻挡材料Alq₃形成双层器件时,器件整体效率得到明显提升,最大亮度和最大流明效率可分别达到3300 cd/m²和2.37 cd/A。

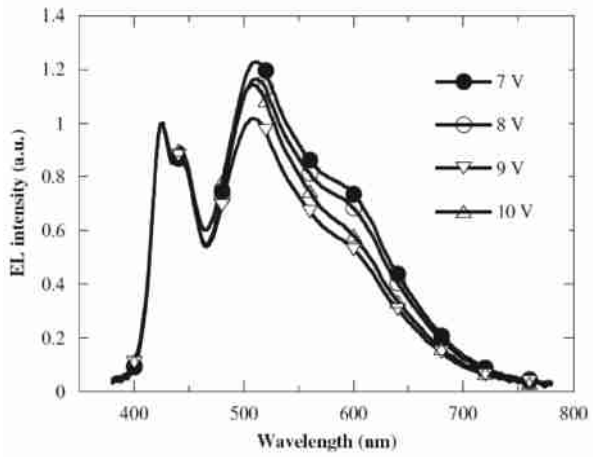


图 2 不同外加电压下发光器件的 EL 光谱
Figure 2 EL spectra of the device at different voltages

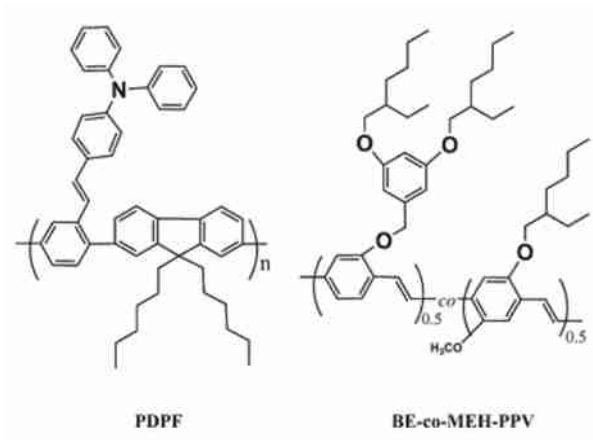


图 3 PDPF 和 BE-co-MEH-PPV 的结构式
Figure 3 Chemical structures of PDPF and BE-co-MEH-PPV

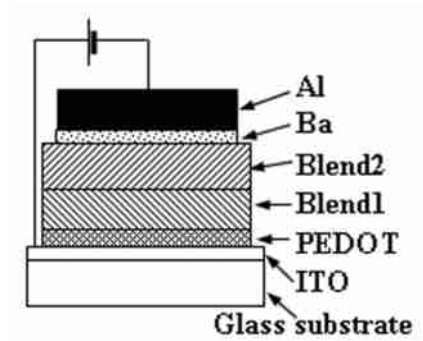


图 4 聚合物双发光层器件结构
Figure 4 Device structure of the bi-layer PLEDs

1.2 共混的多层白光器件

聚合物发光器件均采用溶液法制备。由于序列旋涂时溶液会对下层的聚合物薄膜造成一定程度的溶解,可能会破坏已经制备的薄膜。通过选择适当的溶剂,可以使后旋涂的聚合物溶液对已制备的聚合物薄膜不会造成破坏。基于这种思路,许运华等^[9]制备了双层聚合物白光器件,如图 4 所示。第一层(blend1)为 PVK/PFO-DHBT(100:3)共混物,由于 PVK 极性较强,选择极性溶剂氯苯配制溶液旋涂成膜;

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

第二层(blend 2)为 PFO/P-PPV (100:1) 共混物, 选择较弱极性的甲苯溶剂。由于 PVK 在甲苯中的溶解性较差, 因此当用甲苯溶液旋涂第二层(PFO)时, 第一层(PVK)不会被溶蚀, 从而较好地避免了因界面混溶引起的加工问题。所制备的器件最大电流效率为 4.4 cd/A , 当器件亮度从 200 cd/m^2 变化到 6300 cd/m^2 时, 相应的色坐标从 (0.35, 0.35) 变化到 (0.31, 0.32), 均接近白光等能点 (0.33, 0.33), 说明这种方法制备的器件具有较好的稳定性。此外, 采用双层器件可以通过分别调节各单层中的共混比例来获得白光。与需要同时调节三种发光组分的单层器件相比, 双层器件可以更方便地调节发光颜色, 但采用这种方法制备的器件效率还有待进一步提高。

孙庆军等^[11, 12]制备了双层结构的聚合物白光器件。以 P-TPD/PVK 共混物为空穴传输/电子阻挡层, 以 PDHFD00P (蓝光)/PFT (绿光) 共混物为发光层。发光层在高温退火时, 蓝光组分 (PDHFD00P) 和绿光组分 (PFT) 形成发红光的激基复合物, 从而使发光层可同时发红、绿、蓝三色光而实现白光发射。所制备器件的最大亮度和最大流明效率分别为 4800 cd/m^2 和 3 cd/A , 器件的电致发光光谱如图 5 所示^[11]。此外, Sum 等又采用 PFO/MEHPPV 共混物为发光层制备了器件, 得到了色坐标为 (0.32, 0.34)^[12] 的白光发射。周毅等^[13]用红 (BE-co-MEH-PPV)、绿 (PFT)、蓝 (PFO) 三色光的聚合物制备了双层器件, 并得到了稳定的白光发射, 器件的最大流明效率和亮度分别达到 4.4 cd/A 和 4420 cd/m^2 。

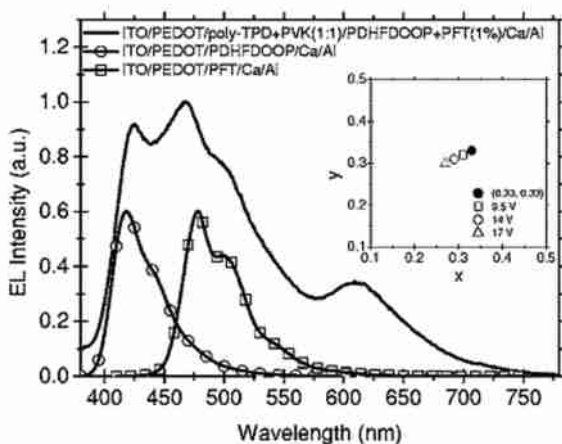


图 5 器件的电致发光光谱和器件在不同电压下的色坐标

Figure 5 EL spectra and the CIE coordinates of the double-layer devices at different bias voltages

1.3 磷光配合物掺杂的白光器件

电磷光由于可同时利用单线态和三线态激子发光, 在理论上能达到 100% 的内量子效率, 大大高于仅采用单线态激子发光的电荧光内量子效率 25% 的理论极限, 因此采用电磷光发光的器件最有可能在效率上实现重大突破^[14~16]。通常采用将有机配合物生色团掺杂到聚合物主体材料中, 通过有效的能量转移和电荷俘获形成激子发光^[17~20]。吴宏滨等^[21]用铱配合物 FIrpic (蓝光), Ir(mppy)₃ (绿光) 和 Ir(piq) (红光) 作为磷光体 (分子结构如图 6 所示), 将其掺杂到 PVK 主体材料中作为发光层 (EML), 通过调节各组分的掺杂浓度, 制备了结构为 ITO/PEDOT/EML/Ba/Al 的高效白光器件。由于发光层中加入了电子传输材料 OXD-7, 当载流子通过电极注入到器件时, 器件中的三种磷光配合物同时被激发。器件的能量转移机制可以推测为: 宽带隙主体材料 PVK/窄带隙客体材料分子间发生有效的能量转移; 蓝光 FIrpic (掺杂浓度 ~ 10 wt%) 主要是通过载流子共振注入和陷阱俘获作用激发, 并起到载流子的双极输运以及陷阱的作用; 三线态能级较高的 FIrpic ($T_1 = 2.65 \text{ eV}$)/三线态能级较低的绿光分子 Ir(mppy)₃ ($T_1 = 2.2 \text{ eV}$) 和红光分子 Ir(piq) ($T_1 = 2.1 \text{ eV}$) 之间发生有效的 Dexter 能量转移, 因此能量较低的绿光和红光部分既可以因载流子陷阱俘获作用直接被激发, 又可以通过三线态能量转移的方式被激发。此外, 由器件能级结构图可以看出, Ir(piq) 的引入可将空穴注入势垒降低 0.5 eV, 除了起到引入深能级空穴缺陷和电子陷阱作用之外, 还可以形成空穴注入的欧姆接触, 从而有利于提高空穴的注入, 并可以大大降低器件的工作电压。

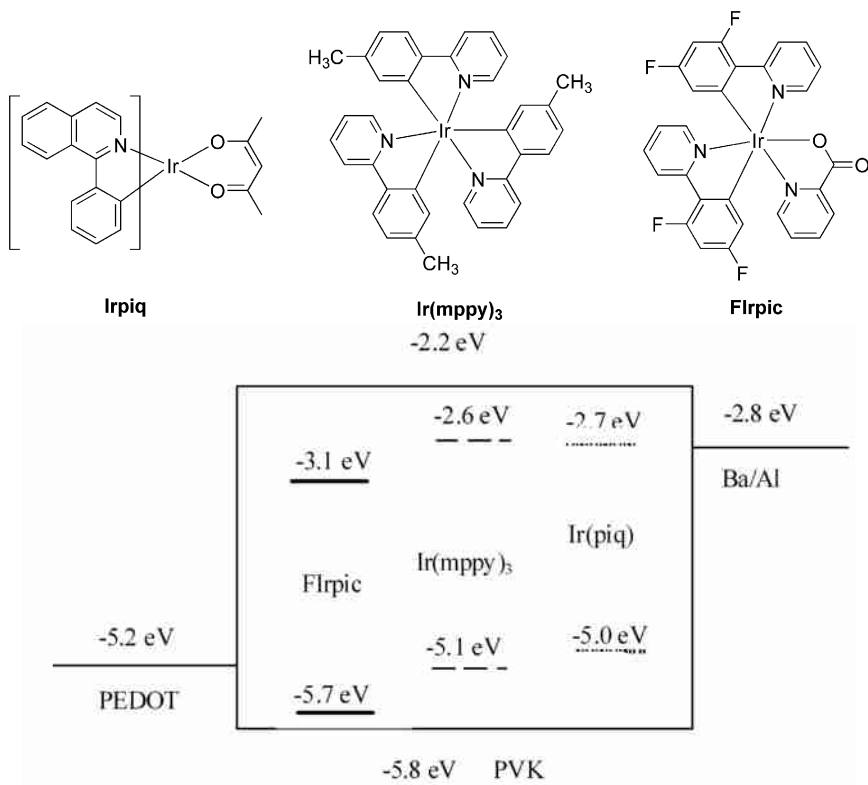


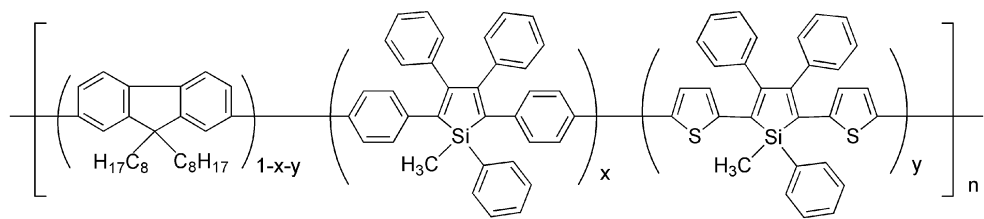
图 6 (a) 电磷光配合物的分子结构;(b) 发光器件的能级结构图
Figure 6 (a) molecular structures of phosphorescent dyes; (b) energy diagram of the devices

表 1 红、绿、蓝配合物掺杂/聚合物白光器件的性能*
Table 1 Device performance of RGB iridium complexes doped white emitting PLEDs

配合物组成	色坐标 (<i>x</i> , <i>y</i>) ^c		最大流明效率 ^d (cd/A)	最大外量子效率 ^e /%	最大功率效率 ^f (lm/W)	色温/K	显色指数
40:1 ^a	0.255	0.357	16.0	12.9	7.6	9083	65
30:1	0.319	0.352	14.6	11.4	5.6	6131	46
20:1	0.329	0.362	16.1	10.0	6.3	5896	52
10:1	0.465	0.339	4.9	5.0	2.2	2061	28
50:1:1 ^b	0.301	0.467	21.9	13.8	10.0	6297	62
20:1:1	0.343	0.468	24.3	14.4	9.5	5010	77
30:0.1:1	0.382	0.469	18.9	12.9	8.2	3891	75
50:0.1:1	0.257	0.395	16.3	12.1	5.4	8267	62

* FIrpic 质量百分数为 6%; ^a FIrpic:Ir(pi q); ^b Firpic:Ir(mppy)₃:Ir(pi q); ^c 在 12 mA/cm² 的电流密度下获得; ^d 最大前向流明效率; ^e 最大外量子效率; ^f 最大前向功率效率.

如表 1 所示,所得到的三元掺杂器件最大前向功率效率达到 10.0 lm/W,相当于 20 lm/W 的总功率效率;最大前向电流效率达到了 24.3 cd/A,相当于总电流效率达到 48 cd/A,器件的最大外量子效率达到 14.4%。在 1000 cd/m² 的具有实用价值的亮度上,器件的前向电流效率和功率效率仍然保持较高的水平,最大可达到 22.0 cd/A 和 9.2 lm/W。进一步的计算表明,器件显色指数 CRI 可达 77,色温在 2500~6500 K 范围内,是较为理想的白光照明光源。与目前报道的小分子白光器件的最好性能相比,基于溶液加工的聚合物电致发光器件在保持自身独特优势的同时,其性能完全可以接近小分子器件的水平。这种简单的器件结构加上优异的各项性能指标(达到了作为第二代照明技术的白炽灯的效率 12~17 lm/W),展示了聚合物白光器件可成为通过湿法加工等低成本技术手段大面积成膜以及可制备性能优异的有机



主链型三色白光共聚合物 PFO-G0.3R0.05 $x = 0.003, y = 0.0005$

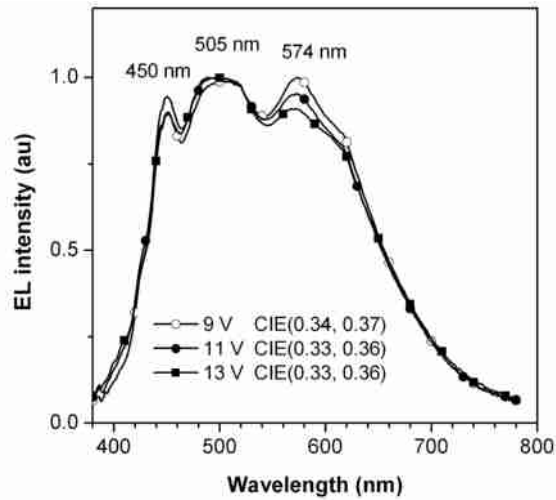


图 8 聚合物的分子结构和电致发光光谱

Figure 8 Molecular structure and EL spectrum of the device of polymer

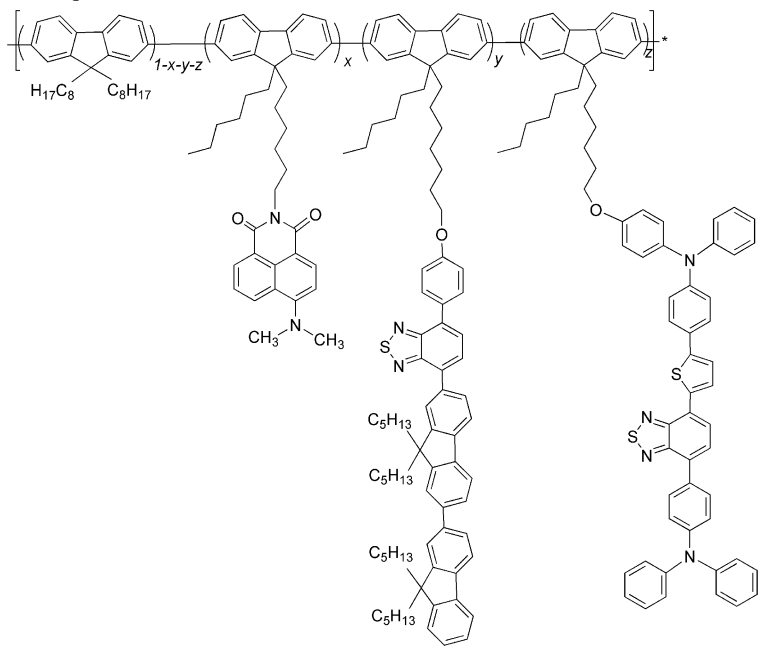


图 9 白光聚合物的分子结构

Figure 9 Molecular structure of white-emitting copolymers

汪峰等^[28]分别将绿光、红光的 silole 单元连接到蓝光聚芴主体材料上, 获得了色纯度为(0.33, 0.36) 的白光发射, 聚合物的分子式及 EL 光谱如图 8 所示。聚合物的 EL 光谱在不同电压下均相当稳定。从图 8 可以看出, 聚合物中红、绿、蓝三个发光单元的发射峰分别位于 450、550 和 574 nm 处, 相对强度分别为 0.94、1 和 0.97, 显示出较好的发射平衡。聚合物白光器件在 344 cd/m² 的亮度下获得了 2.03 cd/A 的最大流明效率, 当亮度增加至 2703 cd/m² 时, 白光器件的流明效率为 1.86 cd/A。

刘俊等^[32]合成了以聚芴为主体单元,红、绿、蓝发光单元接枝在聚芴侧链上的三元白光聚合物,如图 9 所示。白光发射全部来源于聚合物侧链上的掺杂单元,因此在以下两方面具备优势:(1)通过调节三种掺杂单元的发射波长可以获得高的显色指数(CRI)值;(2)由于蓝光发射来源于侧链掺杂单元而非聚合物主体材料,故采用具有高光致发光量子效率的蓝光单元有希望进一步提高电致发光效率,且聚合物主体的选择也更具空间。共聚物 WP-B5G5R2 白光器件色坐标值为(0.33,0.36),CRI 值达 88,流明效率和功率效率分别达 8.6 cd/A 和 5.3 lm/W。

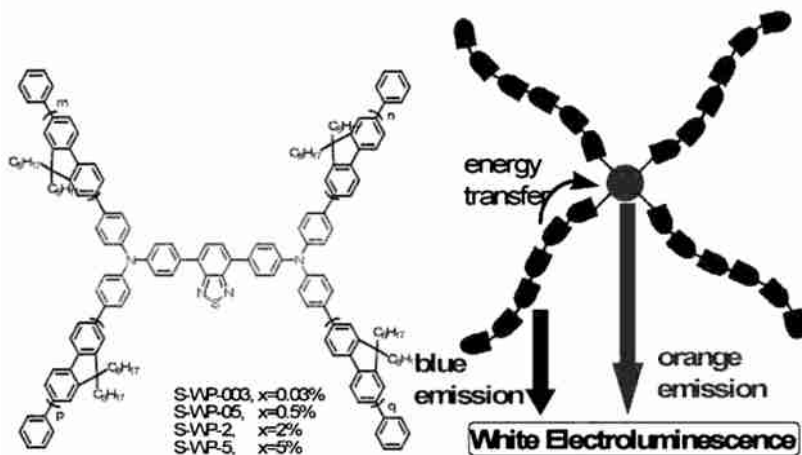


图 10 星型白光聚合物的分子结构

Figure 10 Molecular structure of star-type white-emitting copolymers

通过两互补色光(如橙/黄光和蓝光)加合也可得到白光发射。刘俊等^[33]合成了一种含有橙光发射核及四条蓝光发射臂的星型二元白光聚合物。蓝光发射段选用了带隙宽、效率高、电荷传输性能好的聚芴,橙光发射选用了具有高的光致发光效率的 TPABT[4,7-(4-(二苯胺基)苯基)-2,1,3-苯并噻二唑]单元,如图 10 所示。基于橙光单元含量为 0.03 mol% 的聚合物单层白光器件在 3.5 V 的启亮电压下流明效率和功率效率分别达 7.06 cd/A 和 4.43 lm/W,最大亮度为 17 442 cd/m²,色坐标为(0.35,0.39)。这一结果与已报道的线型白光聚合物的效率是可比的^[34~36]。

2.2 荧/磷光混合发光的白光聚合物

蒋加兴等^[37]将蓝光芴单元和橙光铱配合物单元连在同一个聚合物链上,合成了二元电荧/磷光混合发光的白光聚合物,如图 11 所示。其中,主链芴单元发单线态蓝光,侧链上的铱配合物发三线态橙光,通过蓝光与橙光互补色的方法获得了同时利用单线态和三线态激子发光的白光发射。基于铱配合物含量为 0.03 mol% 的聚合物白光器件最大电流效率为 2.4 cd/A,色坐标为(0.33,0.29)。由聚合物 EL 光谱(见图 11)可以看出,这种利用互补色获得的白光,其绿光部分的发射较弱。

进一步将苯并噻二唑(BT)绿光单元引入聚芴主链,合成了主链发蓝、绿荧光,侧链发橙红磷光的三元混合发光的白光聚合物,如图 12 所示。器件的最大电流效率为 6.1 cd/A,最大亮度达到 10 100 cd/m²,色坐标为(0.33,0.32)^[38]。由聚合物器件在不同电压下的 EL 光谱(见图 12)可以看出,在低电压(7 V)下,红光配合物的发射比蓝光和绿光的发射相对较强,表明在低电压下能量更多地转移到了配合物上。而在高电压下,由于从高能态到低能态的能量转移倾向于饱和,过剩的高能态激子就从激发态直接跃迁回基态而发光。总体来说,聚合物的 EL 光谱随电压的变化不大,说明聚合物 EL 光谱对电压的依赖性较小。

甄红宇等^[39]将绿光 BT 和红光配合物(BTP)单元引入聚芴主链,合成了主链含蓝、绿(荧光)、红(磷光)单元的三元共聚物,如图 13 所示。聚合物的蓝光和绿光为单线态发光,红光为三线态发光。聚合物器件的最大外量子效率和最大电流效率分别达到 3.7% 和 3.9 cd/A,色坐标为(0.33,0.34)。由器件的发光效率(LE)及亮度(L)随电流密度(J)的变化曲线可以看出,随电流密度的增加发光效率的下降比较缓慢,这表明了该类器件具有较好的稳定性。

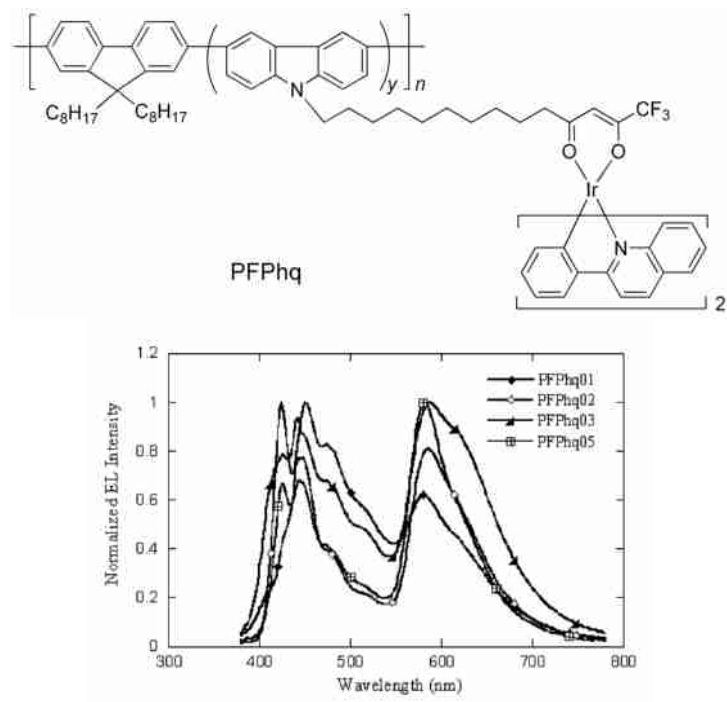


图 11 白光聚合物 PFPhq 的 EL 光谱
Figure 11 EL spectra of white light-emitting polymer PFPhq

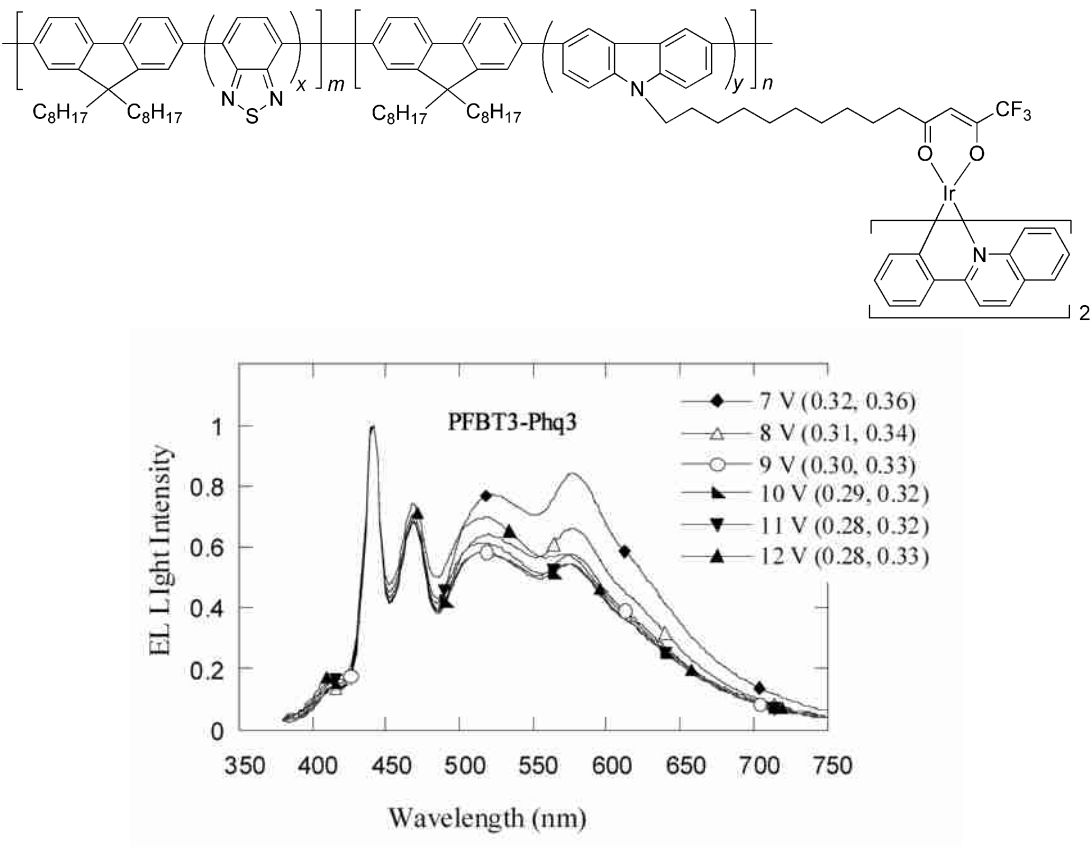


图 12 聚合物 PFBT3-Phq³ 器件在不同电压下的 EL 光谱
Figure 12 EL spectra of the polymers under various voltages

共聚到高分子链上,得到了流明效率和功率效率分别达 8.2 cd/A 和 7.2 lm/W 的高效白光器件。刘俊等^[41,42]合成了以聚芴蓝光单元为主体,橙光单元分别连接在主链和侧链上的白光聚合物,器件的流明效率和功率效率分别达 10.66 cd/A 和 6.68 lm/W。孙明亮等^[43]合成了“蓝光+橙光”互补色的白光聚合物,器件的最大外量子效率和流明效率分别达到 2.64%和 4.06 cd/A。Chien 等^[44]通过在芴的 9-位同时引入电子和空穴传输单元,合成了主链含有橙光铱(Os)配合物的电磷光共聚物,通过调节配合物的比例控制主体到客体材料不完全能量转移得到了白光共聚物,器件的流明效率达到 18.3 cd/A。

3 聚合物白光器件的应用

随着 O/PLED 显示器件产业化进程的不断加快,业界普遍认为其将成为继 CRT (阴极射线管)和 LCD (液晶显示)之后的新一代平板显示技术。因此,实现 O/PLED 全彩色显示技术的研究受到了越来越多的关注,其中采用“白光 + 滤光片”的方法实现全彩色显示技术的商业化前景被看好。

该技术是利用白光 O/PLED 结合彩色滤光片,首先制备发白光 O/PLED 的器件,然后通过彩色滤光片得到 RGB 三基色发光,进而实现彩色显示,如图 14 所示。为得到较纯的单色光,白光通过彩色滤光片时至少有 50%的光被滤掉,因此该项技术的关键是制备高亮度、高效率的白光 O/PLED 背光源。由于该技术可以结合现有市场量产方面已经成熟的液晶显示器 LCD 的彩色滤光片制作技术,因此被认为是未来大尺寸全彩色 O/PLED 显示器具有潜力的全彩色化技术之一。

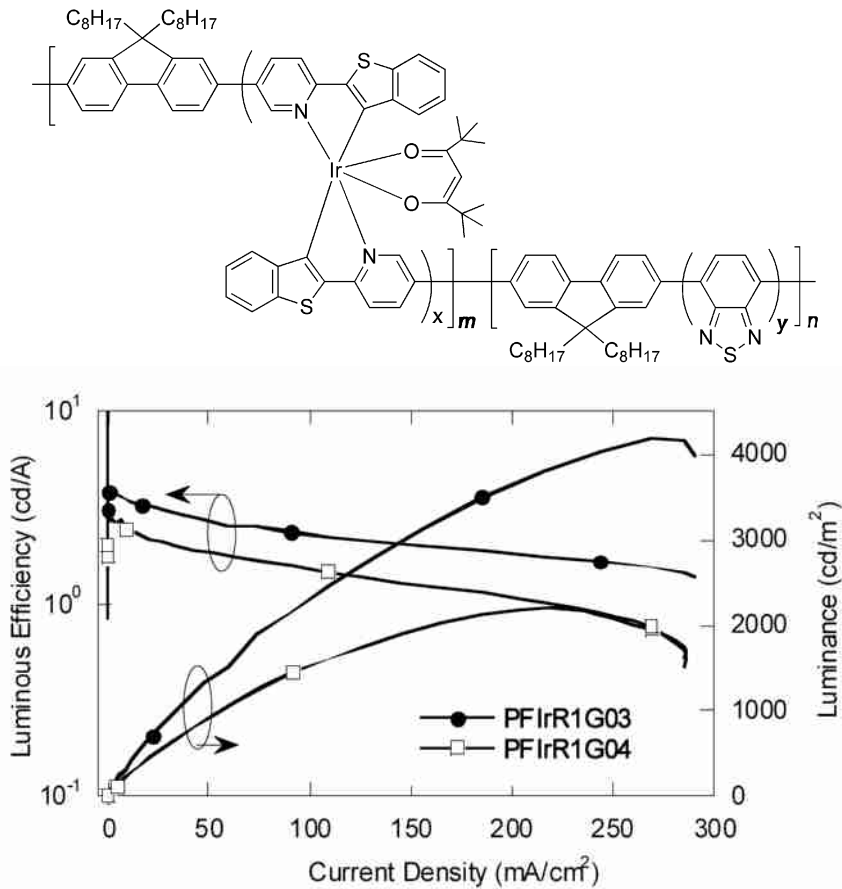


图 13 发光器件的电流密度 (J) - 电流效率 (LE) - 亮度 (L) 曲线
Figure 13 Current density (J) - current efficiency (LE) - luminance (L) curves of the devices

相对传统照明技术而言,白光 O/PLED 可提供较佳的色彩饱和度,同时具有面光源特性、色彩更接近日光以及照射更加均匀等优点。用于照明应用的白光 O/PLED 面板的厚度可小于 1mm,贴附在壁面或天花板上,减少了对空间的需求;制成柔性器件后还可应用在一些有特殊需要的场合。此外,白光 OLED 固

体光源在相同亮度下,耗电量仅为白炽灯的十分之一,在照明领域有很大的应用潜力及前景。近年来,白光 O/PLED 的发光效率以及各项性能指标均不断得到提高,已经达到甚至超过了白炽灯的水平。未来几年,白光 O/PLED 效率可望进一步提高到 50 lm/W,预期 2020 年左右效率将达到 150 lm/W,而使用寿命将达 2 万小时,成为替代白炽灯和荧光灯的高效节能光源之一。

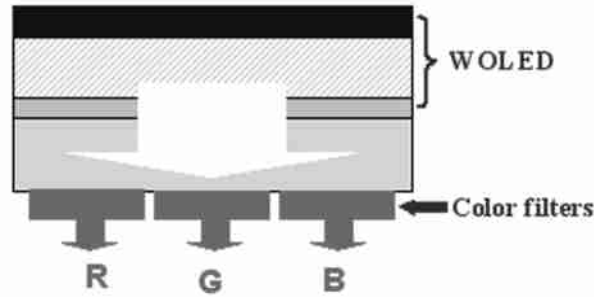


图 14 基于“白光+滤光片”的显示器结构
Figure 14 Display diode structrue based on “WOLED + color filter”

4 存在的问题及前景展望

虽然白光 O/PLED 已经取得了很大的进步,但仍有很多技术难关没有突破,如发光效率和亮度仍较低,寿命尚未达到实用化要求等。同时,制备成本尚不足以与目前已经商品化的如显示领域的 LCD 或照明领域的白炽灯形成有效的市场竞争。因此,合成高效率、高稳定性白光聚合物,更合理地优化聚合物白光器件以及降低制备成本已经成为迫在眉睫的问题。目前,白光 O/PLED 的彩色化、高分辨显示、柔性显示及有源驱动技术等已经成为未来的发展趋势。发展白光 O/PLED 固体光源对节约能源、保护环境,带动传统照明产业升级和新型显示制造业的发展有巨大的推动作用。

参考文献:

[1] Brroughes J H,Bradeley D D C,Brown A R,et al. Nature,1990,347,539.
[2] Gustufsson G,Cao Y,Treacy G M,et al. Nature,1992,357,477.
[3] Friend R H,Gymer R W,Holmes A B. Nature,1999,397,121.
[4] D ' Andrade B W,Forrest S R. Adv Mater,2004,16,1585.
[5] Sun Y R,Giebink N C,Kanno H,et al. Nature,2006,440,908.
[6] 荆其诚,焦书兰,喻柏林,等. 色度学. 北京:科学出版社,1979.
[7] 李亨. 颜色技术原理及其应用. 北京:科学出版社,1994.
[8] Niu Q L,Xu Y H,Jiang J X,et al. J Luminance,2007,126,531.
[9] Tan Z A,Tang R P,Sun Q J,et al. Thin Solid Films,2007,516,47.
[10] Xu Y H,Peng J B,Mo Y Q,et al. Appl Phys Lett,2005,86,163502.
[11] Sun Q J,Fan B H,Tan Z A,et al. Appl Phys Lett,2006,88,163510.
[12] Sun Q J,Hou J H,Yang C H,et al. Appl Phys Lett,2006,89,153501.
[13] Zhou Y,Sun Q J,Tan Z A,et al. J Phys Chem C,2007,111,6862.
[14] Baldo M A,O ' Brien D F,You Y,et al. Nature,1998,395,151.
[15] O ' Brien D F,Baldo M A,Thompson M E,et al. Appl Phys Lett,1999,74,442.
[16] Adachi C,Kwong R C,Djurovich P,et al. Appl Phys Lett,2001,79,2082.
[17] Jiang C Y,Yang W,Peng J B,et al. Adv Mater,2004,16,537.
[18] Zhen H Y,Jiang C Y,Yang W,et al. Chem Eur J,2005,11,5007.
[19] Jiang J X,Jiang C Y,Yang W,et al. Macromolecules,2005,38,4072.
[20] Zhen H Y,Luo C,Yang W,et al. Macromolecules,2006,39,1693.
[21] Wu H B,Zou J H,Liu F,et al. Adv Mater,2008,20,696.
[22] Hamada Y,Sano T,Fujii H,et al. Jpn J Appl Phys,Part 2,1996,35,L1339.
[23] Lee Y Z,Chen X W,Chen M C,et al. Appl Phys Lett,1999,79,308.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

- [24] Tsai M L, Liu C Y, Hsu M A, et al. Appl Phys Lett, 1999, 82, 550.
- [25] Li J Y, Liu D, Ma C, et al. Adv Mater, 2004, 16, 1538.
- [26] Mazzeo M, Vitale V, Sala F D, et al. Adv Mater, 2005, 17, 34.
- [27] Furuta P T, Deng L, Garon S, et al. J Am Chem Soc, 2004, 126, 15388.
- [28] Wang F, Wang L, Chen J W, et al. Macromol Rapid Commun, 2007, 28, 2012.
- [29] Lee S K, Hwang D H, Jung B J, et al. Adv Funct Mater, 2005, 15, 1647.
- [30] Tu G L, Mei C, Zhou Q, et al. Adv Funct Mater, 2006, 16, 101.
- [31] Luo J, Li X Z, Hou Q, et al. Adv Mater, 2007, 19, 1113.
- [32] Liu J, Chen L, Shao S Y, et al. Adv Mater, 2007, 19, 4224.
- [33] Liu J, Cheng Y L, Xie Z Y, et al. Adv Mater, 2008, 9999, 1-6.
- [34] Chuang C Y, Shih P I, Chien C H, et al. Macromolecules, 2007, 40, 247.
- [35] Lee S K, Hwang D H, Jung B J, et al. Adv Funct Mater, 2005, 15, 1647.
- [36] Wu W C, Lee W Y, Chen W C, et al. Macromol Chem Phys, 2006, 207, 1131.
- [37] Xu Y H, Guan R, Jiang J X, et al. J Polym Sci, Part A: Polym Chem, 2008, 46, 453.
- [38] Jiang J X, Xu Y H, Guan R, et al. Adv Mater, 2006, 18, 1769.
- [39] Zhen H Y, Xu W, Yang W, et al. Macromol Rapid Commun, 2006, 27, 2095.
- [40] Wu F I, Yang X H, Neher D, et al. Adv Funct Mater, 2007, 17, 1085.
- [41] Liu J, Zhou Q G, Cheng Y X, et al. Adv Funct Mater, 2006, 16, 957.
- [42] Liu J, Guo X, Bu L J, et al. Adv Funct Mater, 2007, 17, 1917.
- [43] Sun M L, Niu Q L, Du B, et al. Macromol Chem Phys, 2007, 208, 988.
- [44] Chien C H, Liao S F, Wu C H, et al. Adv Funct Mater, 2008, 18, 1430.

White Light-Emitting Polymers and White Polymer Light-Emitting Diodes

ZHANG An-qi, YING Lei, WU Hong-bin, YANG Wei^{*}, CAO Yong

(*Institute of Polymer Optoelectronic Materials and Devices, Key Laboratory of Functional Materials
of Ministry of Education, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China*)

Abstract: Organic/polymer light-emitting diodes (O/PLEDs) are considered as one of the most potential and promising technologies in the 21st century due to their excellent characteristics including low energy consumption, wide visual view, colorful, fast response, environment friendly and the capability of being fabricated to flexible screen. White polymer light-emitting diodes (WPLEDs) have been attracting considerable attention due to their potential applications in large-area flat panel displays and solid-state lighting because they can be easily fabricated using wet processes, including the spin-coating, screen printing, and ink-jet printing techniques, which are expected to be lower in cost in mass production. In this paper, the domestic research progress on white-light-emitting polymers and polymer white light-emitting diodes were introduced from two aspects. Besides, the application of this kind of diodes and the future of this research field as well as some questions which needed to be solved urgently were also discussed in detail.

Key words: Electroluminescence; White light-emitting polymer; White light-emitting device