



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102668149 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 20

(21) 申请号 201080044832. 3

(22) 申请日 2010. 10. 05

(30) 优先权数据

09252823. 1 2009. 12. 18 EP

0917393. 1 2009. 10. 05 GB

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 04. 05

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2010/064844 2010. 10. 05

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/042443 EN 2011. 04. 14

(73) 专利权人 索恩照明有限公司

地址 英国达勒姆

(72) 发明人 A·莫科曼 H·阿里-阿塔尔

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 吕俊刚 张旭东

(51) Int. Cl.

H01L 51/00(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2007292716 A1, 2007. 12. 20,

CN 1568303 A, 2005. 01. 19,

CN 101203538 A, 2008. 06. 18,

WO 2009038156 A1, 2009. 03. 26,

审查员 季茂源

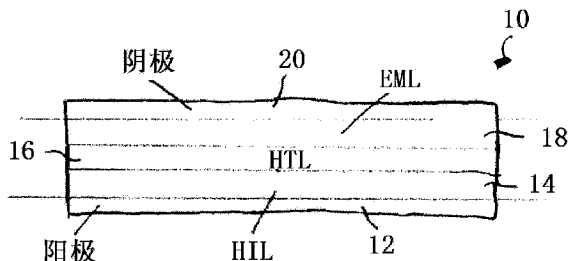
权利要求书2页 说明书12页 附图6页

(54) 发明名称

多层有机器件

(57) 摘要

在多层有机器件 (10) 中, 该多层有机器件包括承载阳极 (12) 和阴极 (20) 的基板, 其中在阳极 (12) 和阴极 (20) 之间至少布置包括第一有机半导体材料的第一层 (16); 和位于第一层 (16) 之上的包括第二有机半导体材料的第二层 (18); 第一有机半导体材料是聚合物并且第二有机材料是聚合物或者低聚物, 第一有机半导体材料的平均分子量高于第二有机半导体材料的平均分子量。



1. 一种多层有机器件 (10), 该多层有机器件包括承载阳极 (12) 和阴极 (20) 的基板, 其中在所述阳极 (12) 和所述阴极 (20) 之间至少布置有包括第一有机半导体材料的第一层 (16), 和位于所述第一层 (16) 上的包括第二有机半导体材料的第二层 (18);

其中, 所述第一有机半导体材料是聚合物, 并且所述第二有机材料是聚合物, 所述第一有机半导体材料的平均分子量高于所述第二有机半导体材料的平均分子量,

其特征在于, 所述第一有机半导体材料和所述第二有机半导体材料具有相同的 HOMO 能级, 并且所述第一有机半导体材料和所述第二有机半导体材料由包括相同单体种类的聚合物制成, 且所述第一层 (16) 的聚合物的平均长度大于所述第二层 (18) 的聚合物的平均长度。

2. 如权利要求 1 所述的多层有机器件, 其中, 所述第二有机材料是低聚物。

3. 如权利要求 1 所述的多层有机器件, 其中, 在所述阳极 (12) 和所述阴极 (20) 之间布置有多于两层的不同的有机半导体材料, 所述层中的一层的平均分子量高于后一层的平均分子量。

4. 如权利要求 1 至 3 中的任一项所述的多层有机器件, 其中, 所述第一有机半导体材料独自设置在层中。

5. 如权利要求 1 至 3 中的任一项所述的多层有机器件, 其中, 所述第二有机半导体材料被掺杂。

6. 如权利要求 1 至 3 中的任一项所述的多层有机器件, 其中, 所述第二有机半导体材料设置在电致发光层 (18) 中。

7. 如权利要求 6 所述的多层有机器件, 其中, 所述第二有机半导体材料设置在电致发光层 (18) 中, 所述材料用作发光物质的宿主。

8. 如权利要求 6 所述的多层有机器件, 其中, 所述电致发光层 (18) 包括一种或多种磷光部分, 所述第二有机半导体材料用作所述一种或多种磷光部分的宿主。

9. 如权利要求 6 所述的多层有机器件, 其中, 所述第一有机半导体材料还用作发光材料的宿主。

10. 如权利要求 9 所述的多层有机器件, 其中, 所述第一有机半导体材料用作黄光发光材料的宿主, 并且所述第二有机半导体材料用作蓝光或蓝绿光发光材料的宿主。

11. 如权利要求 1 至 3 中的任一项所述的多层有机器件, 其中, 所述第一有机半导体聚合物设置在电荷传输层中。

12. 如权利要求 11 所述的多层有机器件, 其中, 所述电荷传输层是空穴传输层 (16)。

13. 如权利要求 1 至 3 中的任一项所述的多层有机器件, 其中, 所述第一有机半导体材料和所述第二有机半导体材料是聚(乙烯基咪唑)。

14. 如权利要求 1 至 3 中的任一项所述的多层有机器件, 其中, 所述有机半导体材料的平均分子量是高平均分子量和低平均分子量。

15. 一种制造多层有机器件 (10) 的方法, 所述方法包括: 提供基板; 在所述基板上沉积阳极 (12) 并且通过溶液处理步骤在所述阳极 (12) 上至少沉积包括第一有机半导体材料的第一层 (16) 和位于所述第一层 (16) 上的包括第二有机半导体材料的第二层 (18); 其中, 所述第一有机半导体材料是聚合物, 并且所述第二有机半导体材料是聚合物, 所述第一有机半导体材料的平均分子量高于所述第二有机半导体材料的平均分子量,

其特征在于,所述第一有机半导体材料和所述第二有机半导体材料具有相同的 HOMO 能级,并且所述第一有机半导体材料和所述第二有机半导体材料由包括相同单体种类的聚合物制成,且所述第一层 (16) 的聚合物的平均长度大于所述第二层 (18) 的聚合物的平均长度。

16. 如权利要求 15 所述的方法,其中,所述第二有机半导体材料是低聚物。

17. 如权利要求 15 所述的方法,其中,在沉积所述第一层 (16) 之后对其进行热烘焙。

18. 如权利要求 17 所述的方法,其中,在沉积所述第二层 (18) 之后对其进行热烘焙。

19. 如权利要求 15 至 18 中的任一项所述的方法,其中,所述溶液处理步骤是旋转涂覆或者喷墨印刷。

多层有机器件

技术领域

[0001] 本发明一般地涉及多层有机器件和制造这样的器件的方法。更具体地,这样的多层有机器件能够是包括高分子发光二极管 (PLED) 的有机电致发光器件或形成高分子有机光伏 (OPV) 器件的诸如太阳能电池的光响应器件。

背景技术

[0002] 在光电器件的范围内,半导体聚合物成为了传统无机半导体的显著有效的替代。这样的器件能够包括发光二极管 (LED)、光伏 (PV) 二极管、场效应晶体管 (FET) 和激光器。相对于无机半导体,共轭聚合物提供了显著的材料优点,包括化学可调光电性质和适合于印刷电子器件的低温的基于溶液的处理。

[0003] 单层有机器件包括一对电极和活性材料,该活性材料通常被共聚或者混合以实现想要的发光波长和平衡注入的电荷载流子。然而,活性材料的不同的电子和空穴迁移率性质、从电极不理想地注入电子和空穴以及通过电极的淬灭使得单层有机器件对于很多应用来说都是低效的。

[0004] 与这样的单层有机器件相反地,所谓的多层有机器件包括位于电极之间的至少两层有机材料。能够使得这些多层有机器件比单层有机器件更高效,这是因为能够对紧邻电极的外层进行处理以增强空穴或电子注入,这反过来在发光器件的情况下减少了导通电压或者在有机太阳能电池的情况下有利于载流子收集。涉及半导体聚合物的制造工艺上的一个限制在于难以制备多层有机器件。形成这样的多层有机器件的挑战在于制造器件的层而没有在层沉积工艺期间使这些层混合或者损坏了已有的层。

[0005] 本领域中已知的是通过在真空中升华有机分子并且接下来沉积为不同层来形成有效的多层有机器件。这样的真空沉积技术的缺点在于其要求使用昂贵的机器并且还导致材料的高浪费率。最重要的是,经由真空沉积制造多层有机器件对于诸如低聚物或聚合物的具有相对较大的分子量的有机半导体材料来说是相当可行的,这是因为它们不能在不破坏有机材料的情况下进行热蒸镀。因此,具有相对更大的分子量的有机半导体材料优选地在溶液中进行处理,即,经由包括旋转涂覆、喷墨、丝网或卷对卷印刷的湿法化学沉积技术来进行处理。

[0006] 从成本的角度来看,诸如湿法化学沉积的溶液处理技术对于批量产生来说是更有吸引力的技术,特别是对于更大尺寸的有机器件的生产来说尤其是如此。单层半导体聚合物能够相对廉价地以良好控制的方式浸没在溶液中,而无需昂贵且复杂的机器。然而,从溶液制造多层结构面对严重的挑战。在沉积顺序层时,存在的问题是溶剂可能再次溶解之前沉积的层,这导致在层沉积处理期间层的混合或者已有的层的损坏。还可能引起处理不可再现性或者获得的器件的性能的降低。为了避免这些缺点,因此重要的是,确保已经从溶液沉积的层耐受用于沉积接下来的层的溶剂。

[0007] 事实上,由于其制造的本质使得仅报道了很少的溶液处理的多层器件。一种解决之前沉积的层的再溶解的问题的方法是使用能够从正交溶剂(即在其溶解性质方面明显

不同的溶剂,例如其极性明显不同的溶剂)沉积的材料。这样的一个示例是极性和非极性溶剂。一般来说,极性材料能够溶解在极性溶剂中,而非极性材料能够溶解在非极性溶剂中。然而,极性溶剂通常不溶解非极性材料,并且反之亦然,即非极性溶剂不溶解极性材料。

[0008] 原则上,能够通过交替层中施加极性和非极性材料层来产生多层器件。从而,极性材料溶解在极性溶剂中并且非极性材料溶解在非极性溶剂中并且这两种材料在连续步骤中被旋转涂覆在彼此之上。

[0009] 用于制造涉及正交溶剂的多层有机器件的选项非常有限。这是该方法的非常大的缺点。通常大多数共轭半导体聚合物优先溶解在有机和/或非极性介质中。因此,为了产生具有至少两层半导体聚合物的多层有机器件,需要对聚合物之一进行化学上的修改以便于使其可溶解于诸如水的极性溶剂中。通常,改变半导体聚合物的极性是不容易的任务,并且这将通常伴随着材料的劣化。因此,可能会不利地影响器件的性能和/或操作寿命。

[0010] 在2005年17期的*Adv. Mater.*的2053页的Gong等人的“Multilayer Polymer Light-Emitting Diodes:White-Light Emission with High Efficiency”中给出了对于高分子发光二极管实现使用正交溶剂的该策略的示例。在该文献中,制造了三层器件,该三层器件由夹在作为空穴传输层(HTL)的水可溶PVK衍生物与作为电子传输层(ETL)的水可溶PBD衍生物之间的聚芴宿主和铱掺杂物(这两者可溶解在有机溶剂中;不可溶解在水中)的发光层构成。

[0011] 产生多层有机器件的另一方法涉及通过沉积后处理来使沉积层不可溶。在先前公开的欧洲专利申请EP1753047A1中公开了用于完全溶液处理的发光器件的示例。因此,通常的想法是在通过热、化学或诸如紫外线固化的照射手段沉积材料之后为每层施加可交联的材料并且开始交联。由此,每个沉积层变为对于用于沉积接下来的层的溶剂来说是不可溶的。

[0012] 图15示出了根据在先前公开的欧洲专利申请EP1753047A1中公开的上述现有技术的电致发光器件的截面图。电致发光器件可以是较大的显示器的子像素的一个像素或者发光源的一部分。器件405包括位于基板408上的第一电极411。一个或多个有机材料沉积在第一电极上以形成有机堆叠416的一个或多个有机层。有机堆叠416特别包括空穴注入层(HIL)417和发光层(EML)420。OLED器件405还包括位于有机堆叠416的顶部上的第二电极423。还可以根据需要在已有的层之间添加除了图15中所示的层之外的其它层,包括阻挡层、电荷传输/注入层以及界面层。根据EP1753047A1的教导,通过使用掺杂有导电掺杂物的可交联空穴注入/传输材料来制造空穴注入层。

[0013] 如上所述,交联受到热、化学或诸如紫外线固化的照射手段的影响,从而每个沉积层变为对于在其上沉积的层(例如发光层或者接下来沉积的电子传输层)中使用的溶剂来说是不可溶解的。例如,这可以包括使用紫外线可固化墨水、可交联侧链、可交联链端组或者能够交联为聚合物的单体。

[0014] 然而,可交联材料的存在或者诸如紫外线固化的处理的使用能够损坏和/或减少有机半导体层的性能。另外,可能不利地影响多层有机器件的操作寿命。

[0015] 总而言之,在过去,已经提出了不同的方法来使用基于溶液的工艺制造多层有机器件。然而,已知的方法受困于上面所述的大量缺点。尽管近年来不断地进行了研究,但是还没有找到完全令人信服的策略以允许高效的溶液处理的多层有机器件的制造。

[0016] 因此,本发明使用基于溶液的工艺提供了一种在层之间具有最小程度的混合的多层有机器件。本发明的目的在于提供解决上述缺点中的一些的替代方法。

[0017] 在下文中,“可溶液处理的”应表示能够在溶液或者悬浮液形式的液体介质中溶解、分散或传输和 / 或从其沉积。

[0018] 本发明对于上述问题的解决方案的想法是基于下述发现:聚合物的溶解性不仅依赖于构成聚合物的单体的化学或物理性质,而且依赖于聚合物的尺寸和结构,即平均连结了多少单体以形成聚合物和 / 或成为某种形态或结构。本发明特别研究了聚合物-溶剂系统的溶解性对于聚合物的尺寸(即,构成聚合物的单体的平均数目或平均分子量)的依赖性。一般来说,聚合物-溶剂系统的溶解性随着单体的平均数目的增加而减少。这意味着仍然足以溶解仅包括相对少量的单体的低聚物或聚合物的溶剂不需要溶解由与较小尺寸的聚合物或低聚物相同的单体构成但是包括连结在一起的更多数目的单体的聚合物或低聚物。

[0019] 理解的是,该想法能够应用于均聚物(即,包括单一单体种类的聚合物)或者共聚物(即,由两种或更多种不同种类的单体(规律地或任意地)构成的聚合物),并且还能够应用于线性或支化聚合物和低聚物。

发明内容

[0020] 一般来说,本发明的技术方案是基于下述概念:通过在连续的溶液处理步骤中沉积不同有机半导体材料层来制造多层有机器件。仔细地选择使用的有机材料和溶剂以确保在沉积处理期间没有减少有机半导体层的性能;即,材料和溶剂被选择为第一有机半导体材料对于第二有机半导体材料的溶剂来说是不可溶解的或者仅溶解性很弱。根据本发明,这是通过使用聚合物作为第一有机半导体材料并且使用聚合物或低聚物作为第二有机半导体材料来实现的,其中第一有机半导体材料的平均分子量高于第二有机半导体材料的平均分子量。

[0021] 因此,根据本发明的第一方面,提供了一种多层有机器件,该多层有机器件包括承载阳极和阴极的基板,其中在阳极和阴极之间至少布置包括第一有机半导体材料的第一层;和位于第一层之上的包括第二有机半导体材料的第二层。第一有机半导体材料是聚合物并且第二有机材料是聚合物或者低聚物,第一有机半导体材料的平均分子量高于第二有机半导体材料的平均分子量。

[0022] 优选地,在阳极和阴极之间布置多于两层的不同的有机半导体材料,所述层中的一层的平均分子量高于接下来的层的平均分子量。

[0023] 优选地,第一和第二有机半导体聚合物具有相同的 HOMO 能级。

[0024] 优选地,第一和第二有机半导体材料包括相同的聚合物,第一层的聚合物的平均长度高于第二层的聚合物的平均长度。

[0025] 优选地,第一有机半导体材料独自设置在层中。

[0026] 优选地,第二有机半导体材料被掺杂。

[0027] 优选地,第二有机半导体材料设置在电致发光层中。

[0028] 优选地,第二有机半导体材料设置在电致发光层中,该材料作用于发光物质的宿主。

- [0029] 优选地,电致发光层包括一种或多种磷光部分,该材料用作用于一种或多种磷光部分的宿主。
- [0030] 优选地,电致发光层包括一种或多种荧光部分,该材料用作用于一种或多种荧光部分的宿主。
- [0031] 优选地,第一有机半导体材料也用作发光材料的宿主。
- [0032] 优选地,第一有机半导体材料用作用于黄光发光材料的宿主,并且第二有机半导体材料用作用于蓝光或蓝绿光发光材料的宿主。
- [0033] 优选地,第二有机半导体材料与其它聚合物、树枝状聚合物或者小分子设置在混合层中。
- [0034] 优选地,第一有机半导体聚合物设置在电荷传输层中。
- [0035] 优选地,电荷传输层是空穴传输层。
- [0036] 优选地,第一和第二有机半导体材料是聚(乙烯基咪唑)。
- [0037] 优选地,有机半导体材料的平均分子量是高平均分子量和低平均分子量。
- [0038] 此外,根据本发明的第二方面,提供了一种制造多层有机器件的方法,该方法包括:提供基板;在基板上沉积阳极并且通过溶液处理步骤在阳极上至少沉积包括第一有机半导体材料的第一层和位于第一层之上的包括第二有机半导体材料的第二层;其特征在于,第一有机半导体材料是聚合物并且第二有机半导体材料是聚合物或低聚物,第一有机半导体材料的平均分子量高于第二有机半导体材料的平均分子量。
- [0039] 优选地,在沉积第一层之后对其进行热烘焙。
- [0040] 优选地,在沉积第二层之后对其进行热烘焙。
- [0041] 优选地,溶液处理步骤是旋转涂覆或者喷墨印刷。
- [0042] 本发明的多层有机器件能够特别地用于例如高分子发光二极管(PLED)的有机电致发光器件,或诸如高分子有机光伏(OPV)器件的光响应器件。

附图说明

- [0043] 在下文中,将参考附图更详细地描述本发明:
- [0044] 图 1 示意性地示出了根据本发明的多层有机器件的第一实施方式。
- [0045] 图 2 示出了图 1 的实施方式的能级图。
- [0046] 图 3 示出了包括额外的空穴阻挡层的图 1 的实施方式的能级图。
- [0047] 图 4 示意性地示出了根据本发明的多层有机器件的第二实施方式。
- [0048] 图 5 示出了图 4 的实施方式的能级图。
- [0049] 图 6 是根据本发明的第一特定示例的器件中使用的材料的器件架构和能级的示意图。
- [0050] 图 7 是 (a) 发光层的厚度固定并且空穴传输层的厚度改变的情况下和 (b) 空穴传输层的厚度固定并且发光层的厚度改变的情况下的多层器件的归一化的电致发光光谱的示意性。
- [0051] 图 8 是三种器件状态的电流-电压(I-V)和电流-电场强度(I-F)特性的示意图。
- [0052] 图 9 是在图 6 的器件架构的情况下作为电流密度(mA/cm^2)的函数的 (a) 外部量子效率、(b) 器件电流效率(cd/A)、(c) 亮度(cd/m^2)和 (d) 功率效率(L/W)的示意图。

- [0053] 图 10 是在表 1 中描述的各种多层结构的聚螺二芴 (PSBF) 的衰减时间曲线。
- [0054] 图 11 示出了对于不同样品构成的荧光时间分辨分析的结果。
- [0055] 图 12 是根据本发明的第二特定示例的器件架构的示意图。
- [0056] 图 13 是图 12 的器件的归一化电致发光光谱的示意图。
- [0057] 图 14 是示出图 12 的器件的两层厚度的不同组合的发光颜色的示意图。
- [0058] 图 15 是现有技术已知的多层有机器件的示意图。

具体实施方式

[0059] 在下文中,将主要针对发光器件来解释本发明,然而,本发明的概念能够直接应用于诸如光伏二极管的光响应器件或者场效应晶体管。

[0060] 将在下面基于若干一般性实施方式来解释通过在基板上沉积若干层有机半导体材料而没有破坏、劣化或者不利地影响已经沉积的层的性质来制造多层有机器件的发明概念。之后,参考图 6 至图 11 更详细地描述本发明的多层有机器件的特定实施方式。

[0061] 图 1 中所示的多层有机器件的第一实施方式的结构对应于我们将在下面参考图 6 至图 11 讨论的详细实施方式。该实施方式形成了所谓的有机 LED (OLED) 10 并且首先包括例如由铟锡氧化物 (ITO) 制成的并且位于未示出的基板上的阳极 12。基板应该能够透射由器件产生的光并且因此优选地由玻璃制成。在阳极 12 上按下述顺序沉积:空穴注入层 (HIL) 14、空穴传输层 (HTL) 16 和发光层 (EML) 18。该结构的最后是由例如钡铝制成的阴极 20。

[0062] 如下地并且如图 2 中示意性地示出地通过上述结构产生光:在 OLED 10 的两端施加电压,从而阳极 12 相对于阴极 20 为正。这使得电子的电流从阴极 20 在朝向阳极 12 的方向上流动。因此,阴极 20 将电子注入到器件中同时阳极 12 从器件引出电子;换言之,阳极 12 将电子空穴注入到器件,其中通过空穴注入层 14 增强了该效果。

[0063] 利用施加的电压,注入的空穴和电子均朝着相反带电的电极迁移。当电子和空穴形成局域态时,形成了是具有激发能态的局域态的电子-空穴对的激子。这种激子的产生优选发生在发光层 18 的区域中。复合引起了电子能级的下降,伴随着其频率处于可见光区域中的辐射的发射。

[0064] 当激子通过其频率处于可见光或红外区域中的辐射的直接发射经由发光机制弛豫时或者当能量被转移到之后在发光的情况下弛豫的荧光或磷光材料时发射光。

[0065] 以该方式,产生了光,并且光经由透光阳极离开器件。此外,能够通过如图 2 中所示地将染料 21 添加到发光层 18 来影响光的波长。最终,提供具有特定功能的附加层能够进一步改进 OLED 的性能。将在下面讨论对于图 1 和图 2 中所示的基本结构进行的这样的进一步的改进。

[0066] 图 1 中所示的器件被称为底部发光器件,这是因为在发光层中产生的光最终经由透射基板发射。然而,还存在已知其中基板不透光的顶部发光器件。这里,透光顶层设置在 OLED 结构的顶端并且经由该透光顶层发射光。应注意的是,下面详细讨论的本发明可应用于底部发光器件和顶部发光器件。

[0067] 本发明特别地针对以每层的性能尽可能高的方式形成 OLED 结构的不同层的问题。特别地,接下来的层的形成不应该不利地影响或者甚至破坏前面的层的结构和/或功

能。

[0068] 优选地,通过溶液处理方法形成 OLED 结构的不同层。这样的方法的优选示例是旋转涂覆或喷墨印刷,其都允许以快速且高效的方式形成材料的薄层。然而,这两种方法以及其它溶液处理方法都存在着新的层的形成可能在某种程度上劣化或不利地影响之前已经存在的层的结构。特别地,实际上施加到结构的材料的溶剂可能还溶解前面的层。

[0069] 本发明现在提供了一种克服前述问题的技术方案。该技术方案是基于下述想法:选择材料和溶剂以确保在接下来的层的沉积处理期间不会减少有机半导体层的性能。特别地,材料和溶剂被选择为已经存在的层的有机半导体材料对于之后的层的有机半导体材料的溶剂来说是不可溶的或者仅具有很弱的溶解性。

[0070] 在下面将针对两个活性层(即,图 1 和 2 中所示的 OLED 结构的空穴传输层 16 和发光层 18)来进一步解释该想法。

[0071] 如上所述, OLED 结构的不同层从阳极层 12 开始并且接下来按照其它层的顺序逐层地沉积在基板的表面上。对于空穴传输层 16 和发光层 18,选择有机材料和溶剂的特定组合使得下层(即,空穴传输层 16)对于用于形成接下来的层(即,发光层 18)的有机材料的溶剂来说是不可溶解的或者仅具有弱的溶解性。

[0072] 优选地,使用具有相对较高的分子量(特别是具有至少 110000 的分子量)的聚合物来形成空穴传输层 16。另一方面,然后通过具有较低分子量的低聚物或聚合物形成发光层 18。这样选择的原因在于聚合物的溶解性基本上是分子量的函数。特别地,较低分子量的聚合物通常可溶解在不能够溶解具有高分子量的聚合物的相对较弱的溶剂中。换言之,溶解高分子量聚合物的溶剂将容易溶解低分子量聚合物。因此,当沉积发光层 18 时,用于发光层 18 的有机材料的溶剂将不会影响空穴传输层 16。

[0073] 这确保了不会减少空穴传输层 16 的性能。

[0074] 在本发明的优选实施方式中,由包括相同单体种类(例如 PVK)但是具有不同平均分子量(即,不同链长度)的聚合物来制造两个连续的层 16 和 18。由于聚合物的能级在某种程度上不非常敏感于其长度,因此基本上在具有不同平均分子量的两种聚合物的 HOMO 和 LUMO 能级方面不存在差异。能级的密切匹配有利于层 16 和 18 之间的没有阻碍的空穴传输。特别地,空穴能够容易地从空穴传输层 16(包括具有高分子量的聚合物)传输到发光层(包括具有低分子量的聚合物)。PVK 是优选的材料,这是因为其已知为对于空穴传输层 16 的性能来说很重要的良好的空穴传输材料。对于发光层 18 来说, PVK 主要用作支持该层 18 中的电子传输的额外的电子传输材料 19(例如, PBD 2-(4-联苯基)-5-苯基-1,3,4-噁二唑)的宿主。此外, 0.4eV 或更大的 PVK 和 PBD 的 LUMO 能级之间的势垒用作电子阻挡,这增加了产生发光激子的几率。

[0075] 不管怎样,用于这两层的材料也能够是不同的,特别地,第二层能够由另一聚合物或低聚物形成。实验已经示出了能够为发光层使用 PFO 和 PSBF 蓝光发光聚合物以及小分子低聚物来制造 OLED 器件。对于空穴传输层,使用 $M_n = 1100000$ 的高分子量 PVK 并且使用如甲苯的相对弱的溶剂用于发光层。在所有这些示例中,能够通过溶液处理步骤制造有效的 OLED 结构并且也没有损坏连续层的结构。

[0076] 一般来说,本发明的基本想法(即使用不同分子量的有机材料来确保能够使用分别溶解特定层材料但是不溶解之前的层的有机材料的溶剂)能够应用于任何有机材料,特

别地应用于任何聚合物材料。例如,图 1 和 2 的 OLED 结构能够被修改为由用作电子传输材料的聚合物材料形成活性层 16 和 18,其中该高分子电子传输材料额外地作用于空穴传输材料的宿主。而且在该情况下,根据本发明,高分子材料的分子量应该在两层中是不同的。

[0077] 在图 1 中所示的基本实施方式的进一步的改进中,在发光层 18 上沉积附加层 22。该附加层 22(在图 3 中示出并且例如由 PBD 构成)表示具有差的空穴传导性质的电子传输层。其具有低于发光层 18 中的空穴传输材料的 HOMO 能级并且因此用作进一步约束产生激子的区域的空穴阻挡层。这增加了产生激子的几率并且因此增加了 OLED 结构的性能。

[0078] 另外,还能够使用空穴传输层 16 的材料作为用于发光掺杂物的宿主。以该方式,活性层 16 和 18 能够用于形成发光层以发射例如不同颜色的光。在下面参考示例 2 对该想法进行更详细的解释。

[0079] 至此,已经参考其中能够形成一个或两个发光层的两个活性层的示例讨论了本发明的概念。然而,本发明不限于仅这两个层并且当然也能够制备具有多于两个的活性层的器件。

[0080] 图 4 和 5 示出了对应于图 1 和 2 的第一实施方式但是其中发光层 18 被分为两个单独的层 18a 和 18b 的本发明的多层有机器件的实施方式。每个发光层 18a、18b 携带其自己的染料,在一种情况下,该染料可以是荧光材料 21a,并且在另一种情况下,该染料可以是磷光材料 21b。然而,也能够使用两种不同的荧光材料或者两种不同的磷光材料。如上所述,荧光或磷光材料的存在影响了从发光层 18 发射的光的波长并且因此影响了光的颜色。通过将不同波长影响的材料添加到层 18a、18b,获得了不同颜色的光并且因此整个 OLED 结构发射特定混合颜色的光。与上述其中空穴传输层用作附加发光层的实施方式类似地,多个发光层的该技术允许产生包括白光的几乎每种想要的颜色的光。

[0081] 在该实施方式中,能够在连续的步骤中形成三个活性层 16、18a 和 18b,其中聚合物的分子量在每层中减少并且溶剂被选择为它们没有影响之前的层的聚合物。因此,使用下面的聚合物和溶剂的组合:

[0082] 聚合物长 - 溶剂 A (HTL, 16)

[0083] 聚合物中等 - 溶剂 A' (第 1EML, 18a)

[0084] 聚合物短 - 溶剂 A'' (第 2EML, 18b)

[0085] 作为示例,能够使用下面的平均聚合物分子量 / 长度和溶剂的组合,其中聚合物材料是 PVK:

[0086] HTL: 聚合物:5000 个单体溶剂:氯苯

[0087] 第 1EML: 聚合物:2500 个单体溶剂:甲苯

[0088] 第 2EML: 聚合物:450 个单体溶剂:甲醇和甲苯 (1 : 1)

[0089] 如上所述,需要从高分子量材料开始,这是因为本发明的概念在于采用与分子量相关的聚合物的溶解性。溶解高分子量材料的溶剂将容易溶解低分子量聚合物或低聚物。而且,能够通过添加如图 3 中所示的空穴阻挡层和比例为 (10 : 1) 的甲醇和甲苯的溶剂混合物来进一步改进图 4 和 5 的结构。也能够考虑其中溶解非常低的分子量聚合物或低聚物而使用比甲苯更弱的有机溶剂来代替甲醇 / 甲苯混合物。

[0090] 最后并且分别参考图 6 至 11 和 12 至 14,将在下面再描述多层有机器件的两个特

定示例。然而,应强调的是,下面使用的特定材料仅是示例并且没有以任何方式限制本发明的应用的范围。

[0091] 示例 1:双层空穴注入层器件

[0092] 参考图 6 中所示的第一示例,器件 100 首先包括玻璃基板(图 6 中未示出),其支撑由铟锡氧化物(ITO)102 制成的图案化的阳极。由导电聚合物聚(3,4-亚乙基二氧噻吩)/聚苯乙烯磺酸酯(PEDOT:PSS)104 构成的空穴注入层 104 沉积在铟锡氧化物 102 上。此外,在 PEDOT:PSS 上沉积用作空穴传输层(HTL)的高平均分子量聚(乙炔基咪唑)108 层。接下来的发光层(EML)110 包括掺杂有磷光发光物 $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ 的低分子量聚(乙炔基咪唑)。使用本领域中已知的蒸镀技术在发光层 110 上沉积钡铝阴极 112。

[0093] 下面的实验部分详细地描述器件制造。在图 6 的方案中示出了在器件中使用的材料的示意能级图和器件架构。使用椭圆光度法来确认很好地限定的多层结构,发现总的膜厚度大致等于两个单独的膜厚度的总和($\pm 3\text{nm}$)。这表示第二半导体层 110 没有在任何很大程度上溶解第一层(即空穴传输层 108)。使用椭圆光度法来测量甲苯中的高分子量 PVK(PVKH)膜的不溶性,其示出了高分子量 PVKH 的 110nm 的退火膜浸没在甲苯中 1 分钟,仅减少了 5nm。而且,没有发现任何分层。因此,能够认为很好地限定了两个层 108 和 110 并且可以期待仅可能出现小于 5nm 的混合层。

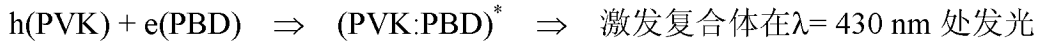
[0094] 在图 7 中示出了玻璃/ITO/PEDOT:PSS(45nm)/PVKH(x nm)/PVKL:PBD(40%): $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ (8%)/Ba(4nm):Al(150nm)的器件架构中的各种 PVKH 层厚度(x)处的器件的 EL 发光。特别地,图 7 示出了(a)改变 HTL(PVKH)层厚度(0, 12, 17.4, 33nm)并且将 EML 厚度固定为 45nm;和(b)改变 EML 层厚度(27, 38.5, 51nm)并且将 HTL 厚度固定为 19nm 的情况下的多层器件的归一化的 EL 光谱。箭头表示光谱移位方向。

[0095] 较厚的 PVKH 层 108 示出了在发光带的红侧的 EL 光谱的变宽(参见图 7a)。将 HTL(PVKH)层 108 固定在 19nm 并且改变 EML 层的厚度示出了相反的效果,如图 7b 中所示。这样的结果归因于由于光学长度的变化导致的干涉效应,其中与表面正交地测量 EL 光谱的改变。在该情况下,在其中在所有方向上对 EL 光谱取平均的积分球中测量 EL 光谱。当器件被光学激发(器件 PL 发光)时观察到类似的趋势,这确认了其是腔体干涉效应。然而,器件中的载流子的复合区(偶极位置)的调整也可以对 EL 发光曲线有贡献,这是因为器件腔内发光区的位置将改变干涉条件。随着 HTL 厚度的增加,复合区变为距离阳极比距离阴极更近并且观察到 EL 光谱的长波长侧的红移(带变宽)。另一方面,如果 EML 厚度在固定 HTL 厚度的情况下增加,则如图 7 中所示复合区远离阴极并且 EL 光谱宽度减小。发光区的位置(偶极位置)与由于高反射率阴极层导致的部分干涉效应引起了 EL 光谱曲线的该变化,并且其是在改变 HTL 或 EML 层厚度时发光区的位置发生改变的证据。

[0096] 当掺杂物浓度增加时也观察到光谱的红侧的 EL 变宽,这表示掺杂物浓度也可以由于掺杂物中的电荷捕获而改变发光区。为了理解 PVKH 层对于基于分子掺杂聚合物的有机发光器件的电气特性的影响,首先了解产生电荷载流子产生、传输和在 EML 混合层中复合的机制。在仅由 PVK 和 PBD 构成的单 EML 层器件中,通过 PBD 主要捕获并且传输从阴极注入的电子,这是因为 -2.4 至 -2.6eV 的 PBD 的 LUMO 能级最接近 -2.7eV 的 Ba 功函数并且还因为 PBD 是有效的电子传输材料。在阳极侧,相对于 -4.9 至 -5.2eV 的 PEDOT:PSS 的最近的 HOMO 能级是 -5.6 至 -5.8eV。这些器件的 EL 发光测量示出了以 430nm(2.88eV)(其是

在 PBD 的 LUMO 能级处的电子与 PVK 的 HOMO 能级处的空穴之间形成的激发复合体发光) 而不是 400nm(其是 PVK 分子单元的 LUMO-HOMO 能级之间形成的受激子的特征发光) 为中心的发光峰。PVK:PBD 系统的复合处理能够通过下面的反应来描述:

[0097]



[0098] 通过利用 Ir 复合物(即 Ir(ppy)₃) 掺杂该系统, PBD 处的电子被强烈地捕获到 -2.8eV 的 Ir(ppy)₃ 的最低三重态 T₁, 类似地, 在 -5.22eV 的 Ir(ppy)₃ 的 HOMO 能级处捕获 PVK 处的空穴, 产生了磷光激子并且仅观察到以 512nm(2.42eV) 为中心的来自 Ir(ppy)₃ 的 EL 发光而没有 400nm 处来自 PVK 受激子的发光或者在 430 处来自激发复合体的发光(参见图 7)。能够通过下面的相互作用来描述 PVK:PBD:Ir(ppy)₃ 系统的复合处理:

[0099] $h(\text{PVK}) + e(\text{PBD}) + \text{Ir(ppy)}_3 \Rightarrow \text{PVK} + \text{PBD} + \text{Ir(ppy)}_3^* \Rightarrow \text{在 } \lambda = 512 \text{ nm 处的激子发射}$

[0100] 因此, 传输机制是捕获填充空间电荷限制电流(TF-SCLC)。将 HTL 引入也由 PVK(但是具有高分子量) 制成的器件没有改变从 HTL 到 EML 的空穴注入处理, 而是其仅用作电子阻挡层, 这是因为必须通过位于 PBD LUMO 能级的电子克服 0.4-0.6eV 的势垒以到达 -2 至 -2.2eV 的 PVKH 的 HOMO 能级。在图 6 的方案中示出了这些机制。应指出的是, 在 EML 混合层中存在传输和复合机制中涉及的两种类型的电子和空穴。这些是用于传输(即, 电流-电压(I-V) 特性)的自由载流子(电子和空穴), 和用于复合(即, EL 特性)的捕获的载流子。器件性能是两种机制加上通过注入产生的载流子的组合。

[0101] 在图 8 和 9 中示出了具有不同 HTL 厚度的器件的电气特性。图 8 示出了电流-电压(I-V) 并且嵌入示出了三种器件情况的电流-电场强度(I-F) 特性:(i) 在 EML 的低 Ir 复合物掺杂物浓度(2% w/w) 的情况下改变 HTL 厚度;(ii) 在 EML 的最佳 Ir 复合物掺杂物浓度(8% w/w) 的情况下改变 HTL 厚度;以及(iii) 固定 HTL(19nm) 并且改变 EML(27-51nm)。头两幅图, 图 8(i) 和 8(ii) 将研究在各种 HTL 厚度的情况下掺杂物浓度对于器件特性的影响。第三个图(iii) 示出了 EML 厚度的影响。随着 HTL 厚度的增加, 参见图 8(i) 和(ii), 器件电流减小并且相关的外部量子效率(EQE%) 和电流效率(cd/A) 增加(参见图 9)。该特性表示产生激子的几率增加。在较厚的 PVKH 器件处测量的较低的电场强度表示电子阻挡增加了在复合物位置处的捕获几率, 导致了更有效的激子产生。发光层(PVKL:PBD:Ir(ppy)₃) 的电子迁移率主要由 PBD($2 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) 确定并且高于 HTL(PVKH) 的空穴迁移率(测量的 PVK 空穴迁移率的范围根据电场强度为 4.8×10^9 至 $10^6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)。由于 HTL 和 EML 都由 PVK 制成, 因此, 该结构受益于跨过器件层的没有阻碍的平滑的空穴传输并且另一方面, 通过 PBD 和 IR 复合物传输的电子由于 PVK 的较高的 LUMO 而被 PVKH 层阻挡。因此, 预计电子积聚在 PVKH 和 PVKL:PBD:Ir(ppy)₃ 之间的界面处, 这导致了更多的激子产生并且能够获得器件性能的显著增强。PVKH 还保持在 EML 层中限定的发光区远离电极, 这防止 PEDOT 导致的淬灭。通过增加 HTL(PVKH) 厚度, 电子更多地积聚在发光区域中, 产生了 PVKH 层上的高局域电场强度, 这导致了器件击穿。击穿电压严格上讲依赖于 HTL 层厚度, 其将器件厚度限制到小于 30nm。

[0102] 当 PVKH 层增加时, 对于空穴传输的阻碍也增加(PVK 空穴电阻率为大约 $10^9 \Omega \text{ cm}$), 因此电子数目超过了空穴的数目, 并且器件性能趋于降低。图 8 的嵌入图示出了作为电场

强度的函数的电流。已经发现的是,在多层器件的情况下,器件操作电场强度较低。这表示由于激子约束导致了器件性能的增强。在低 Ir 复合物浓度(图 8(i)), I-F 特性示出了具有 HTL 和不具有 HTL 的双层之间的差异。导通电场强度与 PVKH 厚度无关。这是由于较厚的 PVKH 中 Ir(ppy)₃ 捕获的激子以及被阻挡的电子的饱和,它们将对于产生的激子的数目没有贡献。在较高的 Ir 掺杂物浓度(高捕获态密度),PVKH 层厚度的增加阻挡了更多电子,并且使得激子数目持续增加,这允许导通电场强度向较低值的逐渐偏移(图 8(ii) 的嵌入图)。如果另一方面发光层厚度在固定 Ir 复合物浓度(固定在较高值 8% w/w)的情况下增加,则产生激子的几率由于在载流子到达对向电极之前形成激子的几率较高而增加,但是导通电场强度看起来在不同 EML 厚度的情况下都是相同的。这些特性确认了 PVKH 对于导通电场强度的影响,并且因此确认了对于本发明的器件的性能的影响。

[0103] 在下述情况下获得了 23cd/A 的电流效率:PVKH 层厚度处于 18-25nm 之间;并且 PVKL:PBD:Ir(ppy)₃ 发光层厚度为 45nm(参见图 9,其示出了与图 6 中所示的溶液处理的多层器件结构的电流密度(mA/cm²)相关的 a) 外部量子效率、b) 器件电流效率(cd/A)、c) 亮度(cd/m²)以及 d) 功率效率(L/W))。HTL 没有显著地增加导通电压,这仅意味着 EML 厚度控制导通电压。然而,6.5L/W 的功率效率受到了与用于 PEDOT:PSS 和 PVK 之间的空穴注入的大的势垒高度($\Delta\Phi = 0.6\text{eV}$)相关的高的导通电压(> 8V)的限制。界面处的 PBD 和 PVKH 之间的能量势垒也对导通电压有略微的贡献,但是需要该势垒来约束激子。图 9c 中所示的 7000cd/m² 的受限制的亮度,对于不同 HTL 厚度的所有器件来说,反映了亮度对于 Ir(ppy)₃ 浓度的依赖性并且表示发光激子的饱和。然而,在较厚的 EML 层(100nm)的情况下,亮度增加到 13000cd/m²,但是器件性能下降到 14cd/A,并且 EQE 降低到 4%,这表示器件性能应该通过亮度 × 器件电流效率而不是单个的参数来描述。增加器件亮度不仅依赖于发光激子浓度而且依赖于腔体优化以及诸如三重激子淬灭(三重态-三重态湮灭和三重态极子淬灭)和场诱发淬灭的其它淬灭处理。

[0104] 还使用时间分辨荧光光子计数来研究了 HTL 对于通过电极的激子淬灭的影响。为了使用时间分辨光子计数来估计淬灭强度,选择聚螺二苈(PSF)作为发光层。选择该荧光材料是因为能够通过第二谐波 Ti-蓝宝石激光(372nm)提供选择性激发波长并且还因为其荧光寿命处于光子计数时间分辨范围(5ps-3ns)内。没有与电极或其它聚合物层相互作用的情况下的薄膜 PSF 的荧光衰减寿命大约是 1ns。PSF 与不同器件层的相互作用能够改变各种界面对于发光层的淬灭的影响。如下面的表 1 中所示,制备了不同样品构成。在没有进行偏压的情况下也对具有 Ba/Al 阴极的器件结构进行了测试以确定通过阴极(Ba/Al)的淬灭。通过来自玻璃侧的激光束照射样品(参见图 10 的嵌入图)。激发脉冲波长被选择为 372nm。由于 PSF 在该波长具有峰值吸收而 PVKH 在该波长没有吸收,因此激光脉冲选择性地仅激发 PSF。

[0105] 图 10 示出了各种样品构成的 PSF 的荧光强度衰减。如上所述,激发波长为 372nm;发光波长为 420nm。图 10 的嵌入图示出了器件结构和光子计数设定。

[0106] 使用具有三个分立指数分量的 Global 分析来拟合衰减曲线。该分析用于将反映界面处的与其它层接触的 PSF 的淬灭的快速衰减分量与反映远离接触区的 PSF 的未淬灭侧的缓慢衰减分量隔离。

[0107] 图 11 示出了不同样品构成的三个衰减分量。特别地,该图示出了对于不同样品构

成的荧光时间分辨分析的结果。使用三个分立的指数项来拟合衰减曲线。

$$[0108] \quad I(t) = \sum_{i=1}^3 a_i \exp(-t/\tau_i)$$

[0109] 其中, a_i 表示 $t = 0$ 时的分量 i 的幅值, τ_i 是分量 i 的衰减时间。 χ^2 是拟合的质量。使用下式获得平均荧光寿命:

$$[0110] \quad \langle \tau \rangle = \sum a_i \tau_i^2 / \sum a_i \tau_i$$

[0111] 大约 1ns 的最慢的衰减分量表示仅略微受到接触的类型的影响的未淬灭 PSF。另外的两个分量强烈地受到相邻层的影响。小于 20ps 的最快的分量对于除了具有 Ba 阴极的器件结构之外的所有不同界面都是相同的。这意味着, 该分量仅受到阴极的影响。大约 250-400ps 的中间分量清楚地示出了金属电极淬灭的影响。HTL 通过 PEDOT:PSS 略微地减少了 PSF 淬灭。这意味着 HTL 的影响主要是通过约束激子而不是防止通过电极或 PEDOT:PSS 的淬灭来实现的。在 0v 偏压情况下的器件结构中通过 Ba 阴极的淬灭意味着进一步引入电子传输层 (ETL) 可以通过防止通过阴极的淬灭以及有利于电子注入来增强器件性能。

[0112] 总之, 已经示出了一种基于所有溶液可处理的高性能聚合物的发光器件的简单且通用的方法。通过使用高分子 PVK 作为空穴传输电子阻挡层, 实现了有效的电子阻挡, 这导致了磷光区中的激子数量的增加。在顶层中使用低分子量 PVK 作为宿主材料防止了形成对于从 PEDOT 到 EML 的空穴传输的阻挡并且保持了空穴连续性。此外, HTL 防止了 EML 与 PEDOT 接触。高分子量 PVK 具有对于很多溶剂的高抵抗性, 因此重要的是, 适当地选择顶层溶剂以便于减少层混合。由于差的空穴注入导致功率效率变差, 能够增加空穴注入以匹配大于 23cd/A 的高器件电流效率。

[0113] 实验细节:

[0114] 已知的是, PVK 是良好的空穴传输聚合物。另外, 由于其高的三重能级 (2.6-2.7eV), PVK 还已经广泛地用作于大量磷光掺杂物的宿主材料。

[0115] 在厚度为 125nm 并且具有 $20 \Omega / \square$ 的方块电阻的铟锡氧化物 (ITO) 涂覆的玻璃基板上制造所有的器件。从德国的 Bayer A. G. 获得的聚 (3,4-亚乙基二氧噻吩)/聚苯乙烯磺酸酯 (PEDOT:PSS) 在两个阶段中进行旋转涂覆: 500rpm 持续 10 秒并且之后 2500rpm 持续 60 秒, 以生产大约 40nm 厚的空穴传输层 (HTL)。这些 HTL 涂覆的基板然后在 200°C 在热板上进行 3 分钟的退火以移除任何残余的水。以 2500rpm 旋转涂覆各种浓度 (mg/ml) 的高分子量聚 (乙烯基咪唑) PVKH ($M_w = 1100000$) 的氯苯溶液以获得 12-52nm 的空穴传输材料。该第二层在 120°C 进行 10 分钟的退火以移除溶剂并且然后冷却到室温。制备具有作为用于平衡电荷载流子传输的电子传输材料的 40% ww 的 2-(4-联苯基)-5-苯基-1,3,4-噁二唑 (PBD) 并且掺杂有 8% w/w 的 Ir 复合物的低分子量 PVKL ($M_w = 43000$) 的甲苯溶液。利用 2.5mm 孔过滤器对该溶液进行过滤并且以 2500rpm 将其旋转涂覆在空穴传输层 PVKH 的顶部上并且在 120°C 烘焙 10 分钟, 从而其用作发光层 (EML)。每个样本具有被施加用于产生 $4 \times 12\text{mm}$ 的面积的两个相同器件的遮光板; 样品然后被引入到氮箱中, 其中 4nm 钡阴极被以大约 1 \AA/s 的速率在大约 $1 \times 10^{-6} \text{ mm Hg}$ 的压力的真空下蒸镀到器件上。这之后是在相同蒸镀条件下的 150nm 的铝帽层的沉积。使用类似的过程来在 SiSiO_2 基板上制造单层 PVKH (氯苯) 和 PVKL (甲苯) 和双层 PVKH (氯苯)/PVKL (甲苯) 以使用 J. A. Woollam 椭圆偏振计来进行膜厚度测量。

[0116] 在定标积分球中利用使用控制 Agilent Technologies 6632B 电源的 NI LabView 程序控制的数据获取来测量电流 - 电压 (I-V) 特性和发光强度。使用提供有 400nm 的 UV/Vis 光纤的 Ocean Optics USB 4000CCD 光谱仪来测量电致发光 (EL) 光谱。

[0117] 使用时间分辨荧光光子计数来测量 HTL 对于 EML 荧光性能的影响。从在 76MHz 操作的 Ti-蓝宝石激光器的第二谐波频率产生 372nm 的激发波长。溶解在甲苯中的聚螺二芴 (PSF) 也用作能够被旋转涂覆在 PVKH 层上的 EML 层。在玻璃或玻璃 /ITO 基板上制备一组不同的多层构造,如图 11 中所示。

[0118] 示例 2 :双层白光发光器件

[0119] 在图 12 至 14 中示出多层有机器件的第二特定示例的结构。该实施方式形成了所谓的多色有机 LED 以产生用于背光或一般的发光应用的白光。

[0120] 在该实施方式中产生的白光仅包括两个不饱和色 (蓝绿和黄色) 以代替三种饱和色 (蓝、绿和红)。器件结构包括与示例 1 中所描述的类似的层结构顺序。第一示例中的空穴传输层 (HTL) 现在用于形成黄光发光层 (EML1), 其包括从氯苯溶液旋转涂覆的黄光发光掺杂物、宿主材料 (PVKH) 和电子传输材料的混合物。宿主材料 (PVKH) 优选地与小于 20% w/w 的低浓度电子传输材料混合以避免失去对于第二层溶剂的 PVKH 抵抗性。第二层 (EML2) 形成了蓝绿光发光层并且包括诸如从甲苯溶液旋转涂覆的 Firpic 族中的一个的蓝光发光掺杂物、电子传输材料以及宿主材料 (PVKL) 的混合物。

[0121] 因此,该第二示例中的器件结构如下:玻璃 /ITO(120nm)/PEDOT:PSS(65nm)/PVKH:OXD-7 (< 20% w/w):黄光发光复合物 /PVKL:OXD-7 (30% w/w):蓝光发光复合物 Ba(4nm)/Al(100nm)。在图 13 中示出了获得的该器件的 EL 发光。

[0122] 现在能够以优化光学输出耦合的方式来选择两层 (EML1 和 EML2) 的厚度。对于想要的白光发射, PVKH 层厚度应该处于 50nm-160nm 之间并且 PVKL 层厚度应该处于 10nm-50nm 之间。使用 SETFOS 3.1 对 PVKH 和 PVKL 厚度的不同组合进行测试以在接近 (0.33, 0.33) 的 CIE 坐标处获得最高器件性能。在图 14 中示出该结构。如从该图中能够看到的,在 PVKH 层厚度为 120nm 并且 PVKL 层厚度为 30nm 的情况下获得白色 CIE : $x = 0.32$, $y = 0.35$ 。

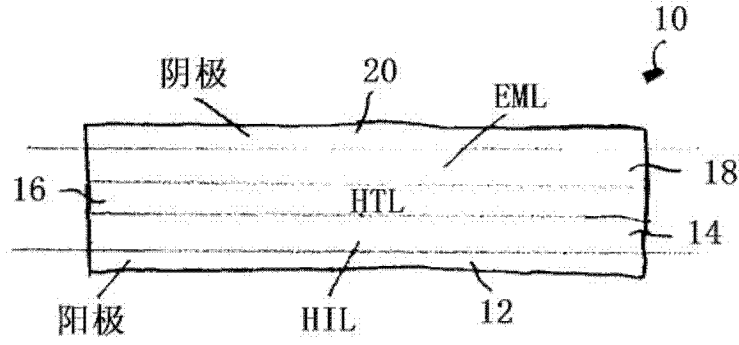


图 1

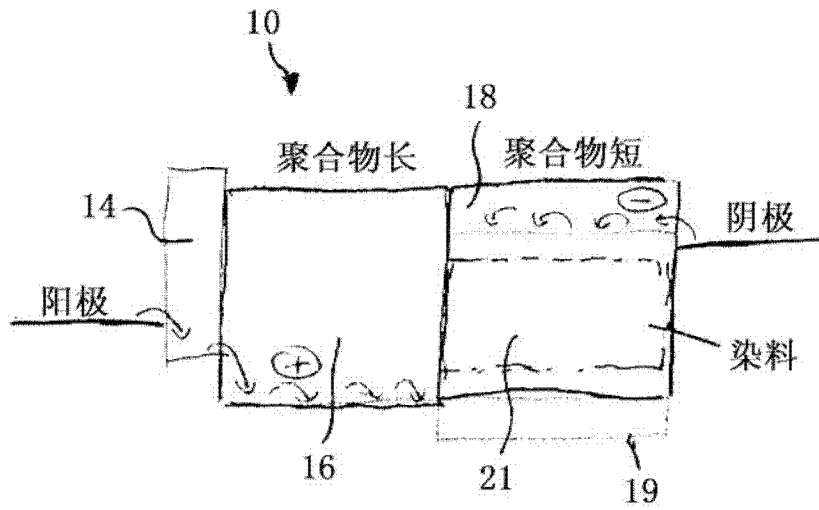


图 2

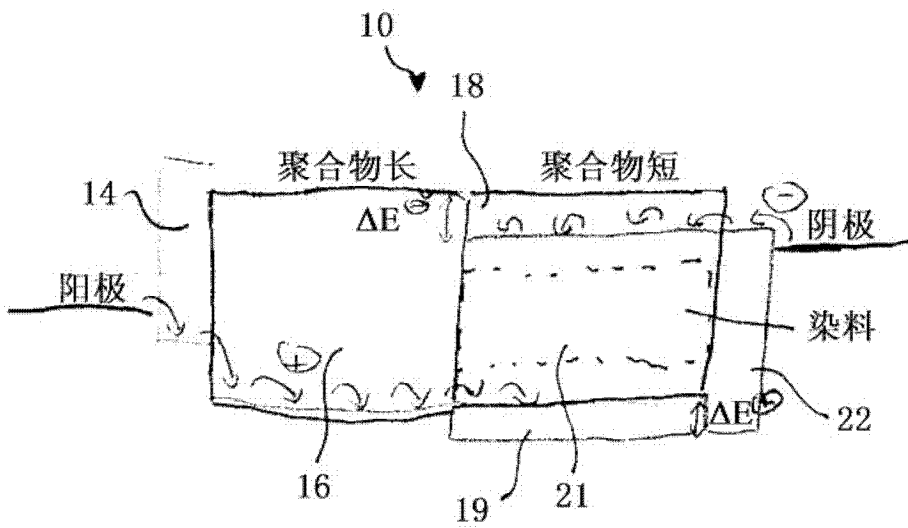


图 3

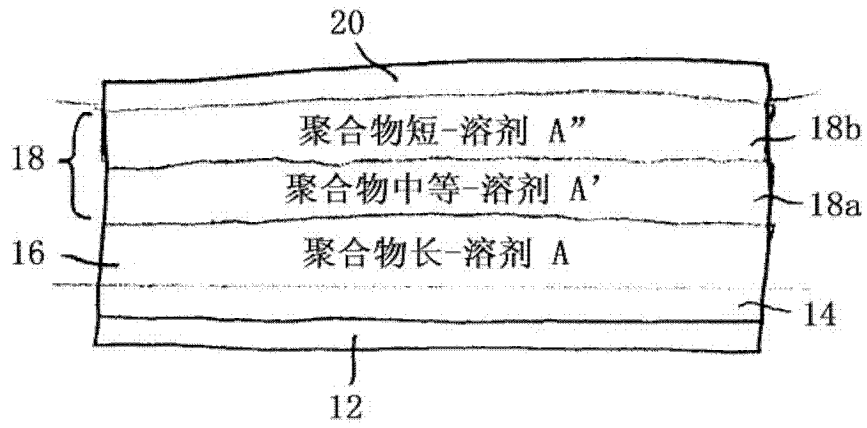


图 4

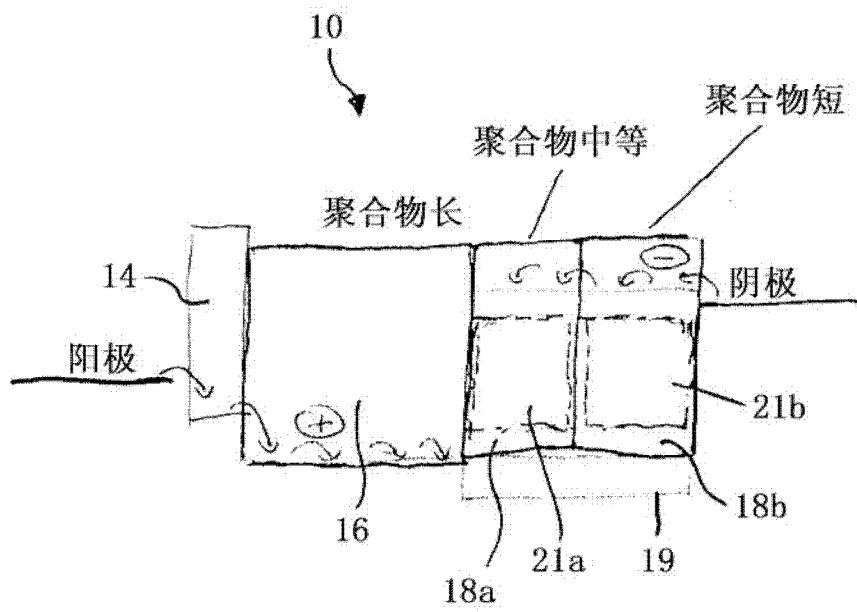


图 5

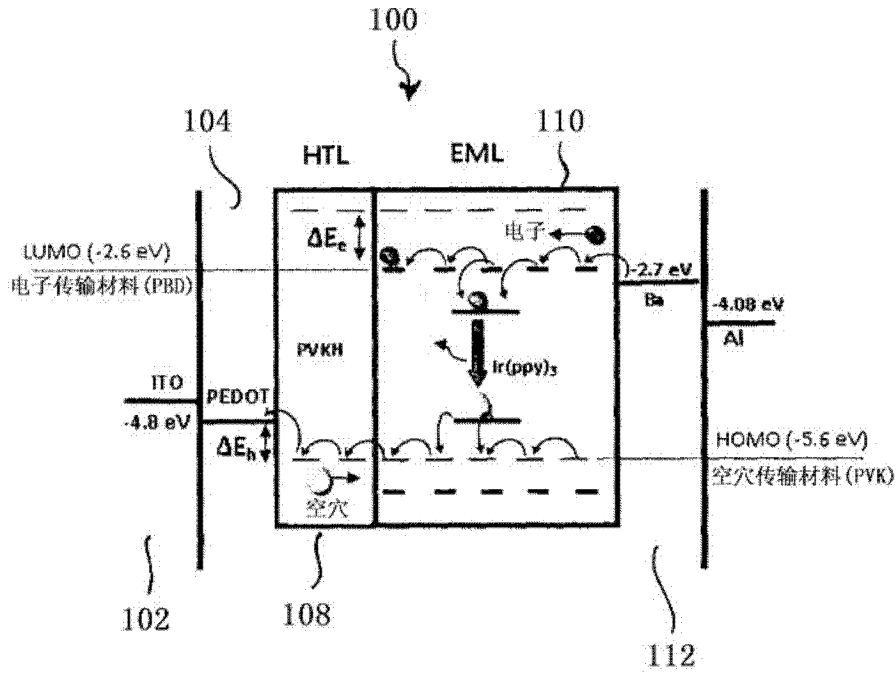


图 6

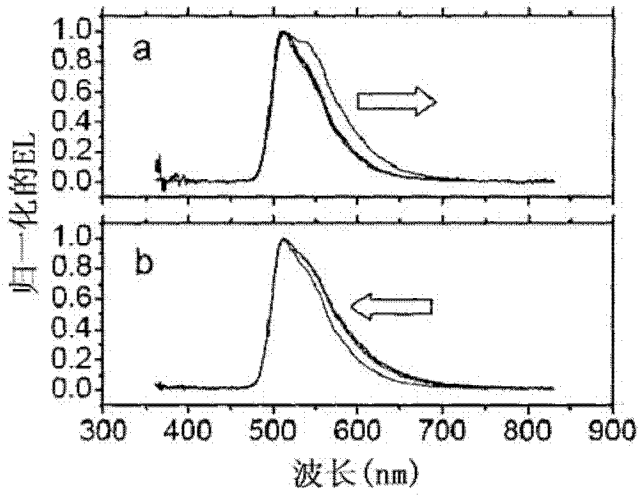


图 7

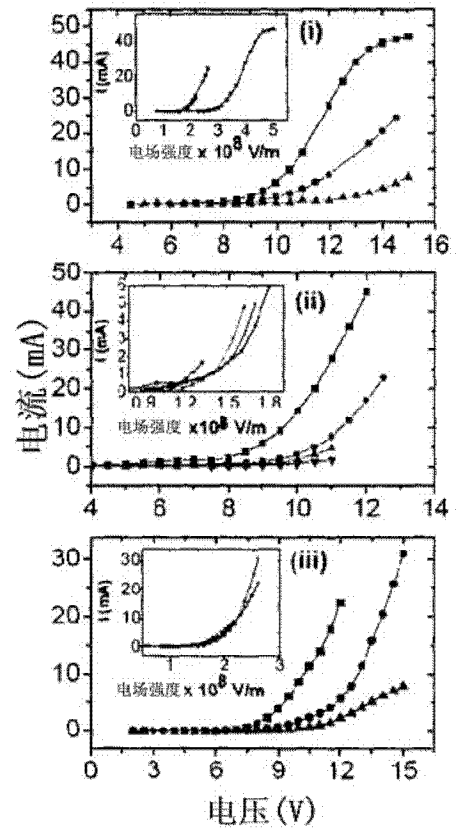


图 8

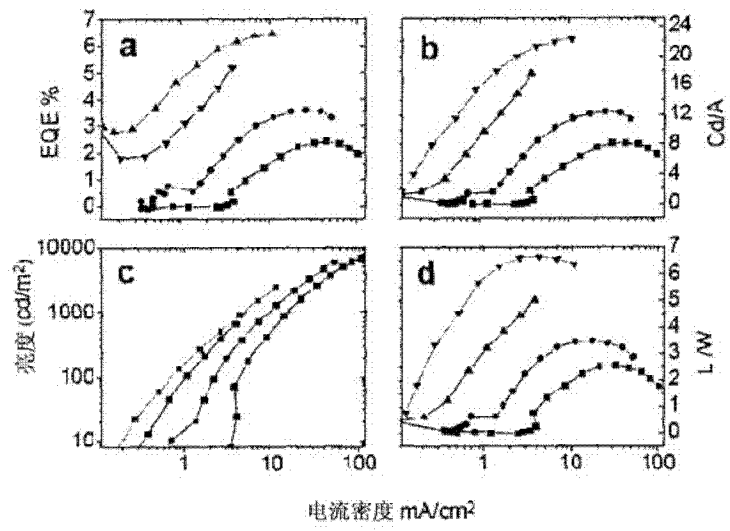


图 9

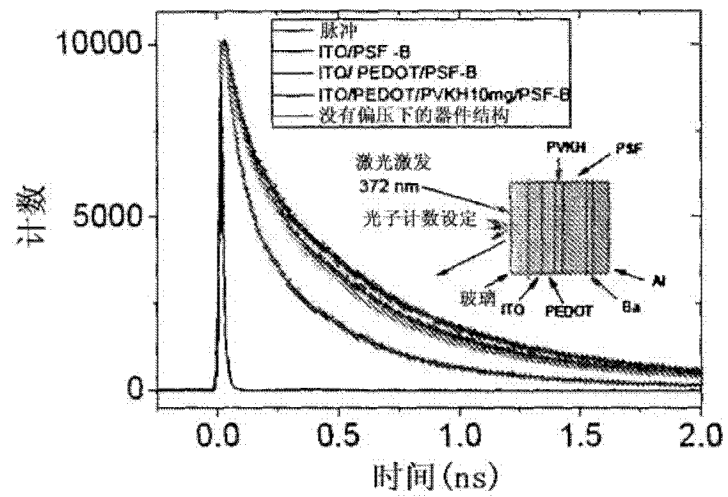


图 10

	a_1	τ_1	a_2	τ_2	a_3	τ_3	$\langle \tau \rangle$	χ^2
G / ITO / PSF	7.11	0.896	31.14	0.285	35.2	0.054	0.4864	1.2
G / ITO / PEDOT / PSF	10.335	1.126	27.59	0.384	18.17	0.059	0.73958	1.1
G / ITO / PEDOT / PVKH / PSF	11.37	1.187	26	0.408	15.409	0.06	0.81495	1.04
G/ITO/PEDOT/PVKH/PSF/Ba/Al	15.09	0.933	25.47	0.257	21.5	0.017	0.70624	1.24

图 11

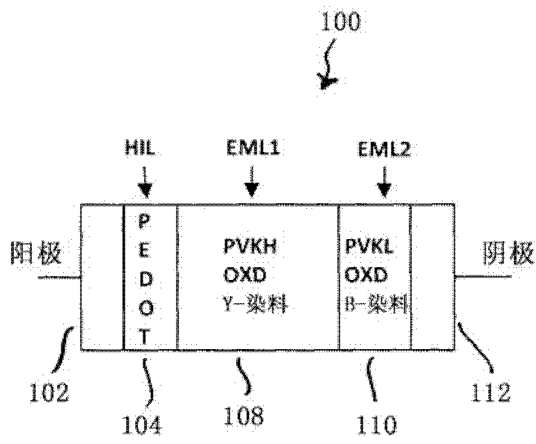


图 12

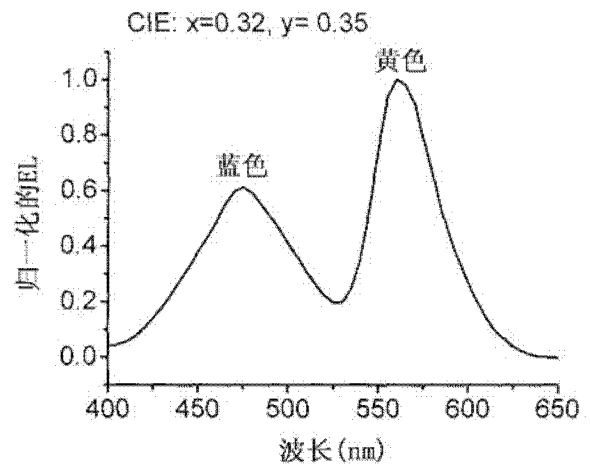


图 13

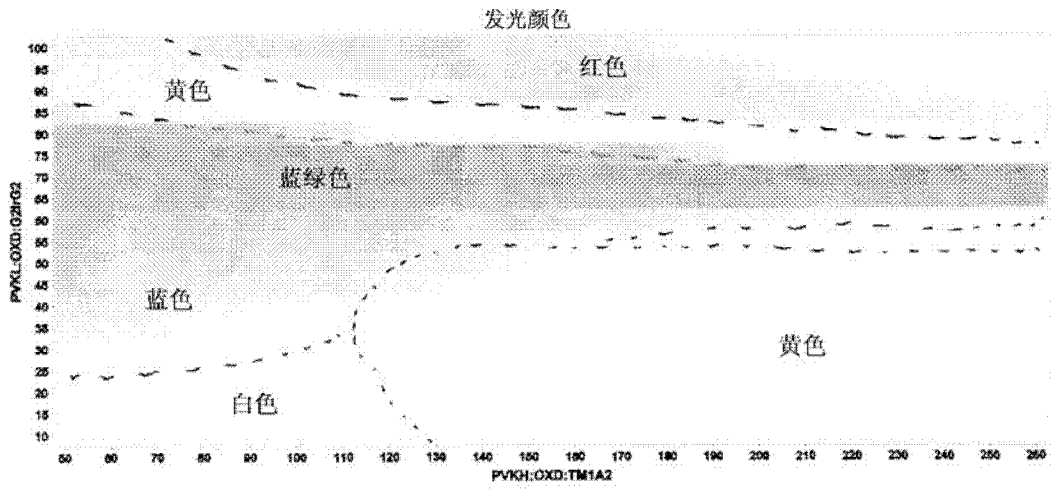


图 14

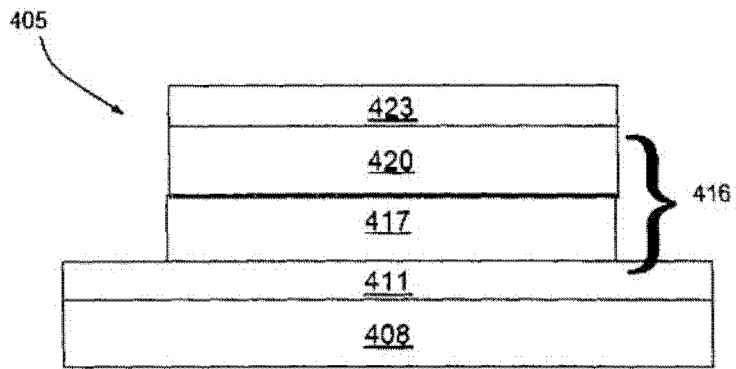


图 15 现有技术