(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2018 年 7 月 5 日 (05.07.2018)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2018/120514 A1

(51) 国际专利分类号:
H01L 51/50 (2006.01) *H01L 51/56* (2006.01)
H01L 51/54 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/080618

(22) 国际申请日: 2017 年 4 月 14 日 (14.04.2017)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201611256948.9 2016年12月30日 (30.12.2016) CN
201611256947.4 2016年12月30日 (30.12.2016) CN
201611256939.X 2016年12月30日 (30.12.2016) CN
201611259424.5 2016年12月30日 (30.12.2016) CN

(71) 申请人: **TCL 集团股份有限公司 (TCL CORPORATION)** [CN/CN]; 中国广东省惠州市仲恺高新技术开发区十九号小区, Guangdong 516006 (CN)。

(72) 发明人: **曹蔚然(CAO, Weiran)**; 中国广东省惠州市仲恺高新技术开发区十九号小区, Guangdong 516006 (CN)。 **杨一行(YANG, Yixing)**; 中国广东省惠州市仲恺高新技术开发区十九号小区, Guangdong 516006 (CN)。 **刘政(LIU, Zheng)**; 中国广东省惠州市仲恺高新技术开发区十九号小区, Guangdong 516006 (CN)。 **钱磊(QIAN, Lei)**; 中国广东省惠州市仲恺高新技术开发区十九号小区, Guangdong 516006 (CN)。

(74) 代理人: **深圳市君胜知识产权代理事务所（普通合伙）(JOHNSON INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY(SHENZHEN))**; 中国广东省深圳市南山区麒麟路1号南山知识服务大楼308-309号, Guangdong 518052 (CN)。

(54) **Title:** QLED DEVICE AND PREPARATION METHOD THEREFOR

(54) **发明名称:** QLED器件及其制备方法

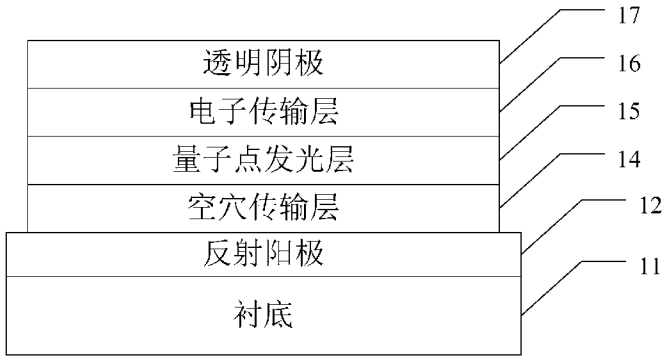


图 1

17 TRANSPARENT ELECTRODE
16 ELECTRONIC TRANSPORT LAYER
15 QUANTUM DOT LIGHT-EMITTING LAYER
14 HOLE TRANSPORT LAYER
12 REFLECTIVE ANODE
11 SUBSTRATE

(57) **Abstract:** A quantum dot light-emitting diode (QLED) device and a preparation method therefor, comprising a substrate (11), a reflective anode (12), a hole transport layer (14), a quantum dot light-emitting layer (15), an electronic transport layer (16) and a transparent cathode (17) that are sequentially laminated. The quantum dot light-emitting layer is prepared using a quantum dot material having a quantum well energy level structure, and the quantum dot material comprises at least one quantum dot structural unit which is arranged in sequence in a radial direction; the quantum dot structural unit is a graded alloy component structure whose energy level width changes in the radial direction or is a uniform component structure whose energy level width is consistent in the radial direction. The present invention may achieve a high-efficiency QLED device having excellent capabilities such as high-efficiency charge injection, high light-emitting brightness, low driving power supply and high device efficiency.

WO 2018/120514 A1

[见续页]

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：一种QLED器件及其制备方法，包括依次叠层设置的衬底（11）、反射阳极（12）、空穴传输层（14）、量子点发光层（15）、电子传输层（16）及透明阴极（17），量子点发光层采用具有量子阱能级结构的量子点材料制备而成，量子点材料包括至少一个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，量子点结构单元为径向方向上能级宽度变化的渐变合金组分结构或径向方向上能级宽度一致的均一组分结构，可实现具有高效电荷注入、高发光亮度、低驱动电源以及高器件效率等优异性能的高效QLED器件。

QLED 器件及其制备方法

技术领域

本发明涉及量子点技术领域，特别涉及 QLED 器件及其制备方法。

背景技术

量子点是一种在三个维度尺寸上均被限制在纳米数量级的特殊材料，这种显著的量子限域效应使得量子点具有了诸多独特的纳米性质：发射波长连续可调、发光波长窄、吸收光谱宽、发光强度高、荧光寿命长以及生物相容性好等。这些特点使得量子点在平板显示、固态照明、光伏太阳能、生物标记等领域均具有广泛的应用前景。尤其是在平板显示应用方面，基于量子点材料的量子点电致发光二极管器件（Quantum dot light-emitting diodes，QLED）借助于量子点纳米材料的特性和优化，已经在显示画质、器件性能、制造成本等方面展现出了巨大的潜力。虽然近年来 QLED 器件在各方面的性能不断得到提升，但无论是在器件效率还是在器件工作稳定性等基本器件性能参数上还与产业化应用的要求有相当的差距，这也大大阻碍了量子点电致发光显示技术的发展和应用。另外，不仅限于 QLED 器件，在其他领域中，量子点材料相对于传统材料的特性也被逐渐重视，例如光致发光器件、太阳能电池、显示器件、光电探测器、生物探针以及非线性光学器件等等，以下仅以 QLED 器件为例进行说明。

虽然量子点作为一种经典的纳米材料已经被研究和开发超过 30 年，但是利用量子点的优良发光特性并将其作为发光材料应用在 QLED 器件及相应的显示技术中的研究时间还很短；因此目前绝大部分的 QLED 器件的开发和研究均是基于已有经典结构体系的量子点材料，相应的量子点材料的筛选和优化的标准还基本是从量子点自身的发光性能例如量子点的发光峰宽、溶液量子产率等出发。将以上量子点直接应用于 QLED 器件结构中从而获得

相应的器件性能结果。

但QLED器件及相应的显示技术作为一套复杂的光电器件体系，有诸多方面的因素会影响器件的性能。单从作为核心发光层材料的量子点材料出发，所需权衡的量子点性能指标就会复杂得多。

首先，量子点在QLED器件中是以量子点发光层固态薄膜的形式存在的，因此量子点材料原本在溶液中所得到的各项发光性能参数在形成固态薄膜后会表现出明显的差异：例如在固态薄膜中发光峰波长会有不同程度的红移（向长波长移动）、发光峰宽度会变大、量子产率会有不同程度的降低，也就是说量子点材料在溶液中的优良发光性能并不能完全被继承至QLED器件的量子点固态薄膜中。因此在设计和优化量子点材料的结构和合成配方时，需同时考虑量子点材料自身的发光性能最优化以及量子点材料在固态薄膜状态下的发光性能继承最大化。

其次，在QLED器件中量子点材料的发光是通过电致激发来实现的，即分别从QLED器件的阳极和阴极通电注入空穴和电子，空穴和电子通过QLED器件中相应功能层的传输在量子点发光层复合后，通过辐射跃迁的方式发射光子即实现发光。从以上过程可以看出，量子点自身的发光性能例如发光效率只是影响上述过程中辐射跃迁的效率，而QLED器件的整体发光效率还会同时受到上述过程中空穴和电子在量子点材料中的电荷注入和传输效率、空穴和电子在量子点材料中的相对电荷平衡、空穴和电子在量子点材料中的复合区域等的影响。因此在设计和优化量子点材料的结构尤其是量子点的精细核壳纳米结构时，还需重点考虑量子点形成固态薄膜以后的电学性能：例如量子点的电荷注入和传导性能、量子点的精细能带结构、量子点的激子寿命等。

最后，考虑到QLED器件及相应显示技术未来将通过极具生产成本优势的溶液法例如喷墨打印法进行制备，因此量子点的材料设计和开发需要考虑量子点溶液的加工性能，例如量子点溶液或打印墨水的可分散溶解性、

胶体稳定性、打印成膜性等。同时，量子点材料的开发还要与 QLED 器件其他功能层材料以及器件的整体制备工艺流程和要求作协同。

总之，传统的仅从提升量子点自身发光性能考虑出发的量子点结构设计是无法满足 QLED 器件及相应显示技术对于量子点材料在光学性能、电学性能、加工性能等多方面的综合要求的。需要针对 QLED 器件及相应显示技术的要求，对量子点发光材料的精细核壳结构、组分、能级等进行量身定制。

由于量子点的高表面原子比率，未与表面配体（Ligand）形成非共价键（Dangling bond）的原子将以表面缺陷态存在，这种表面缺陷态将会引起非辐射途径的跃迁从而使得量子点的发光量子产率大幅被降低。为解决这一问题，可以在原量子点外层表面生长包含另一种半导体材料的半导体壳层，形成量子点的核壳（core-shell）结构，可以显著改善量子点的发光性能，同时增加量子点的稳定性。

可应用于高性能 QLED 器件开发的量子点材料主要为具有核壳结构的量子点，其核和壳成分分别固定且核壳具有明确边界，例如具有 CdSe/ZnS 核壳结构的量子点 (J. Phys. Chem., 1996, 100 (2), 468–471)、具有 CdSe/CdS 核壳结构的量子点 (J. Am. Chem. Soc. 1997, 119, (30), 7019-7029)、具有 CdS/ZnS 核壳结构的量子点、具有 CdS/CdSe/CdS 核+多层壳层结构的量子点 (Patent US 7,919,012 B2)、具有 CdSe/CdS/ZnS 核+多层壳层结构的量子点 (J. Phys. Chem. B, 2004, 108 (49), 18826–18831)等。在这些核壳结构的量子点中，通常来说核和壳的组成成分是固定并且不同的，且一般是由一种阳离子和一种阴离子组成的二元化合物体系。在这种结构中，由于核和壳的生长是独立分别进行的，因此核和壳之间的边界是明确，即核和壳可以区分的。这种核壳结构量子点的开发提升了原先单一成分量子点的发光量子效率、单分散性以及量子点稳定性。

以上所述核壳结构的量子点虽然部分提高了量子点性能，但无论从设

计思路还是从优化方案上均还是基于提升量子点自身的发光效率方面考虑，其发光性能还有待提高，另外也未综合考虑 QLED 器件对于量子点材料的其他方面特殊要求。

因而现有技术还有待改进和提高。

发明内容

鉴于上述现有技术的不足之处，本发明的目的在于提供一种 QLED 器件及其制备方法，通过采用具有量子阱能级结构的量子点材料实现高效稳定的 QLED 器件。

为了达到上述目的，本发明采取了以下技术方案:

一种 QLED 器件，包括依次叠层设置的衬底、反射阳极、空穴传输层、量子点发光层、电子传输层及透明阴极，其中，所述量子点发光层采用具有量子阱能级结构的量子点材料制备而成，所述量子点材料包括至少一个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，所述量子点结构单元为径向方向上能级宽度变化的渐变合金组分结构或径向方向上能级宽度一致的均一组分结构。

所述的 QLED 器件中，还包括在所述反射阳极与空穴传输层之间设置的空穴注入层。

所述的 QLED 器件中，所述反射阳极为铝电极或银电极，所述反射阳极的厚度为 30-800nm。

所述的 QLED 器件中，所述透明阴极为 ITO 或薄层金属电极，所述 ITO 的厚度为 20-300nm，所述薄层金属电极的厚度为 5-50nm。

一种 QLED 器件，包括依次叠层设置的衬底、透明阳极、空穴传输层、量子点发光层、电子传输层及反射阴极，其中，所述量子点发光层采用具有量子阱能级结构的量子点材料制备而成，所述量子点材料包括至少一个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，所述量子点结构单元为径向方向上能级宽度变化的渐变合金组分结构或径向方向上能级宽度一致的均一

组分结构。

所述的 QLED 器件中，还包括在所述透明阳极与空穴传输层之间设置的空穴注入层。

所述的 QLED 器件中，所述透明阳极为图案化的 ITO。

所述的 QLED 器件中，所述反射阴极为铝电极或银电极，所述反射阴极厚度为 30-800nm。

一种 QLED 器件，包括依次叠层设置的衬底、反射阴极、电子传输层、量子点发光层、空穴传输层及透明阳极，其中，所述量子点发光层采用具有量子阱能级结构的量子点材料制备而成，所述量子点材料包括至少一个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，所述量子点结构单元为径向方向上能级宽度变化的渐变合金组分结构或径向方向上能级宽度一致的均一组分结构。

所述的 QLED 器件中，还包括在所述空穴传输层与透明阳极之间设置的空穴注入层。

所述的 QLED 器件中，所述反射阴极为铝电极或银电极，所述反射阴极的厚度为 30-800nm。

所述的 QLED 器件中，所述透明阳极为 ITO 或薄层金属电极，所述 ITO 的厚度为 20-300nm，所述薄层金属电极的厚度为 5-50nm。

一种 QLED 器件，包括依次叠层设置的衬底、透明阴极、电子传输层、量子点发光层、空穴传输层及反射阳极，其中，所述量子点发光层采用具有量子阱能级结构的量子点材料制备而成，所述量子点材料包括至少一个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，所述量子点结构单元为径向方向上能级宽度变化的渐变合金组分结构或径向方向上能级宽度一致的均一组分结构。

所述的 QLED 器件中，还包括在所述空穴传输层与反射阳极之间设置的空穴注入层。

所述的 QLED 器件中，所述透明阴极为图案化的 ITO。

所述的 QLED 器件中，所述反射阳极为铝电极或银电极，所述反射阳极厚度为 30-800nm。

所述的 QLED 器件中，所述量子点结构单元均为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，且在径向方向上相邻的量子点结构单元的能级是连续的。

所述的 QLED 器件中，所述量子点材料包括至少三个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，其中，所述至少三个量子点单元中，位于中心和表面的量子点结构单元均为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，且在径向方向上相邻的渐变合金组分结构的量子点结构单元的能级是连续的；位于中心和表面的量子点结构单元之间的一个量子点结构单元为均一组分结构。

所述的 QLED 器件中，所述量子点材料包括两种类型的量子点结构单元，其中一种类型的量子点结构单元为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，另一种类型的量子点结构单元为径向方向上越向外能级宽度越窄的渐变合金组分结构，所述两种类型的量子点结构单元沿径向方向依次交替分布，且在径向方向上相邻的量子点结构单元的能级是连续的。

所述的 QLED 器件中，所述量子点结构单元均为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，且相邻的量子点结构单元的能级是不连续的。

所述的 QLED 器件中，所述量子点结构单元均为径向方向上越向外能级宽度越窄的渐变合金组分结构，且相邻的量子点结构单元的能级是不连续的。

所述的 QLED 器件中，所述量子点材料包括两种量子点结构单元，其中一种量子点结构单元为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，另一种量子点结构单元为均一组分结构，所述量子点材料的内部包括

一个或一个以上的渐变合金组分结构的量子点结构单元，且在径向方向上相邻的渐变合金组分结构的量子点结构单元的能级是连续的；所述量子点材料的外部包括一个或一个以上的均一组分结构的量子点结构单元。

所述的 QLED 器件中，所述量子点材料包括两种量子点结构单元，其中一种量子点结构单元为均一组分结构，另一种量子点结构单元为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，所述量子点材料的内部包括一个或一个以上的均一组分结构的量子点结构单元，所述量子点材料的外部包括一个或一个以上的渐变合金组分结构的量子点结构单元，且在径向方向上相邻的渐变合金组分结构的量子点结构单元的能级是连续的。

所述的 QLED 器件中，所述量子点结构单元为包含 II 族和 VI 族元素的渐变合金组分结构或均一合金组分结构。

所述的 QLED 器件中，所述量子点结构单元包括 2-20 层单原子层，或者所述量子点结构单元包含 1-10 层的晶胞层。

所述的 QLED 器件中，所述量子点材料的发光峰波长范围为 400 纳米至 700 纳米。

所述的 QLED 器件中，所述量子点材料的发光峰的半高峰宽为 12 纳米至 80 纳米。

所述的 QLED 器件中，所述量子点发光层的厚度为 10-100nm。

所述的 QLED 器件中，所述空穴注入层的材料为 PEDOT:PSS、MoO_3、VO_2 或 WO_3 中的至少一种。

所述的 QLED 器件中，所述空穴注入层的厚度为 10-150nm。

所述的 QLED 器件中，所述空穴传输层的材料为 TFB、poly-TPD、PVK、NiO、MoO_3、NPB、CBP 中的至少一种。

所述的 QLED 器件中，所述空穴传输层的厚度为 10-150nm。

所述的 QLED 器件中，所述电子传输层的材料为 LiF、CsF、Cs_2CO_3、ZnO、Alq_3 中的至少一种。

所述的 QLED 器件中，所述电子传输层的厚度为 10-150nm。

一种上所述的 QLED 器件的制备方法，其包括如下步骤：

A、提供一衬底，在所述衬底上形成反射阳极；

B、在所述反射阳极上依次沉积空穴传输层、量子点发光层及电子传输层；

C、在所述电子传输层上沉积一透明阴极，制得正置顶发射 QLED 器件。

所述的 QLED 器件的制备方法中，所述空穴传输层、量子点发光层及电子传输层通过溶液加工法或真空蒸镀法进行沉积。

一种如上所述的 QLED 器件的制备方法，其包括如下步骤：

A、提供一衬底，在所述衬底上形成透明阳极；

B、在所述透明阳极上依次沉积空穴传输层、量子点发光层及电子传输层；

C、在所述电子传输层上蒸镀一反射阴极，制得正置底发射 QLED 器件。

所述的 QLED 器件的制备方法中，所述空穴传输层、量子点发光层及电子传输层通过溶液加工法或真空蒸镀法进行沉积。

一种如上所述的 QLED 器件的制备方法，其包括如下步骤：

A、提供一衬底，在所述衬底上形成反射阴极；

B、在所述反射阴极依次沉积电子传输层、量子点发光层及空穴传输层；

C、在所述空穴传输层上沉积一透明阳极，制得反置顶发射 QLED 器件。

所述的 QLED 器件的制备方法中，所述空穴传输层、量子点发光层及电子传输层通过溶液加工法或真空蒸镀法进行沉积。

一种如上所述的 QLED 器件的制备方法，其包括如下步骤：

A、提供一衬底，在所述衬底上形成透明阴极；

B、在所述透明阴极上依次沉积电子传输层、量子点发光层及空穴传输层；

C、在所述空穴传输层上蒸镀一反射阳极，制得反置底发射 QLED 器件。

所述的 QLED 器件的制备方法中，所述空穴传输层、量子点发光层及电子传输层通过溶液加工法或真空蒸镀法进行沉积。

相较于现有技术，本发明提供的 QLED 器件及其制备方法中，所述 QLED 器件包括依次叠层设置的衬底、反射阳极、空穴传输层、量子点发光层、电子传输层及透明阴极，其中，所述量子点发光层采用具有量子阱能级结构的量子点材料制备而成，所述量子点材料包括至少一个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，所述量子点结构单元为径向方向上能级宽度变化的渐变合金组分结构或径向方向上能级宽度一致的均一组分结构，可实现具有高效电荷注入、高发光亮度、低驱动电源以及高器件效率等优异性能的高效 QLED 器件。

附图说明

图 1 为本发明提供的第一实施例中 QLED 器件的结构示意图。

图 2 为本发明提供的第二实施例中 QLED 器件的的结构示意图。

图 3 为本发明提供的第三实施例中 QLED 器件的结构示意图。

图 4 为本发明提供的第四实施例中 QLED 器件的结构示意图。

图 5 为本发明提供的第五实施例中 QLED 器件的结构示意图。

图 6 为本发明提供的第六实施例中 QLED 器件的结构示意图。

图 7 为本发明提供的第七实施例中 QLED 器件的结构示意图。

图 8 为本发明提供的第八实施例中 QLED 器件的结构示意图。

图 9 为本发明提供的 QLED 器件中量子点材料具体结构 1 的能级结构曲线。

图 10 为本发明提供的 QLED 器件中量子点材料具体结构 2 的能级结构曲线。

图 11 为本发明提供的 QLED 器件中量子点材料具体结构 3 的能级结构曲线。

图 12 为本发明提供的 QLED 器件中量子点材料具体结构 4 的能级结构

曲线。

图 13 为本发明提供的 QLED 器件中量子点材料具体结构 5 的能级结构曲线。

图 14 为本发明提供的 QLED 器件中量子点材料具体结构 6 的能级结构曲线。

图 15 为本发明提供的 QLED 器件中量子点材料具体结构 7 的能级结构曲线。

图 16 为本发明提供的 QLED 器件实施例 33 的结构示意图。

图 17 为本发明提供的 QLED 器件实施例 34 的结构示意图。

图 18 为本发明提供的 QLED 器件实施例 35 的结构示意图。

图 19 为本发明提供的 QLED 器件实施例 36 的结构示意图。

图 20 为本发明提供的 QLED 器件实施例 37 的结构示意图。

图 21 为本发明提供的 QLED 器件实施例 38 的结构示意图。

图 22 为本发明提供的第一实施例中 QLED 器件的制备方法的流程图。

图 23 为本发明提供的第三实施例中 QLED 器件的制备方法的流程图。

图 24 为本发明提供的第五实施例中 QLED 器件的制备方法的流程图。

图 25 为本发明提供的第七实施例中 QLED 器件的制备方法的流程图。

图 26 为本发明提供的第二应用实施例中 QLED 器件电致发光光谱曲线图。

图 27 为本发明提供的第二应用实施例中 QLED 器件电流密度-电压曲线及亮度-电压曲线。

图 28 为本发明提供的第二应用实施例中 QLED 器件外量子效率-亮度曲线。

图 29 为本发明提供的第三应用实施例中 QLED 器件电致发光光谱曲线图。

图 30 为本发明提供的第三应用实施例中 QLED 器件电流密度-电压曲线

及亮度-电压曲线。

图 31 为本发明提供的第三应用实施例中 QLED 器件外量子效率-亮度曲线。

图 32 为本发明提供的第四应用实施例中 QLED 器件电致发光光谱曲线图。

图 33 为本发明提供的第四应用实施例中 QLED 器件电流密度-电压曲线及亮度-电压曲线。

图 34 为本发明提供的第四应用实施例中 QLED 器件外量子效率-亮度曲线。

具体实施方式

鉴于现有技术中 QLED 器件性能有待提高等缺点，本发明的目的在于提供 QLED 器件及其制备方法，通过采用具有量子阱能级结构的量子点材料实现高效稳定的 QLED 器件。

为使本发明的目的、技术方案及效果更加清楚、明确，以下参照附图并举实施例对本发明进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

请参阅图 1，本发明第一实施例提供的 QLED 器件为正置顶发射 QLED 器件，其包括依次叠层设置的衬底 11、反射阳极 12、空穴传输层 14、量子点发光层 15、电子传输层 16 及透明阴极 17，其中，所述量子点发光层 15 采用具有量子阱能级结构的量子点材料制备而成，所述量子点材料包括至少一个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，所述量子点结构单元为径向方向上能级宽度变化的渐变合金组分结构或径向方向上能级宽度一致的均一组分结构，所述每个量子点结构单元均包括 2-20 层单原子层。

也就是说本发明第一实施例提供的正置顶发射 QLED 器件所采用的量子点材料中，每个量子点结构单元内部从内至外沿径向方向上任一位置上的一层单原子层或一层以上的单原子层范围内均为具有合金组分的结构。

进一步，在本发明第一实施例中，所述量子点结构单元包含 II 族和 VI 族元素。所述 II 族元素包括但不限于 Zn、Cd、Hg、Cn 等；所述 VI 族元素包括但不限于 O、S、Se、Te、Po、Lv 等。具体地，每个量子点结构单元的合金组分组成为 $Cd_xZn_{1-x}Se_yS_{1-y}$，其中 $0\leq x\leq 1$， $0\leq y\leq 1$，并且 x 和 y 不同时为 0 和不同时为 1。需说明的是上述情况是优选情况，对于渐变合金组分结构的量子点结构单元而言，其组分均为合金组分；而对于均一组分结构的量子点结构单元而言，其组分可以是合金组分，也可以是非合金组分，但本发明优选的是合金组分，即所述均一组分结构为均一合金组分结构，更优选的是，包含 II 族和 VI 族元素，本发明后续实施例均以均一合金组分结构为例进行说明，但显然，对于非合金的均一组分结构同样可以实施。

此处的径向方向是指从量子点材料的中心向外的方向，例如假设本发明的量子点材料为球形或类似球形结构，那么该径向方向即指沿半径的方向，量子点材料的中心（或内部）即指其物理结构的中心，量子点材料的表面（或外部）即指其物理结构的表面。通过采用所述具有渐变合金组分结构的量子点材料实现更加高效稳定的正置顶发射 QLED 器件。本实施例中，所述量子点发光层 15 的厚度优选为 10-100nm。

本发明第一实施例中对衬底 11 的选择没有明确限制，可以采用硬质的玻璃基板，或者柔性的 PET 基板实现柔性器件的制备。

进一步地，请参阅图 2，本发明第二实施例提供的 QLED 器件基于第一实施例的正置顶发射 QLED 器件，在所述反射阳极 12 与空穴传输层 14 之间设置有空穴注入层 13，通过加入空穴注入层 13 以提高空穴注入效率及迁移率，平衡空穴与电子之间的迁移率，使载流子发生辐射复合的几率大大增加，从而提高 QLED 发光亮度以及发光效率。

具体实施时，所述空穴注入层 13 的材料为 PEDOT:PSS、MoO_3、VO_2 或 WO_3，所述空穴注入层 13 的厚度为 10-150nm，优选为 30-50nm。

所述空穴传输层 14 的材料为 TFB、poly-TPD、PVK、NiO、MoO_3、NPB、

CBP 中的至少一种，还可采用铜，铁，铝，镍掺杂的氧化钼，氧化镍，氧化钨，氧化钒等，所述空穴传输层 14 的厚度为 10-150nm。

所述电子传输层 16 的材料为 LiF、CsF、Cs_2CO_3、ZnO、TiO_2、WO_3、SnO_2、AlZnO、ZnSnO、InSnO 等无机材料以及 Alq_3、TPBI(1，3，5-三(N-苯基苯并咪唑-2-基)苯)或 TAZ(3-(4-联苯基)-4-苯基-5-叔-丁基苯基-1，2，4-三唑) 等有机材料中的至少一种，还可采用 NDN1 掺杂的 NET5，OXD-7，以及铝，锂，铷，铯，钆，钇，镁等掺杂的无机氧化物 ZnO，TiO_2 等，所述电子传输层 16 的厚度为 10-150nm。

优选地，本发明第一实施例提供的正置顶发射 QLED 器件中，所述反射阳极 12 为铝电极或银电极，所述反射阳极 12 的厚度为 30-800nm，优选为 100-200nm，所述透明阴极 17 为 ITO 或薄层金属电极，所述 ITO 的厚度为 20-300nm，所述薄层金属电极的厚度为 5-50nm，当然，所述 ITO 还可采用其他透明导电薄膜如 AZO、IZO 等。

请参阅图 3，本发明第三实施例提供的 QLED 器件为正置底发射 QLED 器件，其包括依次叠层设置的衬底 21、透明阳极 22、空穴传输层 24、量子点发光层 25、电子传输层 26 及反射阴极 27，其中，所述量子点发光层 25 采用具有量子阱能级结构的量子点材料制备而成，所述量子点材料包括至少一个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，所述量子点结构单元为径向方向上能级宽度变化的渐变合金组分结构或径向方向上能级宽度一致的均一组分结构。

也就是说本发明第三实施例提供的正置底发射 QLED 器件所采用的量子点材料中，每个量子点结构单元内部从内至外沿径向方向上任一位置上的一层单原子层或一层以上的单原子层范围内均为具有合金组分的结构。

进一步，在本发明第二实施例中，所述量子点结构单元包含 II 族和 VI 族元素。所述 II 族元素包括但不限于 Zn、Cd、Hg、Cn 等；所述 VI 族元素包括但不限于 O、S、Se、Te、Po、Lv 等。具体地，每个量子点结构单元的

合金组分组成为 $Cd_xZn_{1-x}Se_yS_{1-y}$，其中 $0\leq x\leq 1$， $0\leq y\leq 1$，并且 x 和 y 不同时为 0 和不同时为 1。需说明的是上述情况是优选情况，对于渐变合金组分结构的量子点结构单元而言，其组分均为合金组分；而对于均一组分结构的量子点结构单元而言，其组分可以是合金组分，也可以是非合金组分，但本发明优选的是合金组分，即所述均一组分结构为均一合金组分结构，更优选的是，包含 II 族和 VI 族元素，本发明后续实施例均以均一合金组分结构为例进行说明，但显然，对于非合金的均一组分结构同样可以实施。

此处的径向方向是指从量子点材料的中心向外的方向，例如假设本发明的量子点材料为球形或类似球形结构，那么该径向方向即指沿半径的方向，量子点材料的中心（或内部）即指其物理结构的中心，量子点材料的表面（或外部）即指其物理结构的表面。通过采用所述具有渐变合金组分结构的量子点材料实现更加高效稳定的正置底发射 QLED 器件。本实施例中，所述量子点发光层 25 的厚度优选为 10-100nm。

本发明第三实施例中对衬底 21 的选择没有明确限制，可以采用硬质的玻璃基板，或者柔性的 PET 基板实现柔性器件的制备。

进一步地，请参阅图 4，本发明第四实施例提供的 QLED 器件基于第三实施例的正置底发射 QLED 器件，在所述透明阳极 22 与空穴传输层 24 之间设置有空穴注入层 23，通过加入空穴注入层 23 以提高空穴注入效率及迁移率，平衡空穴与电子之间的迁移率，使载流子发生辐射复合的几率大大增加，从而提高 QLED 发光亮度以及发光效率。

具体实施时，所述空穴注入层 23 的材料为 PEDOT:PSS、MoO_3、VO_2 或 WO_3，所述空穴注入层 23 的厚度为 10-250nm，优选为 30-50nm。

所述空穴传输层 24 的材料为 TFB、poly-TPD、PVK、NiO、MoO_3、NPB、CBP 中的至少一种，还可采用铜，铁，铝，镍掺杂的氧化钼，氧化镍，氧化钨，氧化钒等，所述空穴传输层 24 的厚度为 10-250nm。

所述电子传输层 26 的材料为 LiF、CsF、Cs_2CO_3、ZnO、TiO_2、WO_3、SnO_2、

AlZnO、ZnSnO、InSnO 等无机材料以及 Alq_3、TPBI(1，3，5-三(N-苯基苯并咪唑-2-基)苯)或 TAZ(3-(4-联苯基)-4-苯基-5-叔-丁基苯基-1，2，4-三唑) 等有机材料中的至少一种，还可采用 NDN1 掺杂的 NET5，OXD-7，以及铝，锂，铷，铯，钆，镁等掺杂的无机氧化物 ZnO，TiO_2 等，所述电子传输层 26 的厚度为 10-250nm。

优选地，本发明第三实施例提供的正置底发射 QLED 器件中，所述透明阳极 22 为图案化的 ITO，所述反射阴极 27 为铝电极或银电极，所述反射阴极 27 的厚度为 30-800nm，优选为 100-200nm，当然，上述图案化的 ITO 还可采用其他透明导电薄膜如 AZO、IZO 等。

请参阅图 5，本发明第五实施例提供的 QLED 器件为反置顶发射 QLED 器件，其包括依次叠层设置的衬底 31、反射阴极 32、电子传输层 34、量子点发光层 35、空穴传输层 36 及透明阳极 37，其中，所述量子点发光层 35 采用具有量子阱能级结构的量子点材料制备而成，所述量子点材料包括至少一个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，所述量子点结构单元为径向方向上能级宽度变化的渐变合金组分结构或径向方向上能级宽度一致的均一组分结构，所述量子点结构单元包括 2-20 层单原子层。

也就是说本发明第五实施例提供的反置顶发射 QLED 器件所采用的量子点材料中，每个量子点结构单元内部从内至外沿径向方向上任一位置上的一层单原子层或一层以上的单原子层范围内均为具有合金组分的结构。

进一步，在本发明第五实施例中，所述量子点结构单元包含 II 族和 VI 族元素。所述 II 族元素包括但不限于 Zn、Cd、Hg、Cn 等；所述 VI 族元素包括但不限于 O、S、Se、Te、Po、Lv 等。具体地，每个量子点结构单元的合金组分组成为 $Cd_xZn_{1-x}Se_yS_{1-y}$，其中 $0\leq x\leq 1$， $0\leq y\leq 1$，并且 x 和 y 不同时为 0 和不同时为 1。需说明的是上述情况是优选情况，对于渐变合金组分结构的量子点结构单元而言，其组分均为合金组分；而对于均一组分结构的量子点结构单元而言，其组分可以是合金组分，也可以是非合金组分，但本

发明优选的是合金组分，即所述均一组分结构为均一合金组分结构，更优选的是，包含 II 族和 VI 族元素，本发明后续实施例均以均一合金组分结构为例进行说明，但显然，对于非合金的均一组分结构同样可以实施。

此处的径向方向是指从量子点材料的中心向外的方向，例如假设本发明的量子点材料为球形或类似球形结构，那么该径向方向即指沿半径的方向，量子点材料的中心（或内部）即指其物理结构的中心，量子点材料的表面（或外部）即指其物理结构的表面。通过采用所述具有渐变合金组分结构的量子点材料实现更加高效稳定的反置顶发射 QLED 器件。本实施例中，所述量子点发光层 35 的厚度优选为 10-100nm。

本发明第五实施例中对衬底 31 的选择没有明确限制，可以采用硬质的玻璃基板，或者柔性的 PET 基板实现柔性器件的制备。

进一步地，请参阅图 6，本发明第六实施例提供的 QLED 器件基于第五实施例的反置顶发射 QLED 器件，在所述空穴传输层 36 与透明阳极 37 之间设置有空穴注入层 33，通过加入空穴注入层 33 以提高空穴注入效率及迁移率，平衡空穴与电子之间的迁移率，使载流子发生辐射复合的几率大大增加，从而提高 QLED 发光亮度以及发光效率。

具体实施时，所述空穴注入层 33 的材料为 PEDOT:PSS、MoO_3、VO_2 或 WO_3，所述空穴注入层 33 的厚度为 5-350nm，优选为 30-50nm。

所述空穴传输层 36 的材料为 TFB、poly-TPD、PVK、NiO、MoO_3、NPB、CBP 中的至少一种，还可采用铜，铁，铝，镍掺杂的氧化钼，氧化镍，氧化钨，氧化钒等，所述空穴传输层 36 的厚度为 10-350nm。

所述电子传输层 34 的材料为 LiF、CsF、Cs_2CO_3、ZnO、TiO_2、WO_3、SnO_2、AlZnO、ZnSnO、InSnO 等无机材料以及 Alq_3、TPBI(1，3，5-三(N-苯基苯并咪唑-2-基)苯)或 TAZ(3-(4-联苯基)-4-苯基-5-叔-丁基苯基-1，2，4-三唑) 等有机材料中的至少一种，还可采用 NDN1 掺杂的 NET5，OXD-7，以及铝，锂，铷，铯，钆，镁等掺杂的无机氧化物 ZnO，TiO_2 等，所述电子传输层 34 的厚度

为 10-350nm。

优选地，本发明第五实施例提供的反置顶发射 QLED 器件中，所述反射阴极 32 为铝电极或银电极，所述反射阴极的厚度为 30-800nm，优选为 100-200nm，所述透明阳极 37 为 ITO 或薄层金属电极，所述 ITO 的厚度为 20-300nm，所述薄层金属电极的厚度为 5-50nm，当然，上述 ITO 还可采用其他透明导电薄膜如 AZO、IZO 等。

请参阅图 7，本发明第七实施例提供的 QLED 器件为反置底发射 QLED 器件，其包括依次叠层设置的衬底 41、透明阴极 42、电子传输层 44、量子点发光层 45、空穴传输层 46 及反射阳极 47，其中，所述量子点发光层 45 采用具有量子阱能级结构的量子点材料制备而成，所述量子点材料包括至少一个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，所述量子点结构单元为径向方向上能级宽度变化的渐变合金组分结构或径向方向上能级宽度一致的均一组分结构。

也就是说本发明第七实施例提供的反置底发射 QLED 器件所采用的量子点材料中，每个量子点结构单元内部从内至外沿径向方向上任一位置上的一层单原子层或一层以上的单原子层范围内均为具有合金组分的结构。

进一步，在本发明第七实施例中，所述量子点结构单元包含 II 族和 VI 族元素。所述 II 族元素包括但不限于 Zn、Cd、Hg、Cn 等；所述 VI 族元素包括但不限于 O、S、Se、Te、Po、Lv 等。具体地，每个量子点结构单元的合金组分组成为 $Cd_xZn_{1-x}Se_yS_{1-y}$，其中 $0\leq x\leq 1$， $0\leq y\leq 1$，并且 x 和 y 不同时为 0 和不同时为 1。需说明的是上述情况是优选情况，对于渐变合金组分结构的量子点结构单元而言，其组分均为合金组分；而对于均一组分结构的量子点结构单元而言，其组分可以是合金组分，也可以是非合金组分，但本发明优选的是合金组分，即所述均一组分结构为均一合金组分结构，更优选的是，包含 II 族和 VI 族元素，本发明后续实施例均以均一合金组分结构为例进行说明，但显然，对于非合金的均一组分结构同样可以实施。

此处的径向方向是指从量子点材料的中心向外的方向，例如假设本发明的量子点材料为球形或类似球形结构，那么该径向方向即指沿半径的方向，量子点材料的中心（或内部）即指其物理结构的中心，量子点材料的表面（或外部）即指其物理结构的表面。通过采用所述具有渐变合金组分结构的量子点材料实现更加高效稳定的反置底发射 QLED 器件。本实施例中，所述量子点发光层 45 的厚度优选为 10-100nm。

本发明第七实施例中对衬底 41 的选择没有明确限制，可以采用硬质的玻璃基板，或者柔性的 PET 基板实现柔性器件的制备。

进一步地，请参阅图 8，本发明第八实施例提供的 QLED 器件基于第七实施例的反置底发射 QLED 器件，在所述空穴传输层 46 与反射阳极 47 之间设置有空穴注入层 43，通过加入空穴注入层 43 以提高空穴注入效率及迁移率，平衡空穴与电子之间的迁移率，使载流子发生辐射复合的几率大大增加，从而提高 QLED 发光亮度以及发光效率。

具体实施时，所述空穴注入层 43 的材料为 PEDOT:PSS、MoO_3、VO_2 或 WO_3，所述空穴注入层 43 的厚度为 5-450nm，优选为 30-50nm。

所述空穴传输层 46 的材料为 TFB、poly-TPD、PVK、NiO、MoO_3、NPB、CBP 中的至少一种，还可采用铜，铁，铝，镍掺杂的氧化钼，氧化镍，氧化钨，氧化钒等，所述空穴传输层 46 的厚度为 10-450nm。

所述电子传输层 44 的材料为 LiF、CsF、Cs_2CO_3、ZnO、TiO_2、WO_3、SnO_2、AlZnO、ZnSnO、InSnO 等无机材料以及 Alq_3、TPBI(1，3，5-三(N-苯基苯并咪唑-2-基)苯)或 TAZ(3-(4-联苯基)-4-苯基-5-叔-丁基苯基-1，2，4-三唑) 等有机材料中的至少一种，还可采用 NDN1 掺杂的 NET5，OXD-7，以及铝，锂，镧，铟，钆，镁等掺杂的无机氧化物 ZnO，TiO_2 等，所述电子传输层 44 的厚度为 10-450nm。

优选地，本发明第七实施例提供的反置底发射 QLED 器件中，所述透明阴极 42 为图案化的 ITO，所述反射阳极 47 为铝电极或银电极，所述反射阳

极 47 的厚度为 30-800nm，优选为 100-200nm，当然，上述图案化的 ITO 还可采用其他透明导电薄膜如 AZO、IZO 等。

下面对本发明量子点材料存在的结构做详细的说明：

具体地，如图 9 所示，本发明提供了一种具有漏斗型能级结构的量子点材料，位于所述量子点材料内部的量子点结构单元合金组成成分对应能级宽度小于位于外部的量子点结构单元合金组成成分对应能级宽度；具体地说，本发明提供的量子点材料包括至少一个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，所述量子点结构单元为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，且在径向方向上相邻的渐变合金组分结构的量子点结构单元的能级是连续的；后续实施例中将图 9 所示量子点材料的结构称为具体结构 1。图 9 中的量子点材料，各个相邻的量子点结构单元的能级宽度具有连续结构，即各个相邻的量子点结构单元的能级宽度具有连续变化的特点，而非突变结构，也就是说量子点的合成组分也是具有连续性，后续的连续结构原理相同。

进一步，在径向方向上相邻的量子点结构单元中，靠近中心的量子点结构单元的能级宽度小于远离中心的量子点结构单元的能级宽度；也就是说，所述的量子点材料中，从中心到表面的能级宽度是逐渐变宽的，从而形成开口逐渐变大的漏斗型结构，其中的开口逐渐变大是指如图 9 所示的能级结构中，从量子点材料中心到量子点材料表面的能级是连续的。同时，本发明中的量子点材料，各个相邻的量子点结构单元的能级是连续的，也就是说量子点的合成组分也具有连续变化的特性，这种特性更有利于实现高的发光效率。

也就是说，所述的量子点材料的具体结构 1 是具有从内到外沿径向方向的连续渐变合金组分的量子点结构；这种量子点结构在组成成分上具有从内到外沿径向方向连续变化的特点；相应的，在能级分布上也上具有从内到外沿径向方向连续变化的特点；这种量子点结构在组成成分上和能级

分布上连续变化的特点，相对于具有明确边界的量子点核和壳的关系，本发明的量子点材料不仅有利于实现更高效的发光效率，同时也更能满足半导体器件及相应显示技术对量子点材料的综合性能要求，是一种适合半导体器件及显示技术的理想量子点发光材料。

进一步，如图 9 所提供的量子点材料中，A 点的合金组分为 $Cd_{x0}^{A}Zn_{1-x0}^{A}Se_{y0}^{A}S_{1-y0}^{A}$，B 点的合金组分为 $Cd_{x0}^{B}Zn_{1-x0}^{B}Se_{y0}^{B}S_{1-y0}^{B}$，其中 A 点相对于 B 点更靠近量子点材料中心，且 A 点和 B 点的组成满足：$_{x0}^{A}\geq_{x0}^{B}$，$_{y0}^{A}\geq_{y0}^{B}$。也就是说，对于量子点材料中的任意两点 A 点和 B 点，且 A 点相对于 B 点更靠近量子点材料中心，那么 $_{x0}^{A}\geq_{x0}^{B}$，$_{y0}^{A}\geq_{y0}^{B}$，即 A 点的 Cd 含量大于 B 点的 Cd 含量，A 点的 Zn 含量小于 B 点的 Zn 含量，A 点的 Se 含量大于 B 点的 Se 含量，A 点的 S 含量小于 B 点的 S 含量。这样，在该量子点材料中，就在径向方向上形成了渐变结构，并且由于在径向方向上，越向外（即远离量子点材料中心）则 Cd 和 Se 含量越低，Zn 和 S 含量越高，那么根据这几种元素的特性，其能级宽度将会越宽。

后续不同具体结构的量子点材料中，若量子点结构单元为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，则其合金组分均优选为 $Cd_{x0}Zn_{1-x0}Se_{y0}S_{1-y0}$，其中，A 点的合金组分为 $Cd_{x0}^{A}Zn_{1-x0}^{A}Se_{y0}^{A}S_{1-y0}^{A}$，B 点的合金组分为 $Cd_{x0}^{B}Zn_{1-x0}^{B}Se_{y0}^{B}S_{1-y0}^{B}$，其中 A 点相对于 B 点更靠近量子点材料中心，且 A 点和 B 点的组成满足：$_{x0}^{A}>_{x0}^{B}$，$_{y0}^{A}>_{y0}^{B}$。若量子点结构单元为径向方向上越向外能级宽度越窄的渐变合金组分结构，则其合金组分均优选为 $Cd_{x0}Zn_{1-x0}Se_{y0}S_{1-y0}$，其中，C 点的合金组分为 $Cd_{x0}^{C}Zn_{1-x0}^{C}Se_{y0}^{C}S_{1-y0}^{C}$，D 点的合金组分为 $Cd_{x0}^{D}Zn_{1-x0}^{D}Se_{y0}^{D}S_{1-y0}^{D}$，其中 C 点相对于 D 点更靠近量子点材料中心，且 C 点和 D 点的组成满足：$_{x0}^{C}<_{x0}^{D}$，$_{y0}^{C}<_{y0}^{D}$。若量子点结构单元为均一合金组分结构（即径向方向上能级宽度一致），则其合金组分均优选为 $Cd_{x0}Zn_{1-x0}Se_{y0}S_{1-y0}$，其中，E 点的合金组分为 $Cd_{x0}^{E}Zn_{1-x0}^{E}Se_{y0}^{E}S_{1-y0}^{E}$，F 点的合金组分为 $Cd_{x0}^{F}Zn_{1-x0}^{F}Se_{y0}^{F}S_{1-y0}^{F}$，其中 E 点相对于 F 点更靠近量子点材料中心，

且 E 点和 F 点的组成满足：$x0^E=x0^F$，$y0^E=y0^F$。

进一步，如图 10 所示，本发明还提供一种具有内部合金组成成分对应能级宽度不大于外部合金组成成分对应能级宽度、且量子点结构最中心和最外部区域之间含有至少一层均一合金组分结构的量子点结构单元的量子点材料；也就是说，本发明提供的量子点材料包括至少三个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，其中，所述至少三个量子点结构单元中，位于中心和表面的量子点结构单元均为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，且在径向方向上相邻的渐变合金组分结构的量子点结构单元的能级是连续的，位于中心和表面的量子点结构单元之间的一个量子点结构单元为均一合金组分结构。后续实施例中将图 10 所示量子点材料的结构称为具体结构 2。

具体地，如图 10 提供的量子点材料中，所述位于中心和表面的量子点结构单元之间的一层均一合金组分结构的量子点结构单元上，任一点的合金组分为 $Cd_{x1}Zn_{1-x1}Se_{y1}S_{1-y1}$，其中 $0\le x1\le 1$，$0\le y1\le 1$，并且 x1 和 y1 不同时为 0 和不同时为 1，且 x1 和 y1 为固定值。例如某一点的合金组分为 $Cd_{0.5}Zn_{0.5}Se_{0.5}S_{0.5}$，而径向方向上另一点的合金组分也应为 $Cd_{0.5}Zn_{0.5}Se_{0.5}S_{0.5}$；又例如某一均一合金组分结构的量子点结构单元内某一点的均一组分为 $Cd_{0.7}Zn_{0.3}S$，而该量子点结构单元内另一点的合金组分也应为 $Cd_{0.7}Zn_{0.3}S$；又例如某一均一合金组分结构的量子点结构单元内某一点的均一组分为 CdSe，而该量子点结构单元内另一点的合金组分也应为 CdSe。

进一步，如图 10 提供的量子点材料中，位于中心和表面的量子点结构单元均为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，且在径向方向上相邻的渐变合金组分结构的量子点结构单元的能级是连续的；即在所述具有渐变合金组分结构的量子点结构单元中，沿径向方向上任一点的合金组成成分对应的能级宽度均要大于相邻的且更靠近量子点结构中心另一点的合金组成成分对应的能级宽度。所述具有渐变合金组分结构的量子

点结构单元中的合金组分组成为 $Cd_{x2}Zn_{1-x2}Se_{y2}S_{1-y2}$，其中 $0\leq x2\leq 1$，$0\leq y2\leq 1$，并且 x2 和 y2 不同时为 0 和不同时为 1。例如某一点的合金组分为 $Cd_{0.5}Zn_{0.5}Se_{0.5}S_{0.5}$，而另一点的合金组分为 $Cd_{0.3}Zn_{0.7}Se_{0.4}S_{0.6}$。

进一步，如图 11 所示，本发明还提供一种具有量子阱结构的全渐变合金组分的量子点材料；也就是说，本发明提供的量子点材料包括两种类型的量子点结构单元（A1 类型和 A2 类型），其中 A1 类型的量子点结构单元为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，A2 类型的量子点结构单元为径向方向上越向外能级宽度越窄的渐变合金组分结构，所述两种量子点结构单元沿径向方向依次交替分布，且在径向方向上相邻的量子点结构单元的能级是连续的。也就是说，所述量子点材料的量子点结构单元分布可以是：A1、A2、A1、A2、A1…，也可以是 A2、A1、A2、A1、A2…，即起始的量子点结构单元可以是 A1 类型，也可以是 A2 类型。在 A1 类型的量子点结构单元中，其能级宽度是越向外越宽，在 A2 类型的量子点结构单元中，其能级宽度是越向外越窄，这两种能级结构均犹如波浪线的形式在径向方向上延伸，后续实施例中将图 11 所示量子点材料的结构称为具体结构 3。

进一步，如图 12 所示，本发明还提供一种具有能级突变的量子阱结构的合金组分的量子点材料，具体地，所述量子点结构单元均为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，且相邻的量子点结构单元的能级是不连续的，即各个相邻的量子点结构单元的能级宽度具有非连续变化的特点，即突变特点，也就是说量子点的合金组分也是具有突变性，后续的突变结构原理相同；后续实施例中将图 12 所示量子点材料的结构称为具体结构 4。

具体地，图 12 所述的量子点材料，是由多个量子点结构单元通过突变的方式依次排布构成，这些量子点结构单元均为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构。进一步，所述量子点材料中，靠近中心的量

子点结构单元的能级宽度小于远离中心的量子点结构单元的能级宽度。也就是说，所述的量子点材料中，从中心到表面的能级宽度是逐渐变宽的，从而形成间断的开口逐渐变大的漏斗型结构，当然，所述的量子点材料中，也并不限于上述方式，即远离中心的量子点结构单元的能级宽度也可以小于靠近中心的量子点结构单元的能级宽度，这种结构中，相邻的量子点结构单元的能级宽度有交错重叠的地方。

进一步，如图 13 所示，本发明还提供另一种具有能级突变的量子阱结构的合金组分的量子点材料，具体地，所述量子点结构单元均为径向方向上越向外能级宽度越窄的渐变合金组分结构，且相邻的量子点结构单元的能级是不连续的，即各个相邻的量子点结构单元的能级宽度具有非连续变化的特点，即突变特点，也就是说量子点的合金组分也是具有突变性，后续的突变结构原理相同；后续实施例中将图 13 所示量子点材料的结构称为具体结构 5。

具体地，图 13 所述的量子点材料，是由多个量子点结构单元通过突变的方式依次排布构成，这些量子点结构单元均为径向方向上越向外能级宽度越窄的渐变合金组分结构。进一步，所述量子点材料中，靠近中心的量子点结构单元的能级宽度大于远离中心的量子点结构单元的能级宽度。也就是说，所述的量子点材料中，从中心到表面的能级宽度是逐渐变窄的，从而形成间断的开口逐渐变小的漏斗型结构，当然，所述的量子点材料中，也并不限于上述方式，即远离中心的量子点结构单元的能级宽度也可以大于靠近中心的量子点结构单元的能级宽度，这种结构中，相邻的量子点结构单元的能级宽度有交错重叠的地方。

进一步，如图 14 所示，本发明还提供一种量子点材料，位于所述量子点材料内部的合金组成成分的能级宽度由中心到外部逐渐变大，且量子点结构最外部区域为均一合金组分；具体地，所述量子点材料包括两种量子点结构单元（A3 类型和 A4 类型），其中，A3 类型的量子点结构单元为径向

方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，A4 类型的量子点结构单元为均一合金组分结构，所述量子点材料的内部包括一个或一个以上的渐变合金组分结构的量子点结构单元，且在径向方向上相邻的渐变合金组分结构的量子点结构单元的能级是连续的；所述量子点材料的外部包括一个或一个以上的均一合金组分结构的量子点结构单元；后续实施例中将图 14 所示量子点材料的结构称为具体结构 6。

具体地，如图 14 所示的量子点材料中，其量子点结构单元的分布为 A3…A3A4…A4，即所述量子点材料的内部是由 A3 类型的量子点结构单元组成，所述量子点材料的外部是由 A4 类型的量子点结构单元组成，且 A3 类型的量子点结构单元的数量和 A4 类型的量子点结构单元的数量均大于等于 1。

进一步，如图 15 所示，本发明还提供另一种量子点材料，位于所述量子点材料内部的合金组成成分的能级宽度为均一的，位于所述量子点外部的合金组成成分的能级宽度由中心到外部为逐渐变大；具体地，所述量子点材料包括两种量子点结构单元（A5 类型和 A6 类型），其中，A5 类型的量子点结构单元为均一合金组分结构，A6 类型的量子点结构单元为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，所述量子点材料的内部包括一个或一个以上的均一合金组分结构的量子点结构单元，所述量子点材料的外部包括一个或一个以上的渐变合金组分结构的量子点结构单元，且在径向方向上相邻的渐变合金组分结构的量子点结构单元的能级是连续的；后续实施例中将图 15 所示量子点材料的结构称为具体结构 7。

具体地，如图 15 所示的量子点材料中，其单原子层的分布为 A5…A5A6…A6，即所述量子点材料的内部是由 A5 类型的量子点结构单元组成，所述量子点材料的外部是由 A6 类型的量子点结构单元组成，且 A5 类型的量子点结构单元的数量和 A6 类型的量子点结构单元的数量均大于等于 1。

进一步，本发明所提供的量子点结构单元包括 2-20 层的单原子层。优选的，所述量子点结构单元包括 2-5 个单原子层，优选的层数能够保证量子点实现良好的发光量子产率以及高效的电荷注入效率。

进一步，所述量子点发光单元包括 1-10 层晶胞层，优选 2-5 层晶胞层；所述晶胞层为最小结构单元，即每一层的晶胞层其合金组分均是固定的，即每一晶胞层内具有相同晶格参数和元素，每一量子点结构单元均为晶胞层连接而构成的封闭晶胞曲面，相邻晶胞层之间的能级宽度具有连续结构或者突变结构。

本发明采用上述结构的量子点材料，能够实现的发光量子产率范围为 1%至 100%，优选的发光量子产率范围为 30%至 100%，优选的发光量子产率范围内能够保证量子点的良好应用性。

其中，所述量子点材料的发光峰波长范围为 400 纳米至 700 纳米。

本发明采用上述结构的量子点材料，能够实现的发光峰波长范围为 400 纳米至 700 纳米，优选的发光峰波长范围为 430 纳米至 660 纳米，优选的量子点发光峰波长范围能够保证量子点材料在此范围内实现大于 30%的发光量子产率。

进一步，在本发明中，所述量子点材料的发光峰的半高峰宽为 12 纳米至 80 纳米。

本发明所采用的量子点材料具有如下有益效果：第一，有助于最大程度上减少不同合金组分的量子点晶体间的晶格张力并缓解晶格失配，从而减少了界面缺陷的形成，提高了量子点的发光效率。第二，本发明所提供的量子点材料所形成的能级结构更有利于对量子点中电子云的有效束缚，大大减少电子云向量子点表面的扩散几率，从而极大地抑制了量子点无辐射跃迁的俄歇复合损失，减少量子点闪烁并提高量子点发光效率。第三，本发明所提供的量子点材料所形成的能级结构更有利于提高 QLED 器件中量子点发光层电荷的注入效率和传输效率；同时能够有效避免电荷的聚集

以及由此产生的激子淬灭。第四，本发明所提供的量子点材料所形成的易于控制的多样性能级结构能够充分满足并配合器件中其他功能层的能级结构，以实现器件整体能级结构的匹配，从而有助于实现高效的 QLED 器件。

本发明还提供一种如上所述的量子点材料的制备方法，其中，包括步骤:

在预定位置处合成第一种化合物;

在第一种化合物的表面合成第二种化合物，所述第一种化合物与所述第二种化合物的合金组分相同或者不同;

使第一种化合物和第二种化合物体之间发生阳离子交换反应形成量子点材料，所述量子点的发光峰波长出现蓝移、红移和不变中的一种或多种。

本发明的制备方法将量子点 SILAR 合成法结合量子点一步合成法生成量子点，具体为利用量子点 SILAR 合成法精确控制量子点逐层生长以及利用量子点一步合成法形成渐变组分过渡壳。即在预定位置处先后形成两层具有相同或者不同合金组分的化合物薄层，通过使两层化合物之间发生阳离子交换反应，从而实现在预定位置处的合金组分分布。重复以上过程可以不断实现在径向方向预定位置处的合金组分分布。

所述的第一种化合物和第二种化合物可以是二元或者二元以上化合物。

进一步，当所述量子点的发光峰波长出现蓝移时，说明发光峰向短波方向移动，能级宽度变宽；当所述量子点的发光峰波长出现红移时，代表发光峰向长波方向移动，能级宽度变窄；当所述量子点的发光峰波长不变时，说明能级宽度不变。

所述第一种化合物和/或所述第二种化合物的阳离子前驱体包括: Zn 的前驱体，所述 Zn 的前驱体为二甲基锌(dimethyl Zinc)、二乙基锌(diethyl Zinc)、醋酸锌（ Zinc acetate)、乙酰丙酮锌（ Zinc acetylacetonate)、碘化锌（ Zinc iodide)、溴化锌(Zinc bromide)、氯化锌(Zinc chloride)、氟化锌(Zinc fluoride)、碳酸锌（ Zinc carbonate)、氰化锌（ Zinc cyanide)、硝酸锌（ Zinc nitrate)、

氧化锌（Zinc oxide）、过氧化锌（Zinc peroxide）、高氯酸锌（Zinc perchlorate）、硫酸锌（Zinc sulfate）、油酸锌（Zinc oleate）或硬脂酸锌（Zinc stearate）等中的至少一种，但不限于此。

所述第一种化合物和/或所述第二种化合物的阳离子前驱体包括 Cd 的前驱体，所述 Cd 的前驱体为二甲基镉（dimethyl cadmium）、二乙基镉（diethyl cadmium）、醋酸镉（cadmium acetate）、乙酰丙酮镉（cadmium acetylacetonate）、碘化镉（cadmium iodide）、溴化镉（cadmium bromide）、氯化镉（cadmium chloride）、氟化镉（cadmium fluoride）、碳酸镉（cadmium carbonate）、硝酸镉（cadmium nitrate）、氧化镉（cadmium oxide）、高氯酸镉（cadmium perchlorate）、磷酸镉（cadmium phosphide）、硫酸镉（cadmium sulfate）、油酸镉（cadmium oleate）或硬脂酸镉（cadmium stearate）等中的至少一种，但不限于此。

所述第一种化.合物和/或所述第二种化合物的阴离子前驱体包括 Se 的前驱体，例如 Se 与一些有机物任意组合所形成的化合物，具体是 Se-TOP (selenium-trioctylphosphine)、Se-TBP (selenium-tributylphosphine)、Se-TPP (selenium-triphenylphosphine)、Se-ODE (selenium-1-octadecene)、Se-OA (selenium-oleic acid)、Se-ODA (selenium-octadecylamine)、Se-TOA (selenium-trioctylamine)、Se-ODPA (selenium-octadecylphosphonic acid) 或 Se-OLA (selenium-oleylamine)等中的至少一种，但不限于此。

所述第一种化合物和/或所述第二种化合物的阴离子前驱体包括 S 的前驱体，例如 S 与一些有机物任意组合所形成的化合物，具体是 S-TOP(sulfur-trioctylphosphine，)、S-TBP(sulfur-tributylphosphine)、S-TPP(sulfur-triphenylphosphine)、S-ODE (sulfur-1-octadecene)、S-OA (sulfur-oleic acid)、S-ODA(sulfur-octadecylamine)、S-TOA(sulfur-trioctylamine)、S-ODPA(sulfur-octadecylphosphonic acid)或 S-OLA(sulfur-oleylamine)等中的至少一种，但不限于此；所述 S 的前驱体为烷基硫醇(alkyl thiol)，所述烷基硫

醇是己硫醇(hexanethiol)、辛硫醇(octanethiol)、癸硫醇(decanethiol)、十二烷基硫醇(dodecanethiol)、十六烷基硫醇(hexadecanethiol) or 巯丙基硅烷(mercaptopropylsilane)等中的至少一种，但不限于此。

所述第一种化合物和/或所述第二种化合物的阴离子前驱体还包括 Te 的前驱体，所述 Te 的前驱体为 Te-TOP、Te-TBP、Te-TPP、Te-ODE、Te-OA、Te-ODA、Te-TOA、Te-ODPA 或 Te-OLA 中的至少一种。

在本发明的制备方法中，发生阳离子交换反应的条件是进行加热反应，例如加热温度在 100℃至 400℃之间，优选的加热温度为 150℃至 380℃之间。加热时间在 2s 至 24h 之间，优选的加热时间为 5min 至 4h 之间。

上述阳离子前躯体和阴离子前驱体可以根据最终的纳米晶体组成来确定选择其中的一种或几种：例如需要合成 $Cd_xZn_{1-x}Se_yS_{1-y}$ 的纳米晶体时，则需要 Cd 的前驱体、Zn 的前驱体、Se 的前驱体、S 的前驱体；如需要合成 $Cd_xZn_{1-x}S$ 的纳米晶体时，则需要 Cd 的前驱体、Zn 的前驱体、S 的前驱体；如需要合成 $Cd_xZn_{1-x}Se$ 的纳米晶体时，则需要 Cd 的前驱体、Zn 的前驱体、Se 的前驱体。

加热温度越高，阳离子交换反应的速率越快，阳离子交换的厚度范围和交换程度也越大，但厚度和程度范围会逐渐达到相对饱和的程度；类似的，加热时间越长，阳离子交换的厚度范围和交换程度也越大，但厚度和程度范围也会逐渐达到相对饱和的程度。阳离子交换的厚度范围和程度直接决定了所形成的渐变合金组分分布。阳离子交换所形成的渐变合金组分分布同时也由各自所形成的二元或者多元化合物纳米晶体的厚度所决定。

在形成各层化合物时，阳离子前驱体与阴离子前驱体的摩尔比可以为 100:1 到 1:50（具体为阳离子与阴离子的摩尔投料比），例如在形成第一层化合物时，阳离子前驱体与阴离子前驱体的摩尔比为 100:1 到 1:50；在形成第二层化合物时，阳离子前驱体与阴离子前驱体的摩尔比为 100:1 到 1:50，优选的比例为 20:1 到 1:10，优选的阳离子前驱体与阴离子前驱体的摩尔比

例可以保证反应速率在易于控制的范围内。

通过上述制备方法所制备的量子点材料，其发光峰波长范围为 400 纳米至 700 纳米，优选的发光峰波长范围为 430 纳米至 660 纳米，优选的量子点发光峰波长范围能够保证量子点在此范围内实现大于 30%的发光量子产率。

以上制备方法所制备的量子点材料，发光量子产率范围为 1%至 100%，优选的发光量子产率范围为 30%至 100%，优选的发光量子产率范围内能够保证量子点的良好应用性。

进一步，在本发明中，所述量子点材料的发光峰的半高峰宽为 12 纳米至 80 纳米。

除了按照上述制备方法制备本发明的量子点材料之外，本发明还提供另外一种如上所述的量子点材料的制备方法，其包括步骤:

在径向方向上预定位置处加入一种或一种以上阳离子前驱体；在一定条件下同时加入一种或一种以上的阴离子前驱体，使阳离子前驱体与阴离子前驱体进行反应形成量子点材料，并且所述量子点材料的发光峰波长在反应过程中出现蓝移、红移和不变中的一种或几种，从而实现在预定位置处的合金组分分布。

对于此种方发法与前一种方法的不同在于，前一种是先后形成两层化合物，然后发生阳离子交换反应，从而实现本发明所需合金组分分布，而后一种方法是直接控制在预定位置处加入所需合成合金组分的阳离子前驱体和阴离子前驱体，进行反应形成量子点材料，从而实现本发明所需合金组分分布。对于后一种方法，反应原理是反应活性高的阳离子前驱体和阴离子前驱体先发生反应，反应活性低的阳离子前驱体和阴离子前驱体后发生反应，并且在反应过程中，不同的阳离子发生阳离子交换反应，从而实现本发明所需合金组分分布。至于阳离子前驱体与阴离子前驱体的种类在前述方法中已有详述。至于反应温度、反应时间和配比等可根据具体所需

合成的量子点材料不同而有所不同，其与前述的前一种方法大体相同，后续以具体实施例进行说明。

以下举具体实施例对本发明提供的 QLED 器件及其采用的量子点材料进行进一步说明。

实施例 1：基于 CdZnSeS/CdZnSeS 量子点的制备

先将阳离子 Cd 的前驱体、阳离子 Zn 的前驱体、阴离子 Se 的前驱体和阴离子 S 的前驱体注入到反应体系中，形成 $Cd_yZn_{1-y}Se_bS_{1-b}$ 层（其中 $0\leq y\leq 1$，$0\leq b\leq 1$）；继续将阳离子 Cd 的前驱体、阳离子 Zn 的前驱体、阴离子 Se 的前驱体和阴离子 S 的前驱体注入到反应体系中，在上述 $Cd_yZn_{1-y}Se_bS_{1-b}$ 层表面形成 $Cd_zZn_{1-z}Se_cS_{1-c}$ 层（其中 $0\leq z\leq 1$，且 z 不等于 y，$0\leq c\leq 1$）；在一定的加热温度和加热时间等反应条件下，发生内外层纳米晶体（即上述两层化合物）中 Cd 与 Zn 离子的互换；由于阳离子的迁移距离有限且越远的迁移距离发生迁移的机率就越小，因此会在 $Cd_yZn_{1-y}Se_bS_{1-b}$ 层与 $Cd_zZn_{1-z}Se_cS_{1-c}$ 层的界面附近形成 Cd 含量和 Zn 含量的渐变合金组分分布，即 $Cd_xZn_{1-x}Se_aS_{1-a}$，其中 $0\leq x\leq 1$，$0\leq a\leq 1$。

实施例 2：基于 CdZnS/CdZnS 量子点的制备

先将阳离子 Cd 的前驱体、阳离子 Zn 的前驱体以及阴离子 S 的前驱体注入到反应体系中，先形成 $Cd_yZn_{1-y}S$ 层（其中 $0\leq y\leq 1$）；继续将阳离子 Cd 的前驱体、阳离子 Zn 的前驱体以及阴离子 S 的前驱体注入到反应体系中，会在上述 $Cd_yZn_{1-y}S$ 层表面形成 $Cd_zZn_{1-z}S$ 层（其中 $0\leq z\leq 1$，且 z 不等于 y）；在一定的加热温度和加热时间等反应条件下，发生内外层纳米晶体（即上述两层化合物）中 Cd 与 Zn 离子的互换；由于阳离子的迁移距离有限且越远的迁移距离发生迁移的机率就越小，因此会在 $Cd_yZn_{1-y}S$ 层与 $Cd_zZn_{1-z}S$ 层的界面附近形成 Cd 含量和 Zn 含量的渐变合金组分分布，即 $Cd_xZn_{1-x}S$，其中 $0\leq x\leq 1$。

实施例 3：基于 CdZnSe/CdZnSe 量子点的制备

先将阳离子 Cd 的前驱体、阳离子 Zn 的前驱体以及阴离子 Se 的前驱体注入到反应体系中先形成 $Cd_yZn_{1-y}Se$ 层（其中 $0\leq y\leq 1$）；继续将阳离子 Cd 的前驱体、阳离子 Zn 的前驱体以及阴离子 Se 的前驱体注入到反应体系中，会在上述 $Cd_yZn_{1-y}Se$ 层表面形成 $Cd_zZn_{1-z}Se$ 层（其中 $0\leq z\leq 1$，且 z 不等于 y）；在一定的加热温度和加热时间等反应条件下，发生内外层纳米晶体中 Cd 与 Zn 离子的互换；由于阳离子的迁移距离有限且越远的迁移距离发生迁移的机率就越小，因此会在 $Cd_yZn_{1-y}Se$ 层与 $Cd_zZn_{1-z}Se$ 层的界面附近形成 Cd 含量和 Zn 含量的渐变合金组分分布，即 $Cd_xZn_{1-x}Se$，其中 $0\leq x\leq 1$。

实施例 4：基于 CdS/ZnS 量子点的制备

先将阳离子 Cd 的前驱体和阴离子 S 的前驱体注入到反应体系中，先形成 CdS 层；继续将阳离子 Zn 的前驱体和阴离子 S 的前驱体注入到反应体系中，会在上述 CdS 层表面形成 ZnS 层；在一定的加热温度和加热时间等反应条件下，外层的 Zn 阳离子会逐渐向内层迁移，并与 Cd 阳离子发生阳离子交换反应，即 Cd 离子向外层迁移，发生了 Cd 与 Zn 离子的互换；由于阳离子的迁移距离有限且越远的迁移距离发生迁移的机率就越小，因此会在 CdS 层与 ZnS 层的界面附近形成 Cd 含量沿着径向向外逐渐减少、Zn 含量沿着径向向外逐渐增加的渐变合金组分分布，即 $Cd_xZn_{1-x}S$，其中 $0\leq x\leq 1$ 且 x 自内向外（径向方向）从 1 单调递减为 0。

实施例 5：基于 CdSe/ZnSe 量子点的制备

先将阳离子 Cd 的前驱体和阴离子 Se 的前驱体注入到反应体系中先形成 CdSe 层；继续将阳离子 Zn 的前驱体和阴离子 Se 的前驱体注入到反应体系中，会在上述 CdSe 层表面形成 ZnSe 层；在一定的加热温度和加热时间等反应条件下，外层的 Zn 阳离子会逐渐向内层迁移，并与 Cd 阳离子发生阳离子交换反应，即 Cd 离子向外层迁移，发生了 Cd 与 Zn 离子的互换；由于阳离子的迁移距离有限且越远的迁移距离发生迁移的机率就越小，因此会在 CdSe 层与 ZnSe 层的界面附近形成 Cd 含量沿着径向向外逐渐减少、Zn

含量沿着径向向外逐渐增加的渐变合金组分分布，即 $Cd_xZn_{1-x}Se$，其中 $0\leq x\leq 1$ 且 x 自内向外（径向方向）从 1 单调递减为 0。

实施例 6：基于 CdSeS/ZnSeS 量子点的制备

先将阳离子 Cd 的前驱体、阴离子 Se 的前驱体以及阴离子 S 的前驱体注入到反应体系中先形成 $CdSe_bS_{1-b}$ 层（其中 $0\leq b\leq 1$）；继续将阳离子 Zn 的前驱体、阴离子 Se 的前驱体以及阴离子 S 的前驱体注入到反应体系中，会在上述 $CdSe_bS_{1-b}$ 层表面形成 $ZnSe_cS_{1-c}$ 层（其中 $0\leq c\leq 1$）；在一定的加热温度和加热时间等反应条件下，外层的 Zn 阳离子会逐渐向内层迁移，并与 Cd 阳离子发生阳离子交换反应，即 Cd 离子向外层迁移，发生了 Cd 与 Zn 离子的互换；由于阳离子的迁移距离有限且越远的迁移距离发生迁移的机率就越小，因此会在 $CdSe_bS_{1-b}$ 层与 $ZnSe_cS_{1-c}$ 层的界面附近形成 Cd 含量沿着径向向外逐渐减少、Zn 含量沿着径向向外逐渐增加的渐变合金组分分布，即 $Cd_xZn_{1-x}Se_aS_{1-a}$，其中 $0\leq x\leq 1$ 且 x 自内向外（径向方向）从 1 单调递减为 0，$0\leq a\leq 1$。

实施例 7：基于 ZnS/CdS 量子点的制备

先将阳离子 Zn 的前驱体和阴离子 S 的前驱体注入到反应体系中先形成 ZnS 层；继续将阳离子 Cd 的前驱体和阴离子 S 的前驱体注入到反应体系中，会在上述 ZnS 层表面形成 CdS 层；在一定的加热温度和加热时间等反应条件下，外层的 Cd 阳离子会逐渐向内层迁移，并与 Zn 阳离子发生阳离子交换反应，即 Zn 离子向外层迁移，发生了 Cd 与 Zn 离子的互换；由于阳离子的迁移距离有限且越远的迁移距离发生迁移的机率就越小，因此会在 ZnS 层与 CdS 层的界面附近形成 Zn 含量沿着径向向外逐渐减少、Cd 含量沿着径向向外逐渐增加的渐变合金组分分布，即 $Cd_xZn_{1-x}S$，其中 $0\leq x\leq 1$ 且 x 自内向外（径向方向）从 0 单调递增为 1。

实施例 8：基于 ZnSe/CdSe 量子点的制备

先将阳离子 Zn 的前驱体和阴离子 Se 的前驱体注入到反应体系中先形

成 ZnSe 层；继续将阳离子 Cd 的前驱体和阴离子 Se 的前驱体注入到反应体系中，会在上述 ZnSe 层表面形成 CdSe 层；在一定的加热温度和加热时间等反应条件下，外层的 Cd 阳离子会逐渐向内层迁移，并与 Zn 阳离子发生阳离子交换反应，即 Zn 离子向外层迁移，发生了 Cd 与 Zn 离子的互换；由于阳离子的迁移距离有限且越远的迁移距离发生迁移的机率就越小，因此会在 ZnSe 层与 CdSe 层的界面附近形成 Zn 含量沿着径向向外逐渐减少、Cd 含量沿着径向向外逐渐增加的渐变合金组分分布，即 $Cd_xZn_{1-x}Se$，其中 $0\leq x\leq 1$ 且 x 自内向外（径向方向）从 0 单调递增为 1。

实施例 9：基于 ZnSeS/CdSeS 量子点的制备

先将阳离子 Zn 的前驱体、阴离子 Se 的前驱体以及阴离子 S 的前驱体注入到反应体系中先形成 $ZnSe_bS_{1-b}$ 层（其中 $0\leq b\leq 1$）；继续将阳离子 Cd 的前驱体、阴离子 Se 的前驱体以及阴离子 S 的前驱体注入到反应体系中，会在上述 ZnSebS1-b 层表面形成 $CdSe_cS_{1-c}$ 层（其中 $0\leq c\leq 1$）；在一定的加热温度和加热时间等反应条件下，外层的 Cd 阳离子会逐渐向内层迁移，并与 Zn 阳离子发生阳离子交换反应，即 Zn 离子向外层迁移，发生了 Cd 与 Zn 离子的互换；由于阳离子的迁移距离有限且越远的迁移距离发生迁移的机率就越小，因此会在 $ZnSe_bS_{1-b}$ 层与 $CdSe_cS_{1-c}$ 层的界面附近形成 Zn 含量沿着径向向外逐渐减少、Cd 含量沿着径向向外逐渐增加的渐变合金组分分布，即 $Cd_xZn_{1-x}Se_aS_{1-a}$，其中 $0\leq x\leq 1$ 且 x 自内向外从 0 单调递增为 1，$0\leq a\leq 1$。

实施例 10：具有具体结构 1 的蓝色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 1 mmol 氧化镉（CdO），9 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，8 mL 油酸（Oleic acid），和 15 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 2 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的十八烯（1-Octadecene）中，得到硫十八烯前驱体。

将 6 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硫化三辛基膦前驱体。

将 0.6 mmol 氧化镉（CdO），0.6 mL 油酸（Oleic acid）和 5.4 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，在氮气氛围下 250℃加热回流 120 min，得到透明的油酸镉前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硫十八烯前驱体快速注入到反应体系中，反应 10 min 后，将硫化三辛基膦前驱体和油酸镉前驱体分别以 3 mL/h 和 10 mL/h 的速率逐滴加入到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，然后离心提纯，得到具有具体结构 1 的蓝色量子点（$Cd_xZn_{1-x}S$）。

实施例 21：具有具体结构 1 的绿色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 0.4 mmol 氧化镉（CdO），8 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，10 mL 油酸（Oleic acid）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 2 mmol 硒粉（Selenium powder），4 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 4 mL 的三辛基膦（Trio ctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体。

将 2 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 2 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硫化三辛基膦前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体快速注入到反应体系中，先生成 $Cd_xZn_{1-x}Se_yS_{1-y}$，反应 10 min 后，将 2mL 的硫化三辛基膦前驱体以 8 mL/h 的速率逐滴加入到反应体系中，直至前驱体注入完。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有具体结构 1 的绿色量子点（$Cd_xZn_{1-x}Se_yS_{1-y}/Cd_zZn_{1-z}S$），此处“/”的前面代表所制备的绿色

量子点的内部的组成，“/”的后面则代表所制备的绿色量子点外部的组成，并且“/”代表的并不是明显的界限，而是从内到外渐变的结构，后续出现的这种量子点表示方法含义相同。

实施例 12：具有具体结构 1 的红色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 0.8 mmol 氧化镉（CdO），12 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，14 mL 油酸（Oleic acid）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 2 mmol 硒粉（Selenium powder）在 4 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦前驱体。

将 0.2 mmol 硒粉（Selenium powder），0.6 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 2 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硒化三辛基膦前驱体快速注入到反应体系中，先生成 $Cd_xZn_{1-x}Se$，反应 10 min 后，将 2mL 的硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体以 4 mL/h 的速率逐滴加入到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有具体结构 1 的红色荧光量子点（$Cd_xZn_{1-x}Se_yS_{1-y}/CdzZn_{1-z}S$）。

实施例 13：油酸镉注入速率对具有具体结构 1 的蓝色量子点合成的影响

在实施例 10 的基础上，通过调节油酸镉的注入速率可以调控量子点组分的梯度变化的斜率，从而影响其能级结构，最终实现对量子点发光波长的调控。

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 1 mmol 氧化镉（CdO），9 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，8 mL 油酸（Oleic acid），和 15 mL 十八烯（1-Octadecene）置

于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 2 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的十八烯（1-Octadecene）中，得到硫十八烯前驱体。

将 6 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硫化三辛基膦前驱体。

将 0.6 mmol 氧化镉（CdO），0.6 mL 油酸（Oleic acid）和 5.4 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，在氮气氛围下 250℃加热回流 120 min，得到透明的油酸镉前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硫十八烯前驱体快速注入到反应体系中，先生成 $Cd_xZn_{1-x}S$，反应 10 min 后，将硫化三辛基膦前驱体以 3 mL/h 速率逐滴加入到反应体系中，同时将油酸镉前驱体以不同的注入速率逐滴加入到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有能级结构 1 的蓝色量子点（$Cd_xZn_{1-x}S/Cd_yZn_{1-y}S$）。

基于相同的量子点中心（合金量子点发光峰 447nm）及不同油酸镉前驱体的注入速率下，量子点发光波长调控的列表如下:

油酸镉注入速率（mmol/h）	发光波长（nm）
0.5	449
0.75	451
1	453
1.25	455
1.5	456

实施例 14：油酸镉注入量对具有具体结构 1 的蓝色量子点合成的影响

在实施例 10 和实施例 13 的基础上，通过调节油酸镉前驱体的注入量，

可以调控量子点的成分的梯度变化的区间，从而影响其能级结构的变化，最终实现对量子点发光波长的调控。基于相同的量子点中心（合金量子点发光峰 447nm）及不同油酸镉前驱体的注入量（相同注入速率下 1 mmol/h）速率下，量子点发光波长调控的列表如下。

油酸镉注入量（mmol）	发光波长（nm）
0.4	449
0.5	451
0.6	453
0.8	454
1.0	455

实施例 15：具有具体结构 2 的蓝色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 1 mmol 氧化镉（CdO），9 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，8 mL 油酸（Oleic acid）和 15 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 2 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的十八烯（1-Octadecene）中，得到硫十八烯前驱体。

将 6 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硫化三辛基膦前驱体。

将 0.6 mmol 氧化镉（CdO），0.6 mL 油酸（Oleic acid）和 5.4 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，在氮气氛围下 250℃加热回流 120 min，得到透明的油酸镉前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硫十八烯前驱体快速注入到反应体系中，先生成 $Cd_xZn_{1-x}S$，反应 10 min 后，将反应体系温度降至 280℃，接着将 2mL 的硫化三辛基膦前驱体和 6mL 油酸镉前驱

体分别以 3 mL/h 和 10mL/h 的速率同时注入到反应体系中。注入 40 min 后，将反应体系温度升温至 310℃，将 1mL 硫化三辛基膦前驱体以 3 mL/h 的速率注入到反应体系中，反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具体结构 2 的蓝色量子点。

实施例 16：具有具体结构 2 的绿色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 0.4 mmol 氧化镉（CdO），8 mmol 乙酸锌[Zn(acet)2]，10 mL 油酸（Oleic acid）和 20 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 2 mmol 硒粉（Selenium powder），4 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 4mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体。

将 2mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 2mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硫化三辛基膦前驱体。

将 0.6 mmol 氧化镉（CdO），0.6 mL 油酸（Oleic acid）和 5.4 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，在氮气氛围下 250℃加热回流 120 min，得到透明的油酸镉前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体快速注入到反应体系中，先生成 $Cd_xZn_{1-x}Se_yS_{1-y}$，反应 10 min 后，将反应体系温度降至 280℃，接着将 1.2mL 的硫化三辛基膦前驱体和 6mL 油酸镉前驱体分别以 2 mL/h 和 10mL/h 的速率注入到反应体系中，直至前驱体注入完。将反应体系温度升温至 310℃，将 0.8 mL 硫化三辛基膦前驱体以 2 mL/h 的速率注入到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有具体结构 2 的绿色量子点。

实施例 17：具有具体结构 2 的红色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 0.8 mmol 氧化镉（CdO），12 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，14 mL 油酸（Oleic acid）和 20 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 2 mmol 硒粉（Selenium powder）在 4mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦前驱体。

将 0.2 mmol 硒粉（Selenium powder），0.6 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 2mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体。

将 0.3 mmol 氧化镉（CdO），0.3mL 油酸（Oleic acid）和 2.7 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 50 mL 三口烧瓶中，在氮气氛围下 250℃加热回流 120 min，得到透明的油酸镉前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硒化三辛基膦前驱体快速注入到反应体系中，先生成 $Cd_xZn_{1-x}Se$，反应 10 min 后，将反应体系温度降至 280℃，接着将 1mL 硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体和 3mL 油酸镉前驱体分别以 2 mL/h 和 6 mL/h 的速率注入到反应体系中。将反应体系温度升温至 310℃，将 1mL 硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体以 4 mL/h 的速率注入到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有具体结构 2 的红色量子点。

实施例 18：具有具体结构 3 的蓝色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 1 mmol 氧化镉（CdO），9 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，8 mL 油酸（Oleic acid），和 15 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 2 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的十八烯（1-Octadecene）

中，得到硫十八烯前驱体。

将 6 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硫化三辛基膦前驱体。

将 0.2 mmol 硒粉（Selenium powder）溶解在 1 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦前驱体。

将 0.6 mmol 氧化镉（CdO），0.6 mL 油酸（Oleic acid）和 5.4 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，在氮气氛围下 250℃加热回流 120 min，得到透明的油酸镉前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硫十八烯前驱体快速注入到反应体系中，先生成 $Cd_xZn_{1-x}S$，反应 10 min 后，将油酸镉前驱体和硫化三辛基膦前驱体分别以 0.6 mmol/h、4 mmol/h 的速率连续注入 20 min 到反应体系中。随后将油酸镉前驱体、硫化三辛基膦前驱体和硒化三辛基膦前驱体分别以 0.4 mmol/h、0.6 mmol/h 和 0.2 mmol/h 的速率连续注入 1 h 到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有量子阱能级结构（具体结构 3）的蓝色量子点($CdZnS/CdZnS/CdZnSeS_3$)。

实施例 19：具有具体结构 3 的绿色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 0.4 mmol 氧化镉（CdO），6 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，10 mL 油酸（Oleic acid）和 20 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 0.4 mmol 硒粉（Selenium powder），4 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 4 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体 1。

将 0.1 mmol 硒粉（Selenium powder），0.3 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 2 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦-硫化

三辛基膦前驱体 2。

将 0.8 mmol 硫粉（Sulfur powder），0.8 mmol 硒粉（Selenium powder）溶解在 3 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体 3。

将 0.6 mmol 氧化镉（CdO），0.6 mL 油酸（Oleic acid）和 5.4 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，在氮气氛围下 250℃加热回流 120 min，得到透明的油酸镉前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体 1 快速注入到反应体系中，先生成 $Cd_xZn_{1-x}Se_yS_{1-y}$，反应 5 min 后，将 2mL 的硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体 2 以 6 mL/h 的速率逐滴加入到反应体系中。随后，将 3mL 的硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体 3 和 6mL 的油酸镉前驱体的分别以 3 mL/h 和 6 mL/h 速率继续逐滴加入到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有具体结构 3 的绿色量子点($CdZn_3SeS_3/Zn_4SeS_3/Cd_3Zn_5Se_4S_4$)。

实施例 20：具有具体结构 3 的红色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 0.8 mmol 氧化镉（CdO），12 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，14 mL 油酸（Oleic acid）和 20 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 2 mmol 硒粉（Selenium powder）在 4 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦前驱体。

将 0.2 mmol 硒粉（Selenium powder），0.6 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 2 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体。

将 0.9 mmol 氧化镉（CdO），0.9 mL 油酸（Oleic acid）和 8.1 mL 十八烯

（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，在氮气氛围下 250℃加热回流 120 min，得到透明的油酸镉前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硒化三辛基膦前驱体快速注入到反应体系中，先生成 $Cd_xZn_{1-x}Se$，反应 10 min 后，将 2 mL 的硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体以 2 mL/h 的速率逐滴加入到反应体系中。注入到 30 min 时，将 3 mL 的油酸镉前驱体同时以 6 mL/h 速率逐滴加入到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有具体结构 3 的红色量子点（$Cd_xZn_{1-x}Se/ZnSe_yS_{1-y}/Cd_zZn_{1-z}SeS$）。

实施例 21：具有具体结构 4 的蓝色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 1 mmol 氧化镉（CdO），9 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，8 mL 油酸（Oleic acid），和 15 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 2 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的十八烯（1-Octadecene）中，得到硫十八烯前驱体。

将 6 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硫化三辛基膦前驱体。

将 0.2mmol 硒粉（Selenium powder）溶解在 1mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦前驱体。

将 0.6 mmol 氧化镉（CdO），0.6mL 油酸（Oleic acid）和 5.4 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，在氮气氛围下 250℃加热回流 120 min，得到透明的油酸镉前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硫十八烯前驱体快速注入到反应体系中，先生成 CdxZn1-xS，反应 10 min 后，将油酸镉前驱体和硒化三辛基膦前驱体分别以 0.6 mmol/h、0.6 mmol/h 的速率连续

注入 20 min 到反应体系中。随后将油酸镉前驱体和硫化三辛基膦前驱体分别以 0.4 mmol/h 和 6 mmol/h 的速率连续注入 1h 到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有量子阱能级结构（具体结构 4）的蓝色量子点（CdZnS/CdZnSe/CdZnS）。

实施例 22：具有具体结构 4 的绿色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 1 mmol 氧化镉（CdO），9 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，8 mL 油酸（Oleic acid），和 15 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 2 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的十八烯（1-Octadecene）中，得到硫十八烯前驱体。

将 6 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硫化三辛基膦前驱体。

将 0.4 mmol 硒粉（Selenium powder）溶解在 2 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦前驱体。

将 0.8 mmol 氧化镉（CdO），1.2 mL 油酸（Oleic acid）和 4.8 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，在氮气氛围下 250℃加热回流 120 min，得到透明的油酸镉前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硫十八烯前驱体快速注入到反应体系中，先生成 $Cd_xZn_{1-x}S$，反应 10 min 后，将油酸镉前驱体和硒化三辛基膦前驱体分别以 0.6 mmol/h、0.6 mmol/h 的速率连续注入 40 min 到反应体系中。随后将油酸镉前驱体和硫化三辛基膦前驱体分别以 0.4 mmol/h 和 6 mmol/h 的速率连续注入 1 h 到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有量子阱能级结构（具体结构 4）的绿色量子点

（CdZnS/CdZnSe/CdZnS）。

实施例 23：具有具体结构 4 的红色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 0.8 mmol 氧化镉（CdO），12 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，14 mL 油酸（Oleic acid）和 20 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 1.5 mmol 硒粉（Selenium powder），1.75 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体 1。

将 1 mmol 硒粉（Selenium powder）在 2mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦前驱体。

将 0.2 mmol 硒粉（Selenium powder），0.8 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 2mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体 2。

将 3 mmol 氧化镉（CdO），3mL 油酸（Oleic acid）和 6 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，在氮气氛围下 250℃加热回流 120 min，得到透明的油酸镉前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体 1 注入到反应体系中，先生成 $Cd_xZn_{1-x}Se$，反应 10 min 后，将 2 mL 的硒化三辛基膦前驱体和 3mL 的油酸镉前驱体分别以 4 mL/h 和 6 mL/h 的速率逐滴加入到反应体系中。注入到 30 min 时，将 2mL 的硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体 2 和 3mL 的油酸镉前驱体分别以 2 mL/h 和 3 mL/h 速率逐滴加入到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具体结构 4 的红色量子点（$Cd_xZn_{1-x}Se$/CdZnSe/$Cd_zZn_{1-z}SeS$）。

实施例 24：具有具体结构 5 的蓝色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 1 mmol 氧化镉（CdO），9 mmol 乙酸锌[Zn(acet)$_2$]，8 mL 油酸（Oleic acid），和 15 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 1 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的十八烯（1-Octadecene）中，得到硫十八烯前驱体。

将 6 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硫化三辛基膦前驱体。

将 0.6 mmol 氧化镉（CdO），0.6mL 油酸（Oleic acid）和 5.4 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，在氮气氛围下 250℃加热回流 120 min，得到透明的油酸镉前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硫十八烯前驱体快速注入到反应体系中，先生成 $Cd_xZn_{1-x}S$，反应 10 min 后，将 3 mL 硫化三辛基膦前驱体以 3 mL/h 的速率连续注入 1h 到反应体系中，在硫化三辛基膦前驱体注入 20 min 时，将 2 mL 油酸镉前驱体以 6 mL/h 注入到反应体系中，在硫化三辛基膦前驱体注入 40 min 时，将 4 mL 油酸镉前驱体以 12 mL/h 注入到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有量子阱能级结构（具体结构 5）的蓝色量子点（CdZnS/ZnS/CdZnS）。

实施例 25：具有具体结构 5 的绿色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 0.4 mmol 氧化镉（CdO），6 mmol 乙酸锌[Zn(acet)$_2$]，10 mL 油酸（Oleic acid）和 20 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 0.4 mmol 硒粉（Selenium powder），4 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 4mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦-硫化三

辛基膦前驱体 1。

将 6 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硫化三辛基膦前驱体。

将 0.6 mmol 氧化镉（CdO），0.6mL 油酸（Oleic acid）和 5.4 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，在氮气氛围下 250℃加热回流 120 min，得到透明的油酸镉前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体快速注入到反应体系中，先生成 $Cd_xZn_{1-x}Se_yS_{1-y}$，反应 10 min 后，将 3 mL 硫化三辛基膦前驱体以 3 mL/h 的速率连续注入 1h 到反应体系中，在硫化三辛基膦前驱体注入 20 min 时，将 2 mL 油酸镉前驱体以 6 mL/h 注入到反应体系中，在硫化三辛基膦前驱体注入 40 min 时，将 4 mL 油酸镉前驱体以 12 mL/h 注入到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有量子阱能级结构（具体结构 5）的绿色量子点（CdZnSeS/ZnS/CdZnS）。

实施例 26：具有具体结构 5 的红色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 0.8 mmol 氧化镉（CdO），12 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，14 mL 油酸（Oleic acid）和 20 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 2 mmol 硒粉（Selenium powder）在 4mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦前驱体。

将 6 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硫化三辛基膦前驱体。

将 0.6 mmol 氧化镉（CdO），0.6mL 油酸（Oleic acid）和 5.4 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，在氮气氛围下 250℃加热回流 120 min，得到透明的油酸镉前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至310℃，将硒化三辛基膦前驱体快速注入到反应体系中，先生成$Cd_xZn_{1-x}Se$，反应10 min后，将硫化三辛基膦前驱体以6 mmol/h的速率连续注入1h到反应体系中，在S-TOP注入20 min时，将0.2 mmol油酸镉前驱体以0.6 mmol/h注入到反应体系中，在S-TOP注入40 min时，将0.4 mmol油酸镉前驱体以1.2 mmol/h注入到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有量子阱能级结构（具体结构5）的红色量子点（CdZnSe/ZnS/CdZnS）。

实施例27：具有具体结构6的蓝色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将1 mmol氧化镉（CdO），9 mmol乙酸锌[Zn(acet)2]，8 mL油酸（Oleic acid），和15 mL十八烯（1-Octadecene）置于100 mL三口烧瓶中，于80℃下进行真空脱气60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将2 mmol硫粉（Sulfur powder）溶解在3 mL的十八烯（1-Octadecene）中，得到硫十八烯前驱体。

将6 mmol硫粉（Sulfur powder）溶解在3 mL的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硫化三辛基膦前驱体。

将0.6 mmol氧化镉（CdO），0.6 mL油酸（Oleic acid）和5.4 mL十八烯（1-Octadecene）置于100 mL三口烧瓶中，在氮气氛围下250℃加热回流120 min，得到透明的油酸镉前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至310℃，将硫十八烯前驱体快速注入到反应体系中，先生成$Cd_xZn_{1-x}S$，反应10 min后，将硫化三辛基膦前驱体和油酸镉前驱体分别以6mmol/h和0.6 mmol/h的速率逐滴加入到反应体系中。30 min后，将反应体系温度降至280℃，将剩余的硫化三辛基膦前驱体和油酸镉前驱体分别以6mmol/h和0.6 mmol/h的速率逐滴加入到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲

醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有具体结构 6 的蓝色量子点（$Cd_xZn_{1-x}S$）。

实施例 28：具有具体结构 6 的绿色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 0.4 mmol 氧化镉（CdO），8 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，10 mL 油酸（Oleic acid）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 2 mmol 硒粉（Selenium powder），4 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 4mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体。

将 2mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 2mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硫化三辛基膦前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体快速注入到反应体系中，先生成 $Cd_xZn_{1-x}Se_yS_{1-y}$，反应 10 min 后，将反应体系温度降至 280℃，将硫化三辛基膦前驱体以 4 mL/h 的速率逐滴加入到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有具体结构 6 的绿色量子点（$Cd_xZn_{1-x}Se_yS_{1-y}/ZnS$）。

实施例 29：具有具体结构 6 的红色量子点的制备

油酸镉和油酸锌前驱体制备：将 0.8 mmol 氧化镉（CdO），12 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，14 mL 油酸（Oleic acid）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80℃下进行真空脱气 60 min。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

将 2 mmol 硒粉(Selenium powder)在 4mL 的三辛基膦(Trioctylphosphine)中，得到硒化三辛基膦前驱体。

将 0.2 mmol 硒粉（Selenium powder），0.6 mmol 硫粉（Sulfur powder）

溶解在 2mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉和油酸锌前驱体升温至 310℃，将硒化三辛基膦前驱体快速注入到反应体系中，先生成 $Cd_xZn_{1-x}Se$，反应 10 min 后，将反应体系温度降至 280℃，将硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体以 4 mL/h 的速率逐滴加入到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有具体结构 6 的红色量子点（$Cd_xZn_{1-x}Se/ZnSeS$）。

实施例 30: 具有具体结构 7 的绿色量子点的制备

油酸镉第一前驱体制备: 将 1 mmol 氧化镉(CdO)，1 mL 油酸(Oleic acid) 和 5 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80 ℃下进行真空脱气 60 mins。然后将其切换成氮气气氛下，并于该温度下保存以备待用。

油酸镉第二前驱体制备: 将 0.6 mmol 氧化镉（CdO），0.6 mL 油酸（Oleic acid）和 5.4 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，在氮气氛围下 250 ℃加热回流 120 mins，得到透明的油酸镉第二前驱体。

油酸锌前驱体制备: 将 9 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，7 mL 油酸(Oleic acid)，和 10 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80 ℃下进行真空脱气 60 mins。然后将其切换成氮气气氛下，并于氮气氛围下 250 ℃加热回流保存以备待用。

将 2 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的十八烯（1-Octadecene）中，得到硫十八烯前驱体。

将 6 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 3 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硫化三辛基膦前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉第一前驱体升温至 310 ℃，将硫十八烯前驱体快速注入到反应体系中，迅速生成 CdS，反应 10 mins 后，将油酸锌前驱

体全部注入反应体系，随后将 3 mL 的硫化三辛基膦前驱体和 6 mL 油酸镉第二前驱体分别以 3 mL/h 和 10 mL/h 的速率同时注入到反应体系中。

反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有量子阱能级结构的蓝色量子点。

实施例 31：具有具体结构 7 的绿色量子点的制备

油酸镉前驱体制备：将 0.4 mmol 氧化镉（CdO），1 mL 油酸（Oleic acid）和 5 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80 ℃下进行真空脱气 60 mins。然后将其在氮气氛围下 250 ℃加热回流，并于该温度下保存以备待用。

将 0.4 mmol 硒粉（Selenium powder），溶解在 4 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦。

油酸锌前驱体制备：将 8 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，9 mL 油酸（Oleic acid）和 15 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80 ℃下进行真空脱气 60 mins。在氮气氛围下 250 ℃加热回流 120 mins，得到透明的油酸锌前驱体。

将 2 mmol 硫粉（Sulfur powder）和 1.6 mmol 硒粉（Selenium powder）溶解在 2 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉前驱体升温至 310 ℃，将硒化三辛基膦前驱体快速注入到反应体系中，迅速生成 CdSe，反应 5 mins 后，将油酸锌前驱体全部注入到反应体系中，将 2 mL 的硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体以 2 mL/h 的速率逐滴加入到反应体系中，直至前驱体注入完。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有量子阱能级结构的绿色荧光量子点。

实施例 32：具有具体结构 7 的红色量子点的制备

油酸镉前驱体制备：将 0.8 mmol 氧化镉（CdO），4 mL 油酸（Oleic acid）

和 10 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80 ℃下进行真空脱气 60 mins。然后将其在氮气氛围下 250 ℃加热回流，并于该温度下保存以备待用。

油酸锌前驱体制备：12 mmol 乙酸锌[$Zn(acet)_2$]，10 mL 油酸（Oleic acid）和 10 mL 十八烯（1-Octadecene）置于 100 mL 三口烧瓶中，于 80 ℃下进行真空脱气 60 mins。

将 0.8 mmol 硒粉（Selenium powder）在 4 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦前驱体。

将 1 mmol 硒粉（Selenium powder），0.6 mmol 硫粉（Sulfur powder）溶解在 2 mL 的三辛基膦（Trioctylphosphine）中，得到硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体。

在氮气氛围下，将油酸镉前驱体升温至 310 ℃，将硒化三辛基膦前驱体快速注入到反应体系中，迅速生成 CdSe，反应 10 mins 后，将油酸锌前驱体全部注入到反应体系中，将 2 mL 的硒化三辛基膦-硫化三辛基膦前驱体以 4 mL/h 的速率逐滴加入到反应体系中。反应结束后，待反应液冷却至室温后，用甲苯和无水甲醇将产物反复溶解、沉淀，离心提纯，得到具有量子阱能级结构的红色荧光量子点。

实施例 33：本实施例中的正置顶发射 QLED 器件，如图 16 所示，自下而上依次包括：玻璃衬底 101、Al 阳极 102、PEDOT：PSS 空穴注入层 103、poly-TPD 空穴传输层 104、量子点发光层 105、ZnO 电子传输层 106 及 ITO 阴极 107。

上述正置顶发射 QLED 器件的制备步骤如下：

在玻璃衬底 101 上通过真空蒸镀的方法制备 100nm 的 Al 阳极 102，然后依次制备 30 nm PEDOT：PSS 空穴注入层 103 和 30 nm poly-TPD 空穴传输层 104 后，在 poly-TPD 空穴传输层 104 上制备一层量子点发光层 105，厚度为 20 nm，随后再在量子点发光层 105 上制备 40 nm ZnO 电子传输层 106，

最后通过溅射的方法制备 120nm 的 ITO 阴极作为顶电极。所述量子点发光层 105 的量子点材料为如实施例所述的量子点材料。

实施例 34：本实施例中的正置底发射 QLED 器件，如图 17 所示，自下而上依次包括：衬底 201、ITO 阳极 202、PEDOT: PSS 空穴注入层 203、poly-TPD 空穴传输层 204、量子点发光层 205、ZnO 电子传输层 206 及 Al 阴极 207。

上述正置底发射 QLED 器件的制备步骤如下：

在衬底 201 上依次制备 ITO 阳极 202、30 nm PEDOT: PSS 空穴注入层 203 和 30 nm poly-TPD 空穴传输层 204 后，在 poly-TPD 空穴传输层 204 上制备一层量子点发光层 205，厚度为 20 nm，随后再在量子点发光层 205 上制备 40 nm ZnO 电子传输层 206 及 100 nm Al 阴极 207。所述量子点发光层 205 的量子点材料为如实施例所述的量子点材料。

实施例 35：本实施例中的正置底发射 QLED 器件，如图 18 所示，自下而上依次包括：衬底 301、ITO 阳极 302、PEDOT: PSS 空穴注入层 303、Poly(9-vinylcarbazole) (PVK)空穴传输层 304、量子点发光层 305、ZnO 电子传输层 306 及 Al 阴极 307。

上述正置底发射 QLED 器件的制备步骤如下：

在衬底 301 上依次制备 ITO 阳极 302、30 nm PEDOT: PSS 空穴注入层 303 和 30 nm PVK 空穴传输层 304 后，在 PVK 空穴传输层 304 上制备一层量子点发光层 305，厚度为 20 nm，随后再在量子点发光层 305 上制备 40 nm ZnO 电子传输层 306 及 100 nm Al 阴极 307。所述量子点发光层 305 的量子点材料为如实施例所述的量子点材料。

实施例 36：本实施例中的正置底发射 QLED 器件，如图 19 所示，自下而上依次包括：衬底 401、ITO 阳极 402、PEDOT: PSS 空穴注入层 403、poly-TPD 空穴传输层 404、量子点发光层 405、TPBi 电子传输层 406 及 Al 阴极 407。

上述正置底发射 QLED 器件的制备步骤如下：

在衬底 401 上依次制备 ITO 阳极 402、30 nm PEDOT: PSS 空穴注入层

403 和 30 nm poly-TPD 空穴传输层 404 后，在 poly-TPD 空穴传输层 404 上制备一层量子点发光层 405，厚度为 20 nm，随后再在量子点发光层 405 上通过真空蒸镀方法制备 30 nm TPBi 电子传输层 406 及 100 nm Al 阴极 407。所述量子点发光层 405 的量子点材料为如实施例所述的量子点材料。

实施例 37：本实施例中的反置顶发射 QLED 器件，如图 20 所示，自下而上依次包括：玻璃衬底 501、Al 阴极 502、ZnO 电子传输层 503、量子点发光层 504、NPB 空穴传输层 505、MoO_3 空穴注入层 506 及 ITO 阳极 507。

上述反置顶发射 QLED 器件的制备步骤如下：

在玻璃衬底 501 上通过真空蒸镀的方法制备 100nm 的 Al 阴极 502，然后一层制备 40 nm ZnO 电子传输层 503，在 ZnO 电子传输层 503 上制备一层量子点发光层 504，厚度为 20 nm，随后再在量子点发光层 504 上通过真空蒸镀方法制备 30 nm NPB 空穴传输层 505 及 5 nm MoO_3 空穴注入层 506，最后通过溅射的方法制备 120nm 的 ITO 阳极。所述量子点发光层 505 的量子点材料为如实施例所述的量子点材料。

实施例 38：本实施例中的反置底发射 QLED 器件，如图 21 所示，自下而上依次包括：衬底 601、ITO 阴极 602、ZnO 电子传输层 603、量子点发光层 604、NPB 空穴传输层 605、MoO_3 空穴注入层 606 及 Al 阳极 607。

上述反置底发射 QLED 器件的制备步骤如下：

在衬底 601 上依次制备 ITO 阴极 602、40 nm ZnO 电子传输层 603，在 ZnO 电子传输层 603 上制备一层量子点发光层 604，厚度为 20 nm，随后再在量子点发光层 604 上通过真空蒸镀方法制备 30 nm NPB 空穴传输层 605，5 nm MoO_3 空穴注入层 606 及 100 nm Al 阳极 607。所述量子点发光层 605 的量子点材料为如实施例所述的量子点材料。

本发明还相应提供一种如上述第一实施例中正置顶发射 QLED 器件的制备方法，如图 22 所示，所述制备方法包括如下步骤：

S100、提供一衬底，在所述衬底上形成反射阳极；

S200、在所述反射阳极上依次沉积空穴传输层、量子点发光层及电子传输层;

S300、在所述电子传输层上沉积一透明阴极，制得正置顶发射 QLED 器件。

进一步地，所述步骤 S100 之后、步骤 S200 之前，还包括步骤:

S201、对具有反射阳极的衬底进行清洗处理;

S202、对经清洗处理后的具有反射阳极的衬底进行氧等离子体处理或紫外臭氧处理。

即本发明通过在例如玻璃等衬底上形成以反射阳极，例如 Al/ITO 的反射电极，之后对具有 Al/ITO 的反射电极的衬底进行清洗处理，具体可将衬底依次用洗涤液、超纯水、丙酮和异丙醇清洗且连续超声处理 15 分钟，然后在 80℃烘箱下烘干待用，之后对清洗处理后的衬底进行氧等离子体处理或紫外臭氧处理 30 分钟，以进一步清洁电极表面并提高其功函数; 之后通过溶液加工法或真空蒸镀法在反射阴极上依次沉积空穴注入层、空穴传输层、量子点发光层及电子传输层，所述溶液加工法包括旋涂、打印及喷涂等，所述真空蒸镀法包括真空热蒸镀以及溅射等，具体可根据实际需要选择。

本发明还相应提供一种如上述第三实施例中正置底发射 QLED 器件的制备方法，如图 23 所示，所述制备方法包括如下步骤:

S110、提供一衬底，在所述衬底上形成透明阳极;

S210、在所述透明阳极上依次沉积空穴传输层、量子点发光层及电子传输层;

S310、在所述电子传输层上蒸镀一反射阴极，制得正置底发射 QLED 器件。

进一步地，所述步骤 S110 之后、步骤 S210 之前，还包括步骤:

S211、对具有透明阳极的衬底进行清洗处理;

S212、对经清洗处理后的具有透明阳极的衬底进行氧等离子体处理或紫外臭氧处理。

即本发明通过在例如玻璃等衬底上形成一透明阳极，例如图案化的 ITO 电极，之后对具有透明阳极的衬底（即 ITO 衬底）进行清洗处理，具体可将 ITO 衬底依次用洗涤液、超纯水、丙酮和异丙醇清洗且连续超声处理 15 分钟，然后在 80℃烘箱下烘干待用，之后对清洗处理后的 ITO 衬底进行氧等离子体处理或紫外臭氧处理 30 分钟，以进一步清洁 ITO 表面并提高 ITO 的功函数;之后通过溶液加工法或真空蒸镀法在 ITO 衬底上依次沉积空穴注入层、空穴传输层、量子点发光层及电子传输层，所述溶液加工法包括旋涂、打印及喷涂等，所述真空蒸镀法包括真空热蒸镀以及溅射等，具体可根据实际需要选择。

本发明还相应提供一种如上述第五实施例中反置顶发射 QLED 器件的制备方法，如图 24 所示，所述制备方法包括如下步骤:

S120、提供一衬底，在所述衬底上形成反射阴极;

S220、在所述反射阴极依次沉积电子传输层、量子点发光层及空穴传输层;

S320、在所述空穴传输层上沉积一透明阳极，制得反置顶发射 QLED 器件。

进一步地，所述步骤 S120 之后、步骤 S220 之前，还包括步骤:

S221、对具有反射阴极的衬底进行清洗处理;

S222、对经清洗处理后的具有反射阴极的衬底进行氧等离子体处理或紫外臭氧处理。

即本发明通过在例如玻璃等衬底上形成一反射阴极，例如 Al/ITO 的反射电极，之后对具有 Al/ITO 的反射电极的衬底进行清洗处理，具体可将衬底依次用洗涤液、超纯水、丙酮和异丙醇清洗且连续超声处理 15 分钟，然后在 80℃烘箱下烘干待用，之后对清洗处理后的衬底进行氧等离子体处理

或紫外臭氧处理 30 分钟，以进一步清洁点击表面并提高其功函数；之后通过溶液加工法或真空蒸镀法在 ITO 衬底上依次沉积电子传输层、量子点发光层、空穴传输层及空穴注入层，所述溶液加工法包括旋涂、打印及喷涂等，所述真空蒸镀法包括真空热蒸镀以及溅射等，具体可根据实际需要选择。

本发明还相应提供一种如上述第七实施例中反置底发射 QLED 器件的制备方法，如图 25 所示，所述制备方法包括如下步骤：

S130、提供一衬底，在所述衬底上形成透明阴极；

S230、在所述透明阴极上依次沉积电子传输层、量子点发光层及空穴传输层；

S330、在所述空穴传输层上蒸镀一反射阳极，制得反置底发射 QLED 器件。

进一步地，所述步骤 S130 之后、步骤 S230 之前，还包括步骤：

S231、对具有透明阴极的衬底进行清洗处理；

S232、对经清洗处理后的具有透明阴极的衬底进行氧等离子体处理或紫外臭氧处理。

即本发明通过在例如玻璃等衬底上形成一透明阴极，例如图案化的 ITO 电极，之后对具有透明阴极的衬底（即 ITO 衬底）进行清洗处理，具体可将 ITO 衬底依次用洗涤液、超纯水、丙酮和异丙醇清洗且连续超声处理 15 分钟，然后在 80℃烘箱下烘干待用，之后对清洗处理后的 ITO 衬底进行氧等离子体处理或紫外臭氧处理 30 分钟，以进一步清洁 ITO 表面并提高 ITO 的功函数；之后通过溶液加工法或真空蒸镀法在 ITO 衬底上依次沉积电子传输层、量子点发光层、空穴传输层及空穴注入层，所述溶液加工法包括旋涂、打印及喷涂等，所述真空蒸镀法包括真空热蒸镀以及溅射等，具体可根据实际需要选择。

以下举应用实施例对本发明提供的 QLED 器件的制备方法以及具体器件性能进行进一步说明。

第一应用实施例提供的正置顶发射 QLED 器件，其制备方法为：

1、含 Al/ITO 的反射电极（即阳极）的玻璃衬底的清洗：用洗涤液、超纯水、丙酮和异丙醇清洗且连续超声处理 15 分钟，然后在 80℃烘箱下烘干，在 UVO 下处理 30 分钟，以清洁 ITO 表面，并提升 ITO 电极的功函数；

2、空穴注入层和空穴传输层制备：于空气中，在清洗后的玻璃衬底上以 5000 转/分钟的转速旋涂 PEDOT:PSS，旋涂时间为 40s，旋涂完成后在空气中 150℃退火 15min，烘干未挥发完的液体，然后转移入手套箱（O_2<1ppm，H_2O<1ppm），在 PEDOT:PSS 层上以 3000 转/分钟的转速旋涂 TFB 的氯苯溶液（浓度为 8mg/ml），旋涂时间 30s。旋涂完成后在手套箱中 150℃退火 30 分钟去除剩余溶剂形成 TFB 层；

3、量子点发光层的制备：完成退火后旋涂量子点溶液，其中的量子点为 CdSe/CdS 核壳结构，分散在正辛烷中，浓度约 15mg/ml，转速为 2000 转/分钟，旋涂时间 40s；

4、电子传输层的制备：量子点溶液旋涂完成后，再旋涂一层 ZnO 乙醇溶液，其中转速是 3000 转/分钟，旋涂时间 30s；乙醇的浓度为 30mg/ml；

5、透明阴极的制备：将旋涂完成的器件放入真空蒸镀腔体，蒸镀 15nm 厚的铝作为阴极，并在 Al 上蒸镀 200nm 厚 MoOx 作为保护层得到第一应用实施例的量子点发光器件。

第二应用实施例，如图 26、图 27 和图 28 所示，所制备的 QLED 器件为发光波长 630nm 的红光器件，其开启电压仅为 2V 左右，亮度在 5V 驱动电压下可达到约 15500cd/m^2，外量子效率为 6%左右，得到高效稳定的 QLED 器件，其制备方法为：

1、含 ITO 透明电极（即阳极）的玻璃衬底的清洗：用洗涤液、超纯水、丙酮和异丙醇清洗且连续超声处理 15 分钟，然后在 80℃烘箱下烘干，在 UVO 下处理 30 分钟，以清洁 ITO 表面，并提升 ITO 电极的功函数；

2、空穴注入层和空穴传输层制备：于空气中，在清洗后的玻璃衬底上

以 5000 转/分钟的转速旋涂 PEDOT:PSS，旋涂时间为 40s，旋涂完成后在空气中 150℃退火 15min，烘干未挥发完的液体，然后转移入手套箱（O_2<1ppm，H_2O<1ppm），在 PEDOT:PSS 层上以 3000 转/分钟的转速旋涂 TFB 的氯苯溶液（浓度为 8mg/ml），旋涂时间 30s。旋涂完成后在手套箱中 150℃退火 30 分钟去除剩余溶剂形成 TFB 层；

3、量子点发光层的制备：完成退火后旋涂量子点溶液，其中的量子点为 CdSe/CdS 核壳结构，分散在正辛烷中，浓度约 15mg/ml，转速为 2000 转/分钟，旋涂时间 40s；

4、电子传输层的制备：量子点溶液旋涂完成后，再旋涂一层 ZnO 乙醇溶液，其中转速是 3000 转/分钟，旋涂时间 30s；乙醇的浓度为 30mg/ml；

5、阴极的制备：将旋涂完成的器件放入真空蒸镀腔体，蒸镀 100nm 厚的铝作为阴极，得到第二应用实施例的量子点发光器件。

第三应用实施例，如图 29、图 30 和图 31 所示，所制备的 QLED 器件为发光波长 520nm 的绿光器件，其开启电压仅为 2.5V 左右，亮度在 5V 驱动电压下可达到约 9000cd/m^2，外量子效率已超过 10%，器件效率明显提高，其制备方法为：

1、含 ITO 透明电极（即阳极）的玻璃衬底的清洗：用洗涤液、超纯水、丙酮和异丙醇清洗且连续超声处理 15 分钟，然后在 80℃烘箱下烘干，在 UVO 下处理 30 分钟，以清洁 ITO 表面，并提升 ITO 电极的功函数；

2、空穴注入层和空穴传输层制备：于空气中，在清洗后的玻璃衬底上以 5000 转 /分钟的转速旋涂 PEDOT:PSS，旋涂时间为 40s，旋涂完成后在空气中 150℃退火 15min，烘干未挥发完的液体，然后转移入手套箱（O_2<1ppm，H_2O<1ppm），在 PEDOT:PSS 层上以 3000 转/分钟的转速旋涂 TFB 的氯苯溶液（浓度为 8mg/ml），旋涂时间 30s，旋涂完成后在手套箱中 150℃退火 30 分钟去除剩余溶剂形成 TFB 层；

3、量子点发光层的制备：完成退火后旋涂量子点溶液，其中的量子点

为 CdSe/CdS 核壳结构，分散在正辛烷中，浓度约 15mg/ml，转速为 2000 转/分钟，旋涂时间 40s;

4、电子传输层的制备：量子点溶液旋涂完成后，再旋涂一层 ZnO 乙醇溶液，其中转速为 3000 转/分钟，旋涂时间 30s；乙醇的浓度为 30mg/ml;

5、阴极的制备：将旋涂完成的器件放入真空蒸镀腔体，蒸镀 100nm 厚的铝作为阴极，得到第三应用实施例的量子点发光器件。

第四应用实施例，如图 32、图 33 和图 34 所示，所制备的 QLED 器件为发光波长 460nm 的蓝光器件，其最大外量子效率已超过 13%，开启电压为 5V 左右，亮度在 5V 驱动电压下为 3500cd/m^2，器件效率明显提高，其制备方法为：

1、含 ITO 透明电极（即阳极）的玻璃衬底的清洗：用洗涤液、超纯水、丙酮和异丙醇清洗且连续超声处理 15 分钟，然后在 80℃烘箱下烘干，在 UVO 下处理 30 分钟，以清洁 ITO 表面，并提升 ITO 电极的功函数;

2、空穴注入层和空穴传输层制备：于空气中，在清洗后的玻璃衬底上以 5000 转 /分钟的转速旋涂 PEDOT:PSS，旋涂时间为 40s，旋涂完成后在空气中 150℃退火 15min，烘干未挥发完的液体，然后转移入手套箱（O_2<1ppm，H_2O<1ppm），在 PEDOT:PSS 层上以 3000 转/分钟的转速旋涂 PVK 的氯苯溶液（浓度为 8mg/ml），旋涂时间 30s，旋涂完成后在手套箱中 150℃退火 30 分钟去除剩余溶剂形成 PVK 层;

3、量子点发光层的制备：完成退火后旋涂量子点溶液，其中的量子点为 CdSe/CdS 核壳结构，分散在正辛烷中，浓度约 15mg/ml，转速为 2000 转/分钟，旋涂时间 40s;

4、电子传输层的制备：量子点溶液旋涂完成后，再旋涂一层 ZnO 乙醇溶液，其中转速为 3000 转/分钟，旋涂时间 30s；乙醇的浓度为 30mg/ml;

5、阴极的制备：将旋涂完成的器件放入真空蒸镀腔体，蒸镀 100nm 厚的铝作为阴极，得到第四应用实施例的量子点发光器件。

第五应用实施例提供的反置顶发射 QLED 器件，其制备方法为：

1、含 Al/ITO 的反射电极（即阴极）的玻璃衬底的清洗：用洗涤液、超纯水、丙酮和异丙醇清洗且连续超声处理 15 分钟，然后在 80℃烘箱下烘干，在 UVO 下处理 30 分钟，以清洁 ITO 表面，并提升 ITO 电极的功函数；

2、电子传输层的制备：在 ITO 上旋涂一层 ZnO 乙醇溶液，其中转速是 3000 转/分钟，旋涂时间 30s；乙醇的浓度为 30mg/ml；

3、量子点发光层的制备：完成退火后旋涂量子点溶液，其中的量子点为 CdSe/CdS 核壳结构，分散在正辛烷中，浓度约 15mg/ml，转速为 2000 转/分钟，旋涂时间 40s；

4、空穴传输层和空穴注入层制备：量子点溶液旋涂完成后，将旋涂完成的器件放入真空蒸镀腔体，蒸镀 40nm CBP 作为空穴传输层，及 10 nm MoOx 作为空穴注入层；

5、透明阳极的制备：蒸镀 15nm 厚的铝作为阴极，并在 Al 上蒸镀 200nm 厚 MoOx 作为保护层得到第五应用实施例的量子点发光器件。

第六应用实施例提供的反置底发射 QLED 器件，其制备方法为：

1、含 ITO 透明电极（即阴极）的玻璃衬底的清洗：用洗涤液、超纯水、丙酮和异丙醇清洗且连续超声处理 15 分钟，然后在 80℃烘箱下烘干，在 UVO 下处理 30 分钟，以清洁 ITO 表面，并提升 ITO 电极的功函数；

2、电子传输层的制备：在 ITO 上旋涂一层 ZnO 乙醇溶液，其中转速是 3000 转/分钟，旋涂时间 30s；乙醇的浓度为 30mg/ml；

3、量子点发光层的制备：完成退火后旋涂量子点溶液，其中的量子点为 CdSe/CdS 核壳结构，分散在正辛烷中，浓度约 15mg/ml，转速为 2000 转/分钟，旋涂时间 40s；

4、空穴传输层和空穴注入层制备：量子点溶液旋涂完成后，将旋涂完成的器件放入真空蒸镀腔体，蒸镀 40nm CBP 作为空穴传输层，及 10 nm MoOx 作为空穴注入层；

5、阳极的制备：将旋涂完成的器件放入真空蒸镀腔体，蒸镀100nm厚的铝作为阳极，得到第六应用实施例的量子点发光器件。

综上所述，本发明提供的QLED器件及其制备方法中，所述QLED器件包括依次叠层设置的衬底、反射阳极、空穴传输层、量子点发光层、电子传输层及透明阴极，所述量子点发光层采用具有量子阱能级结构的量子点材料制备而成，所述量子点材料包括至少一个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，所述量子点结构单元为径向方向上能级宽度变化的渐变合金组分结构或径向方向上能级宽度一致的均一组分结构，可实现具有高效电荷注入、高发光亮度、低驱动电源以及高器件效率等优异性能的高效QLED器件。

可以理解的是，对本领域普通技术人员来说，可以根据本发明的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变，而所有这些改变或替换都应属于本发明所附的权利要求的保护范围。

权 利 要 求 书

1、 一种 QLED 器件，包括依次叠层设置的衬底、反射阳极、空穴传输层、量子点发光层、电子传输层及透明阴极，其特征在于，所述量子点发光层采用具有量子阱能级结构的量子点材料制备而成，所述量子点材料包括至少一个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，所述量子点结构单元为径向方向上能级宽度变化的渐变合金组分结构或径向方向上能级宽度一致的均一组分结构。

2、 根据权利要求 1 所述的 QLED 器件，其特征在于，还包括在所述反射阳极与空穴传输层之间设置的空穴注入层。

3、 根据权利要求 1 或 2 所述的正置顶发射 QLED 器件，其特征在于，所述反射阳极为铝电极或银电极，所述反射阳极的厚度为 30-800nm。

4、 根据权利要求 1 或 2 所述的正置顶发射 QLED 器件，其特征在于，所述透明阴极为 ITO 或薄层金属电极，所述 ITO 的厚度为 20-300nm，所述薄层金属电极的厚度为 5-50nm。

5、 一种 QLED 器件，包括依次叠层设置的衬底、透明阳极、空穴传输层、量子点发光层、电子传输层及反射阴极，其特征在于，所述量子点发光层采用具有量子阱能级结构的量子点材料制备而成，所述量子点材料包括至少一个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，所述量子点结构单元为径向方向上能级宽度变化的渐变合金组分结构或径向方向上能级宽度一致的均一组分结构。

6、 根据权利要求 5 所述的 QLED 器件，其特征在于，还包括在所述透明阳极与空穴传输层之间设置的空穴注入层。

7、 根据权利要求 5 或 6 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述透明阳

极为图案化的 ITO。

8、 根据权利要求 5 或 6 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述反射阴极为铝电极或银电极，所述反射阴极厚度为 30-800nm。

9、 一种 QLED 器件，包括依次叠层设置的衬底、反射阴极、电子传输层、量子点发光层、空穴传输层及透明阳极，其特征在于，所述量子点发光层采用具有量子阱能级结构的量子点材料制备而成，所述量子点材料包括至少一个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，所述量子点结构单元为径向方向上能级宽度变化的渐变合金组分结构或径向方向上能级宽度一致的均一组分结构。

10、 根据权利要求 9 所述的 QLED 器件，其特征在于，还包括在所述空穴传输层与透明阳极之间设置的空穴注入层。

11、 根据权利要求 9 或 10 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述反射阴极为铝电极或银电极，所述反射阴极的厚度为 30-800nm。

12、 根据权利要求 9 或 10 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述透明阳极为 ITO 或薄层金属电极，所述 ITO 的厚度为 20-300nm，所述薄层金属电极的厚度为 5-50nm。

13、 一种 QLED 器件，包括依次叠层设置的衬底、透明阴极、电子传输层、量子点发光层、空穴传输层及反射阳极，其特征在于，所述量子点发光层采用具有量子阱能级结构的量子点材料制备而成，所述量子点材料包括至少一个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，所述量子点结构单元为径向方向上能级宽度变化的渐变合金组分结构或径向方向上能级宽度一致的均一组分结构。

14、 根据权利要求 13 所述的 QLED 器件，其特征在于，还包括在所述空穴传输层与反射阳极之间设置的空穴注入层。

15、 根据权利要求 13 或 14 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述透明阴极为图案化的 ITO。

16、 根据权利要求 13 或 14 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述反射阳极为铝电极或银电极，所述反射阳极厚度为 30-800nm。

17、 根据权利要求 1 或 2 或 5 或 6 或 9 或 10 或 13 或 14 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述量子点结构单元均为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，且在径向方向上相邻的量子点结构单元的能级是连续的。

18、 根据权利要求 1 或 2 或 5 或 6 或 9 或 10 或 13 或 14 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述量子点材料包括至少三个在径向方向上依次排布的量子点结构单元，其中，所述至少三个量子点单元中，位于中心和表面的量子点结构单元均为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，且在径向方向上相邻的渐变合金组分结构的量子点结构单元的能级是连续的；位于中心和表面的量子点结构单元之间的一个量子点结构单元为均一组分结构。

19、 根据权利要求 1 或 2 或 5 或 6 或 9 或 10 或 13 或 14 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述量子点材料包括两种类型的量子点结构单元，其中一种类型的量子点结构单元为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，另一种类型的量子点结构单元为径向方向上越向外能级宽度越窄的渐变合金组分结构，所述两种类型的量子点结构单元沿径向方向依次交替分布，且在径向方向上相邻的量子点结构单元的能级是连续的。

20、 根据权利要求 1 或 2 或 5 或 6 或 9 或 10 或 13 或 14 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述量子点结构单元均为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，且相邻的量子点结构单元的能级是不连续的。

21、 根据权利要求 1 或 2 或 5 或 6 或 9 或 10 或 13 或 14 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述量子点结构单元均为径向方向上越向外能级宽度越窄的渐变合金组分结构，且相邻的量子点结构单元的能级是不连续的。

22、 根据权利要求 1 或 2 或 5 或 6 或 9 或 10 或 13 或 14 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述量子点材料包括两种量子点结构单元，其中一种量子点结构单元为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，另一种量子点结构单元为均一组分结构，所述量子点材料的内部包括一个或一个以上的渐变合金组分结构的量子点结构单元，且在径向方向上相邻的渐变合金组分结构的量子点结构单元的能级是连续的；所述量子点材料的外部包括一个或一个以上的均一组分结构的量子点结构单元。

23、 根据权利要求 1 或 2 或 5 或 6 或 9 或 10 或 13 或 14 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述量子点材料包括两种量子点结构单元，其中一种量子点结构单元为均一组分结构，另一种量子点结构单元为径向方向上越向外能级宽度越宽的渐变合金组分结构，所述量子点材料的内部包括一个或一个以上的均一组分结构的量子点结构单元，所述量子点材料的外部包括一个或一个以上的渐变合金组分结构的量子点结构单元，且在径向方向上相邻的渐变合金组分结构的量子点结构单元的能级是连续的。

24、 根据权利要求 1 或 2 或 5 或 6 或 9 或 10 或 13 或 14 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述量子点结构单元为包含 II 族和 VI 族元素的渐变合金组分结构或均一合金组分结构。

25、 根据权利要求 1 或 2 或 5 或 6 或 9 或 10 或 13 或 14 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述量子点结构单元包括 2-20 层单原子层，或者所述量子点结构单元包含 1-10 层的晶胞层。

26、 根据权利要求 1 或 2 或 5 或 6 或 9 或 10 或 13 或 14 所述的 QLED

器件，其特征在于，所述量子点材料的发光峰波长范围为 400 纳米至 700 纳米。

27、 根据权利要求 1 或 2 或 5 或 6 或 9 或 10 或 13 或 14 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述量子点材料的发光峰的半高峰宽为 12 纳米至 80 纳米。

28、 根据权利要 1 或 2 或 5 或 6 或 9 或 10 或 13 或 14 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述量子点发光层的厚度为 10-100nm。

29、 根据权利要求 2 或 6 或 10 或 14 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述空穴注入层的材料为 PEDOT:PSS、MoO_3、VO_2 或 WO_3 中的至少一种。

30、 根据权利要求 29 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述空穴注入层的厚度为 10-150nm。

31、 根据权利要求 1 或 2 或 5 或 6 或 9 或 10 或 13 或 14 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述空穴传输层的材料为 TFB、poly-TPD、PVK、NiO、MoO_3、NPB、CBP 中的至少一种。

32、 根据权利要求 31 所述的正置顶发射 QLED 器件，其特征在于，所述空穴传输层的厚度为 10-150nm。

33、 根据权利要求 1 或 2 或 5 或 6 或 9 或 10 或 13 或 14 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述电子传输层的材料为 LiF、CsF、Cs_2CO_3、ZnO、Alq_3 中的至少一种。

34、 根据权利要求 33 所述的 QLED 器件，其特征在于，所述电子传输层的厚度为 10-150nm。

35、 一种如权利要求 1 所述的 QLED 器件的制备方法，其特征在于，包括如下步骤:

A、提供一衬底，在所述衬底上形成反射阳极;

B、在所述反射阳极上依次沉积空穴传输层、量子点发光层及电子传输层;

C、在所述电子传输层上沉积一透明阴极，制得正置顶发射 QLED 器件。

36、 根据权利要求 35 所述的 QLED 器件的制备方法，其特征在于，所述空穴传输层、量子点发光层及电子传输层通过溶液加工法或真空蒸镀法进行沉积。

37、 一种如权利要求 5 所述的 QLED 器件的制备方法，其特征在于，包括如下步骤:

A、提供一衬底，在所述衬底上形成透明阳极;

B、在所述透明阳极上依次沉积空穴传输层、量子点发光层及电子传输层;

C、在所述电子传输层上蒸镀一反射阴极，制得正置底发射 QLED 器件。

38、 根据权利要求 37 所述的 QLED 器件的制备方法，其特征在于，所述空穴传输层、量子点发光层及电子传输层通过溶液加工法或真空蒸镀法进行沉积。

39、 一种如权利要求 9 所述的 QLED 器件的制备方法，其特征在于，包括如下步骤:

A、提供一衬底，在所述衬底上形成反射阴极;

B、在所述反射阴极依次沉积电子传输层、量子点发光层及空穴传输层;

C、在所述空穴传输层上沉积一透明阳极，制得反置顶发射 QLED 器件。

40、 根据权利要求 39 所述的 QLED 器件的制备方法，其特征在于，所述空穴传输层、量子点发光层及电子传输层通过溶液加工法或真空蒸镀法进行沉积。

41、 一种如权利要求 13 所述的 QLED 器件的制备方法，其特征在于，包括如下步骤:

A、提供一衬底，在所述衬底上形成透明阴极;

B、在所述透明阴极上依次沉积电子传输层、量子点发光层及空穴传输层;

C、在所述空穴传输层上蒸镀一反射阳极，制得反置底发射 QLED 器件。

42、 根据权利要求 41 所述的 QLED 器件的制备方法，其特征在于，所述空穴传输层、量子点发光层及电子传输层通过溶液加工法或真空蒸镀法进行沉积。

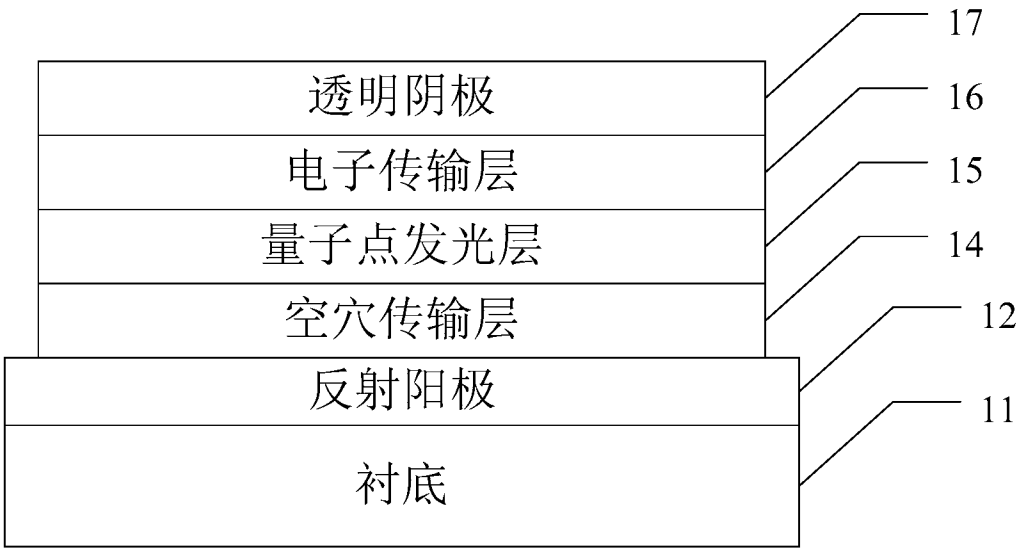

17
透明阴极
16
电子传输层
15
量子点发光层
14
空穴传输层
12
反射阳极
11
衬底

图 1

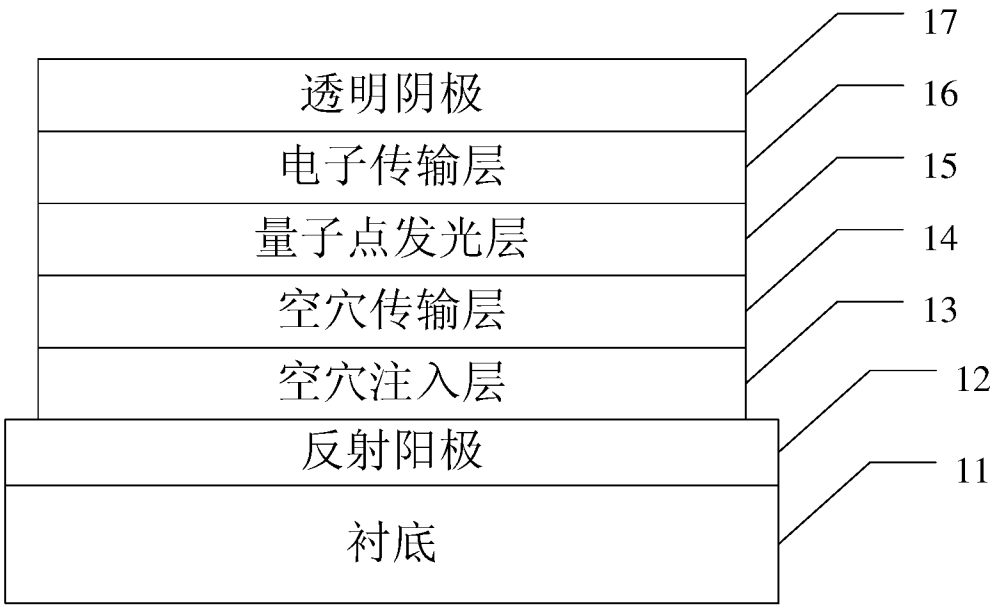

17
透明阴极
16
电子传输层
15
量子点发光层
14
空穴传输层
13
空穴注入层
12
反射阳极
11
衬底

图 2

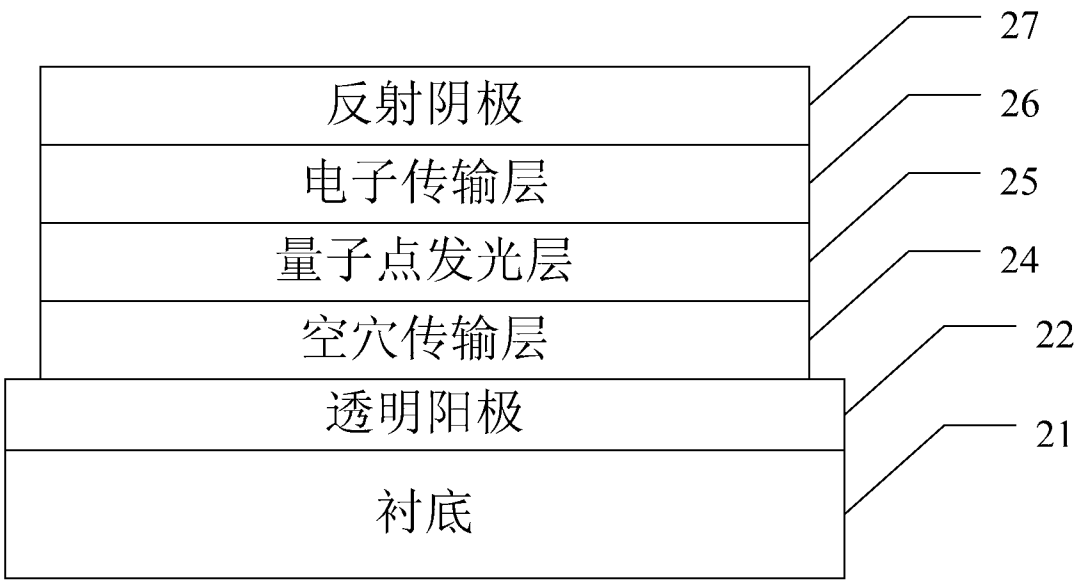

反射阴极
电子传输层
量子点发光层
空穴传输层
透明阳极
衬底
27
26
25
24
22
21

图 3

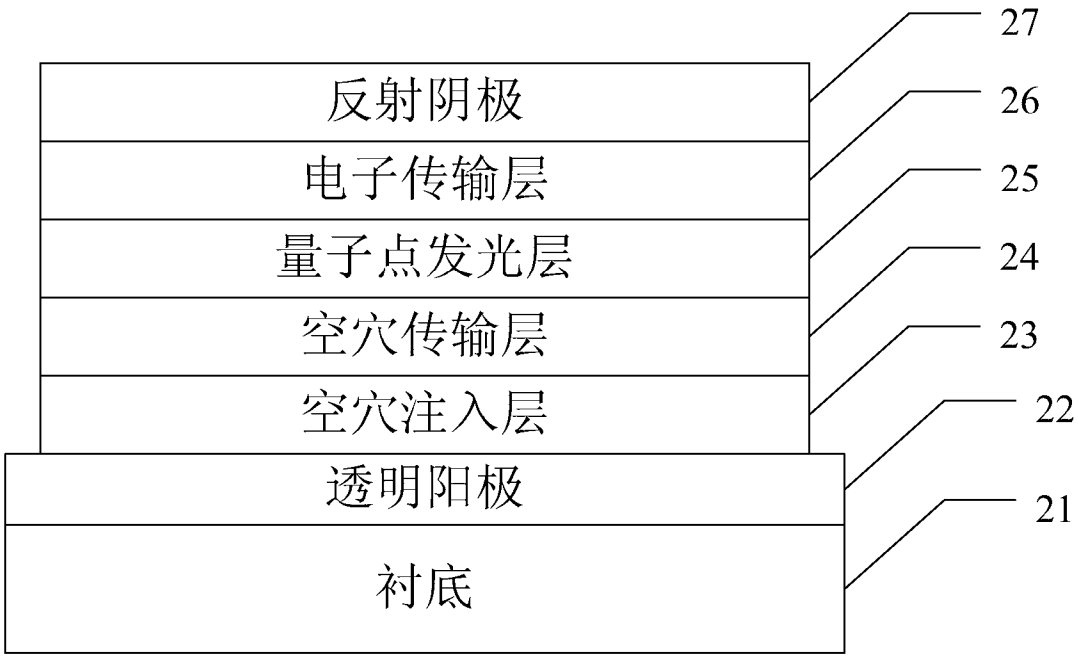

反射阴极
电子传输层
量子点发光层
空穴传输层
空穴注入层
透明阳极
衬底
27
26
25
24
23
22
21

图 4

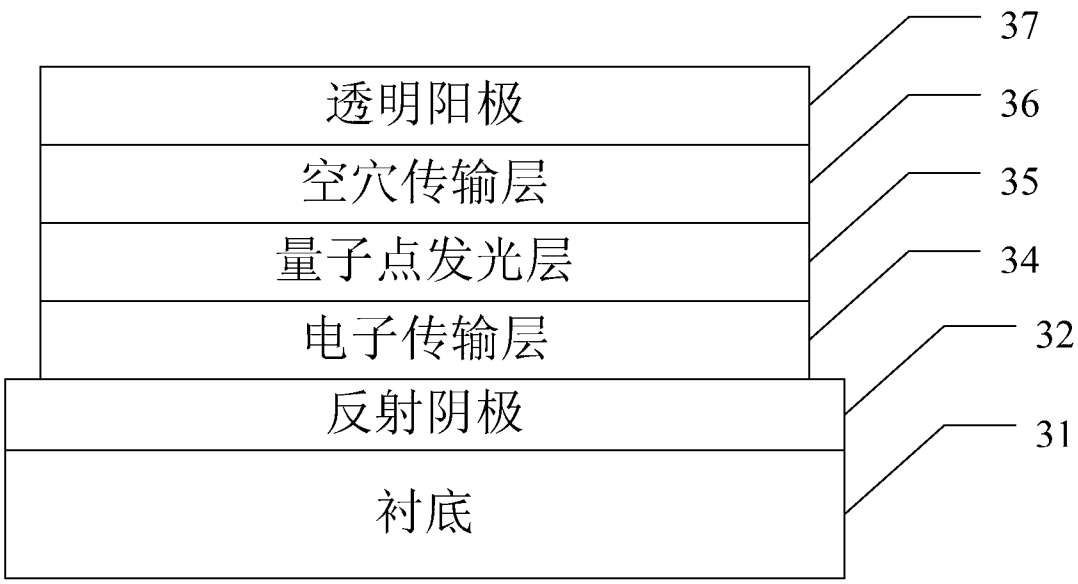

透明阳极
空穴传输层
量子点发光层
电子传输层
反射阴极
衬底
37
36
35
34
32
31

图 5

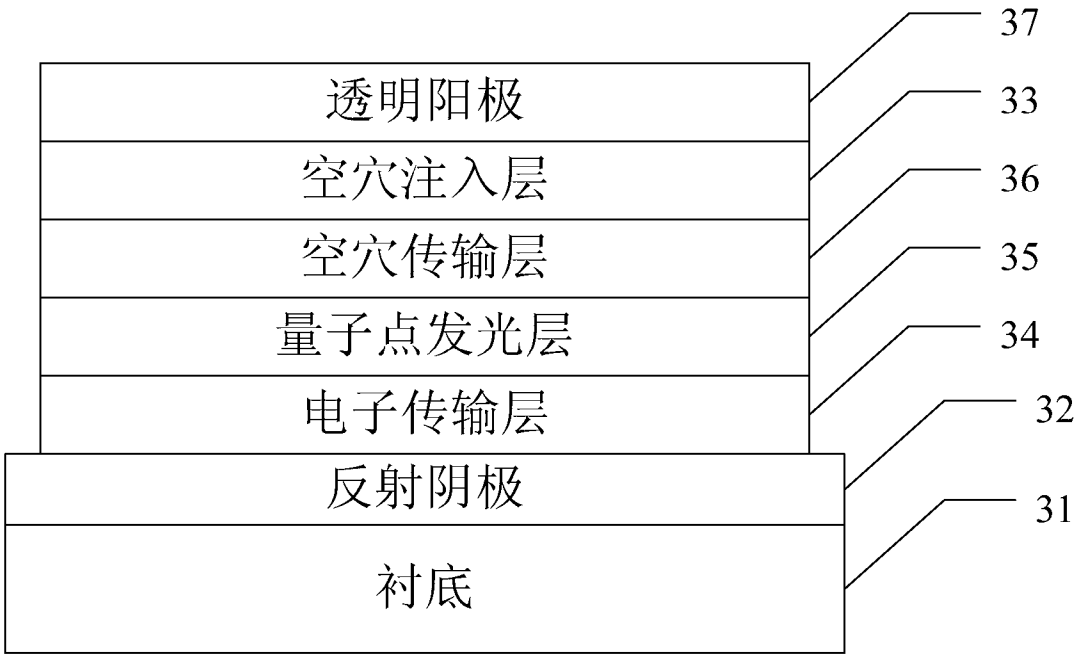

透明阳极
空穴注入层
空穴传输层
量子点发光层
电子传输层
反射阴极
衬底
37
33
36
35
34
32
31

图 6

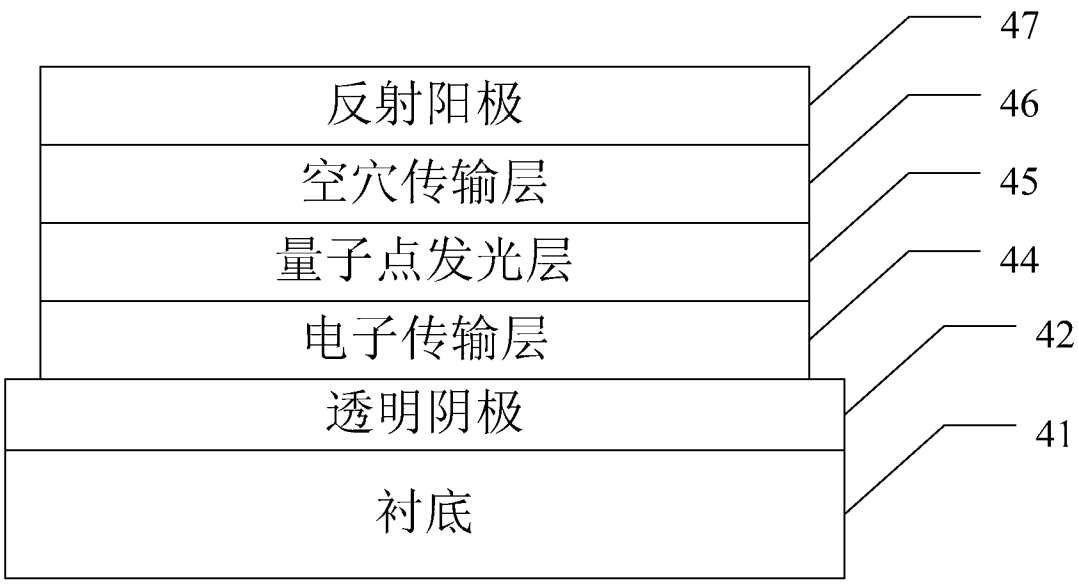

反射阳极
空穴传输层
量子点发光层
电子传输层
透明阴极
衬底
47
46
45
44
42
41

图 7

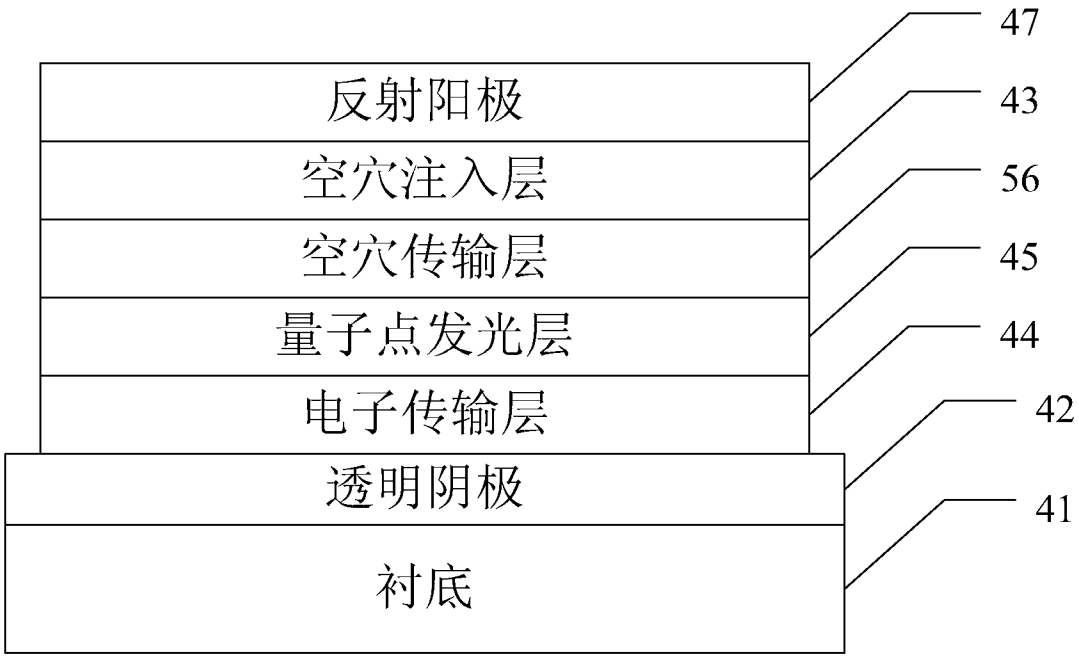

反射阳极
空穴注入层
空穴传输层
量子点发光层
电子传输层
透明阴极
衬底
47
43
56
45
44
42
41

图 8

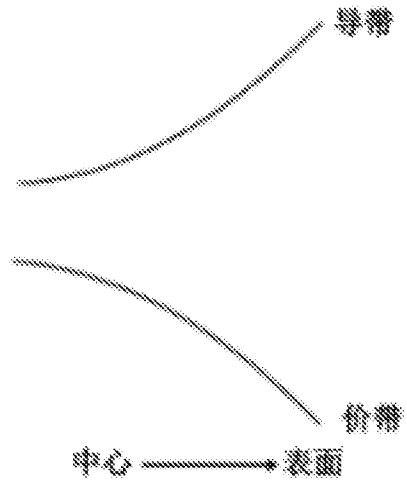


图 9

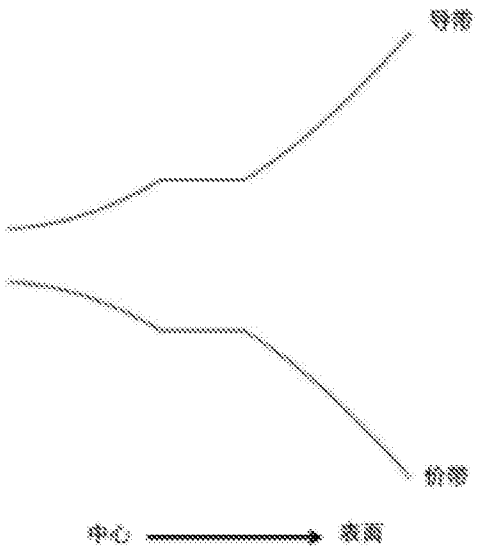


图 10

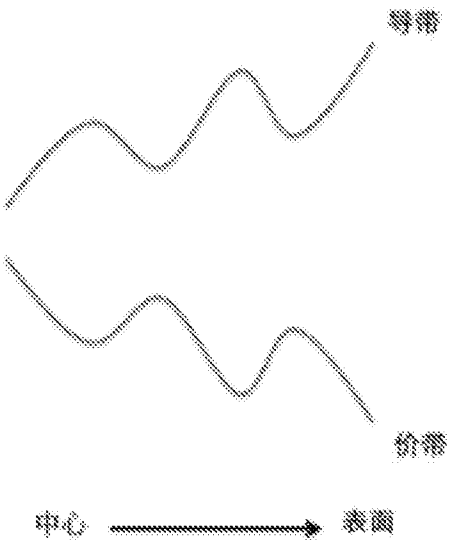


图 11

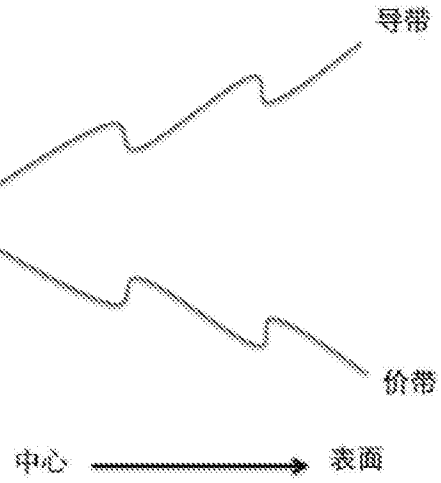


图 12

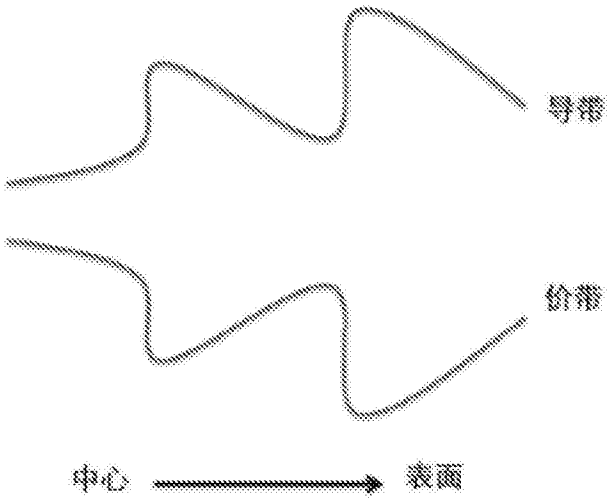


图 13

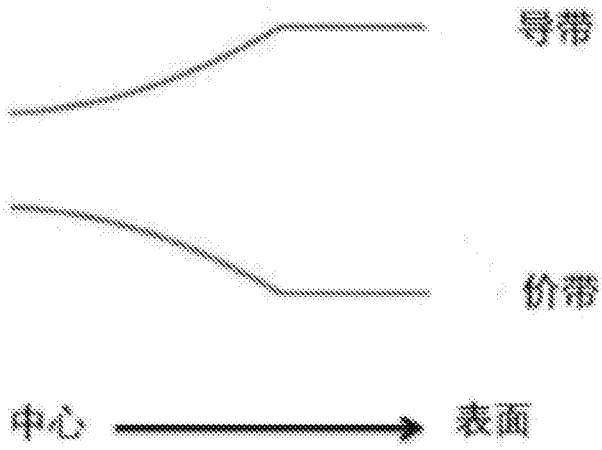


图 14

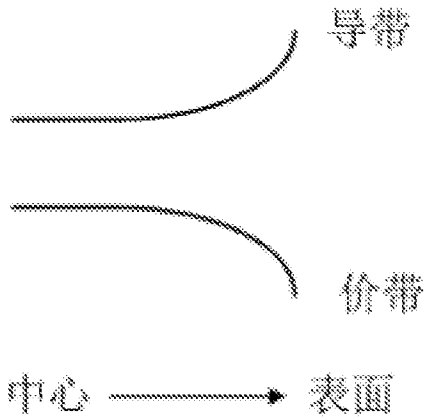

导带
价带
中心
表面

图 15

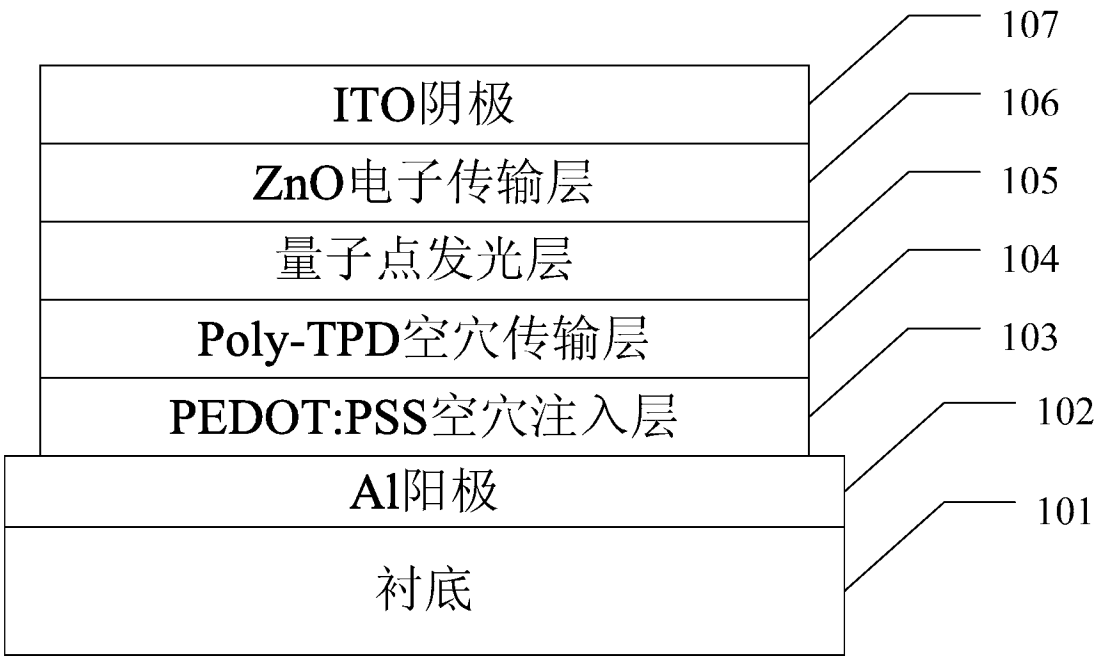

ITO阴极
ZnO电子传输层
量子点发光层
Poly-TPD空穴传输层
PEDOT:PSS空穴注入层
Al阳极
衬底
107
106
105
104
103
102
101

图 16

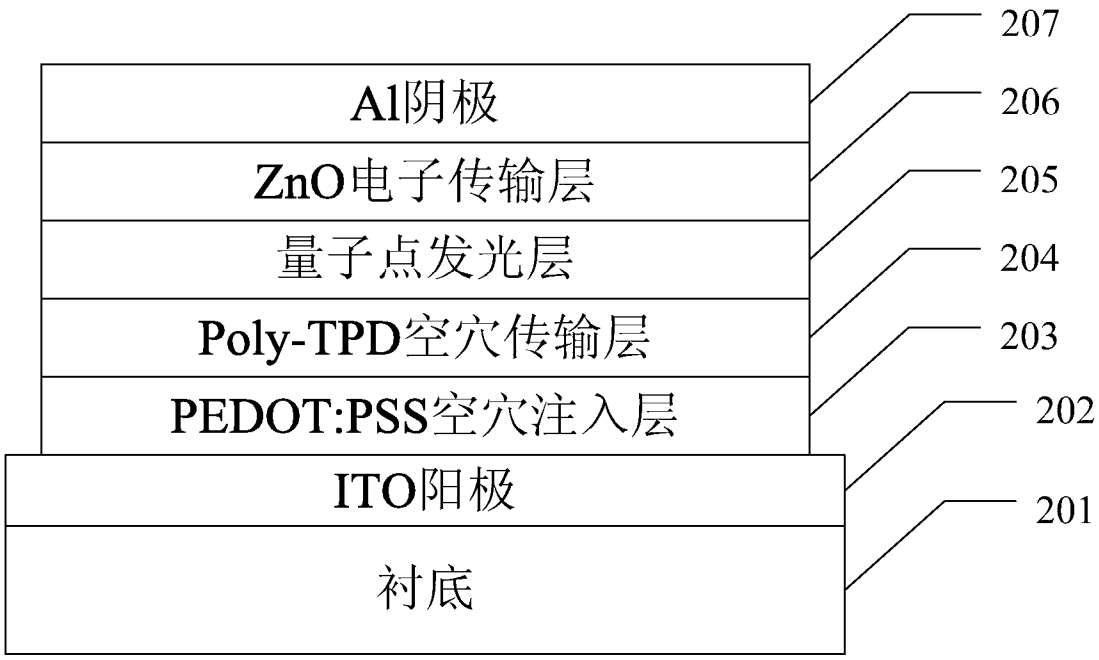

Al阴极
ZnO电子传输层
量子点发光层
Poly-TPD空穴传输层
PEDOT:PSS空穴注入层
ITO阳极
衬底
207
206
205
204
203
202
201

图 17

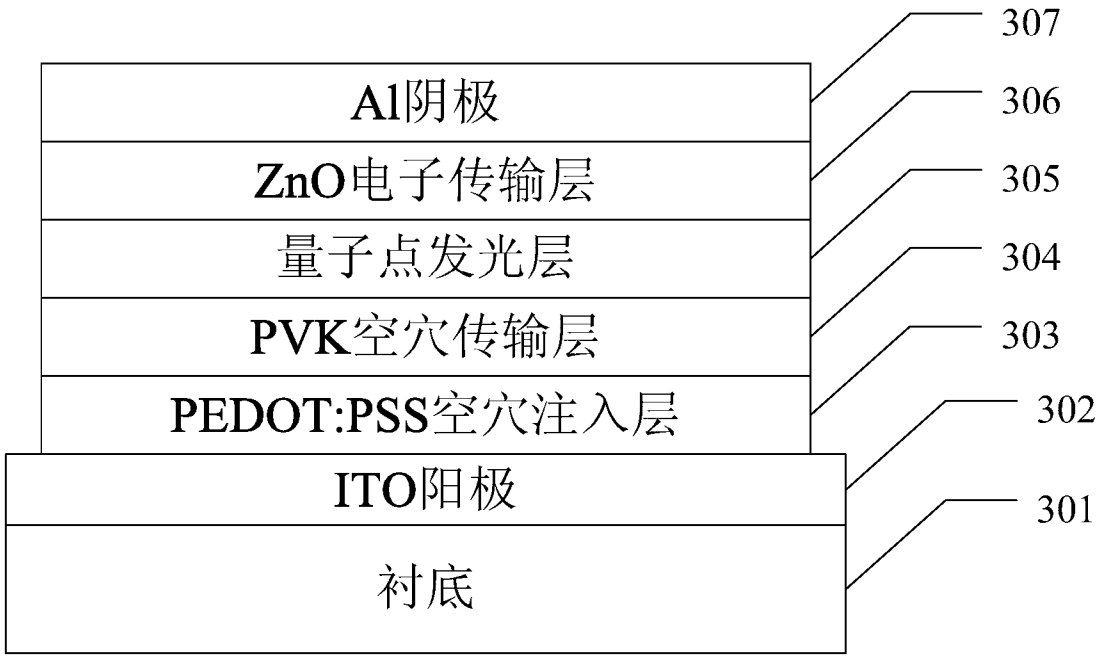

Al阴极
ZnO电子传输层
量子点发光层
PVK空穴传输层
PEDOT:PSS空穴注入层
ITO阳极
衬底
307
306
305
304
303
302
301

图 18

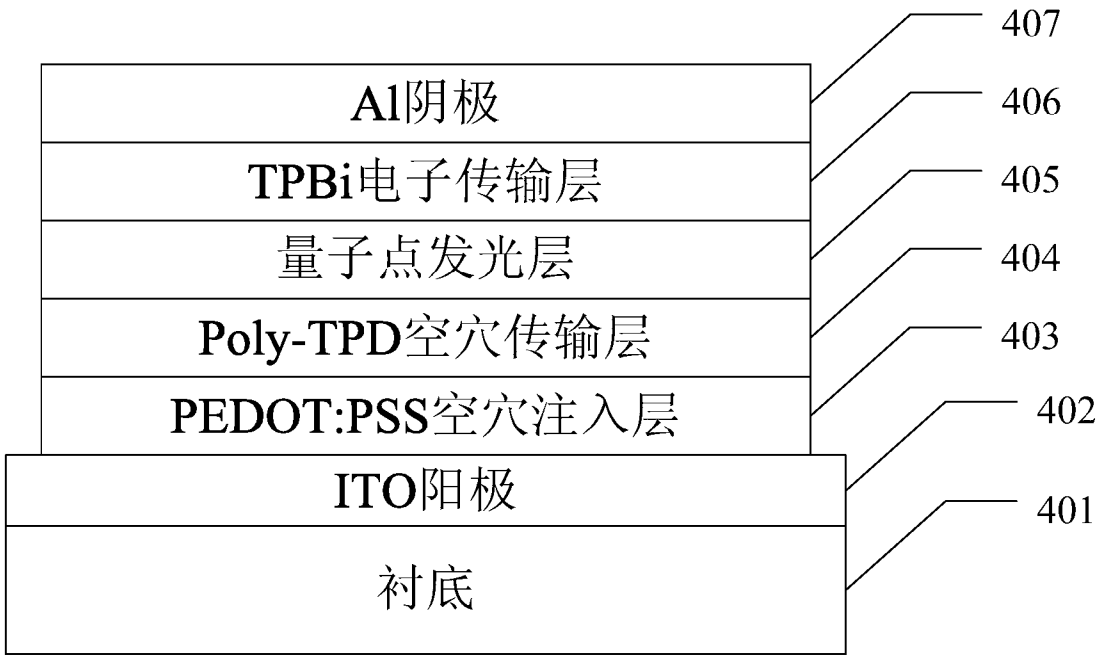

Al阴极
TPBi电子传输层
量子点发光层
Poly-TPD空穴传输层
PEDOT:PSS空穴注入层
ITO阳极
衬底
407
406
405
404
403
402
401

图 19


ITO阳极
MoO_3空穴注入层
NPB空穴传输层
量子点发光层
ZnO电子传输层
Al阴极
衬底
507
506
505
504
503
502
501

图 20

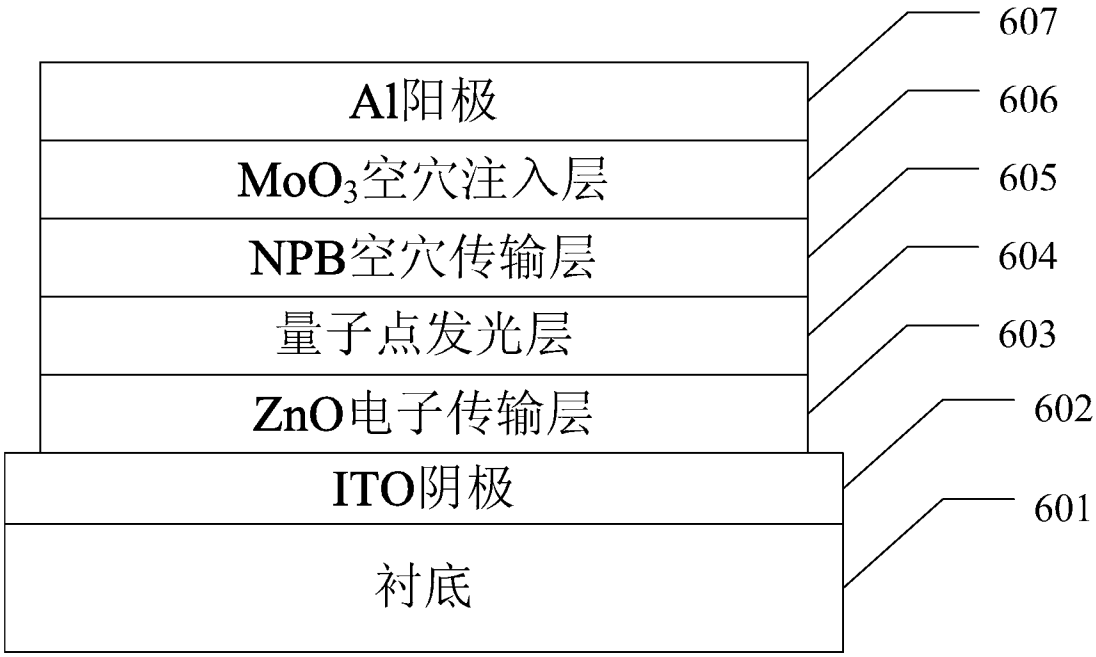

Al阳极
MoO_3空穴注入层
NPB空穴传输层
量子点发光层
ZnO电子传输层
ITO阴极
衬底
607
606
605
604
603
602
601

图 21

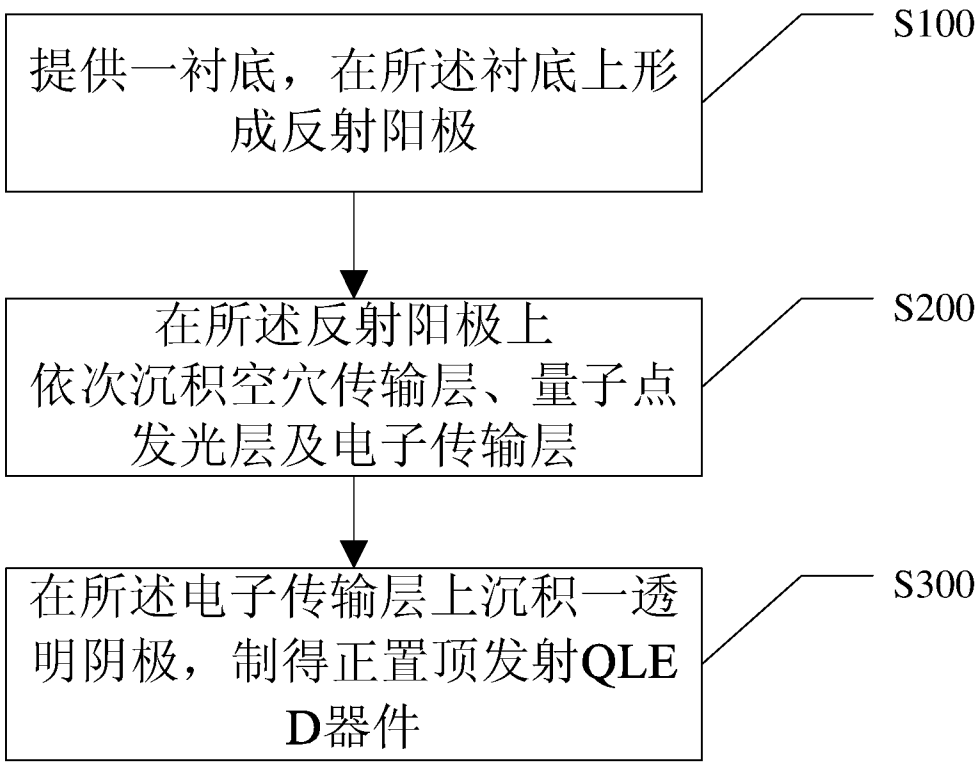

提供一衬底，在所述衬底上形成反射阳极
在所述反射阳极上依次沉积空穴传输层、量子点发光层及电子传输层
在所述电子传输层上沉积一透明阴极，制得正置顶发射QLED器件
S100
S200
S300

图 22

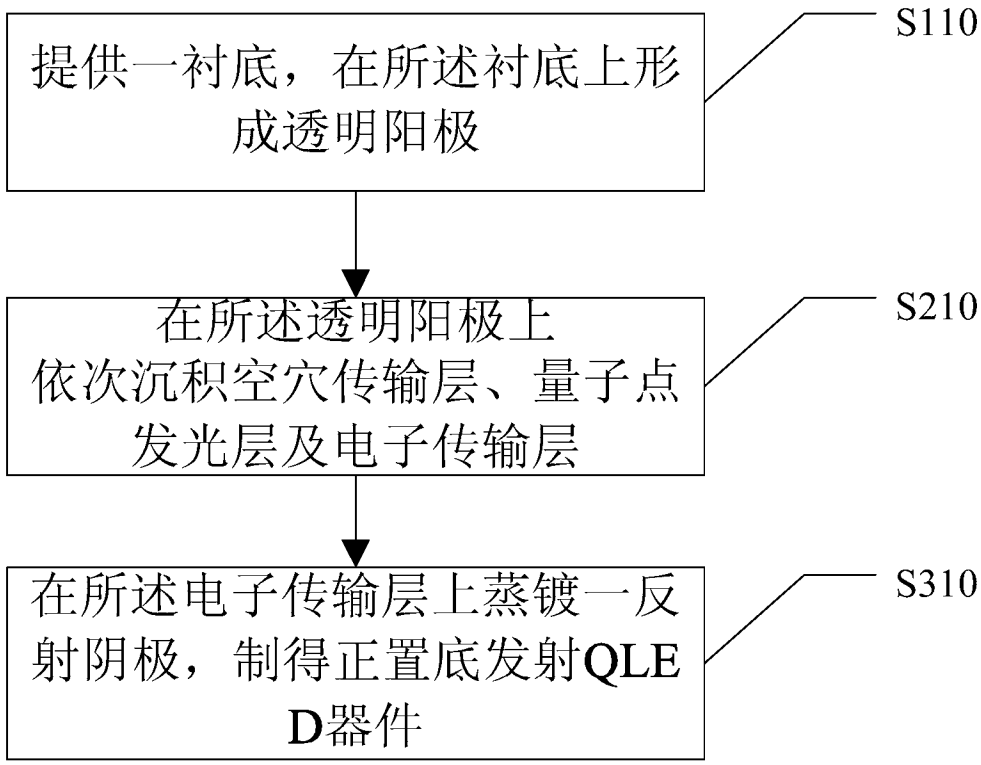

提供一衬底，在所述衬底上形成透明阳极
S110
在所述透明阳极上依次沉积空穴传输层、量子点发光层及电子传输层
S210
在所述电子传输层上蒸镀一反射阴极，制得正置底发射QLED器件
S310

图 23

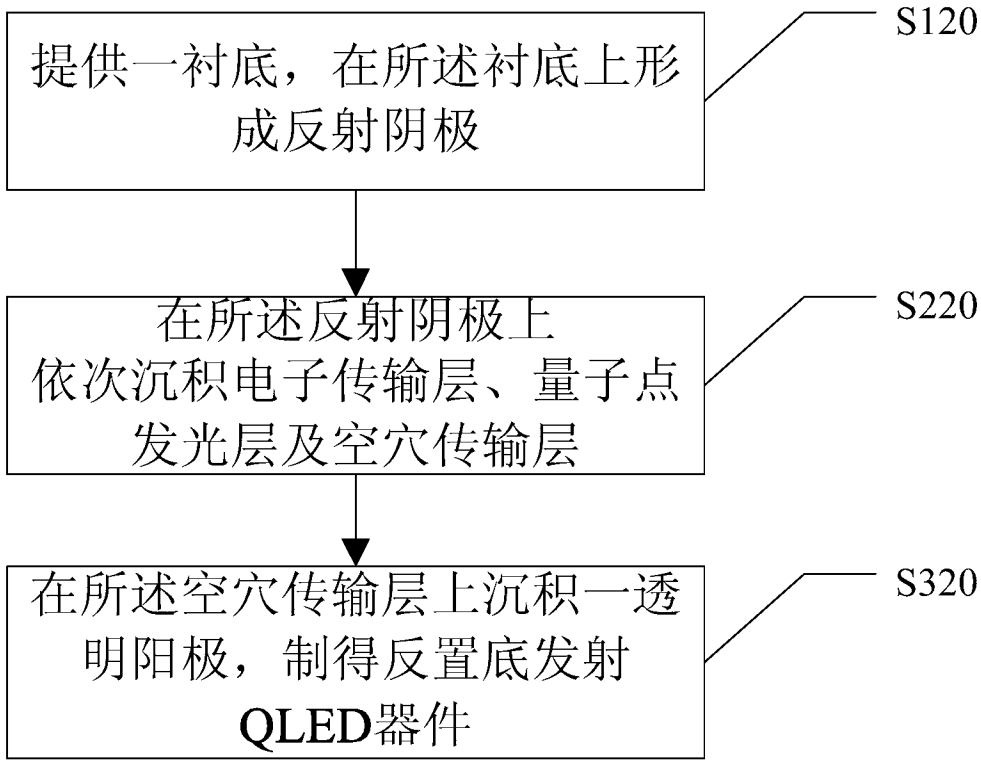

提供一衬底，在所述衬底上形成反射阴极
S120
在所述反射阴极上依次沉积电子传输层、量子点发光层及空穴传输层
S220
在所述空穴传输层上沉积一透明阳极，制得反置底发射QLED器件
S320

图 24

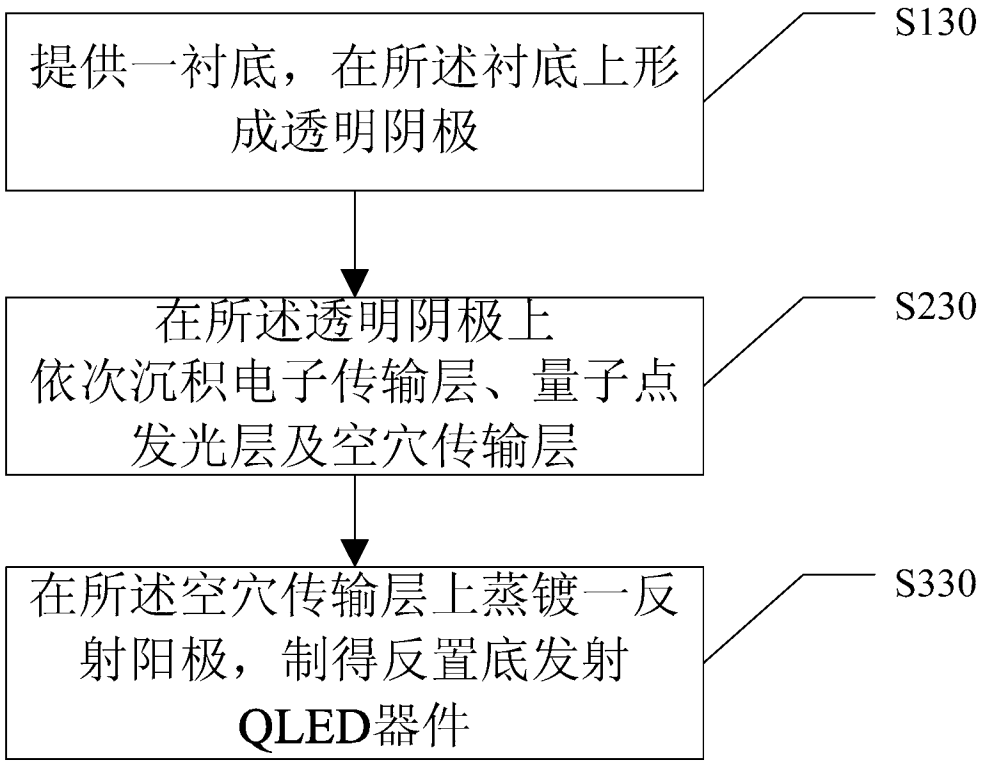

提供一衬底，在所述衬底上形成透明阴极
S130
在所述透明阴极上依次沉积电子传输层、量子点发光层及空穴传输层
S230
在所述空穴传输层上蒸镀一反射阳极，制得反置底发射QLED器件
S330

图 25

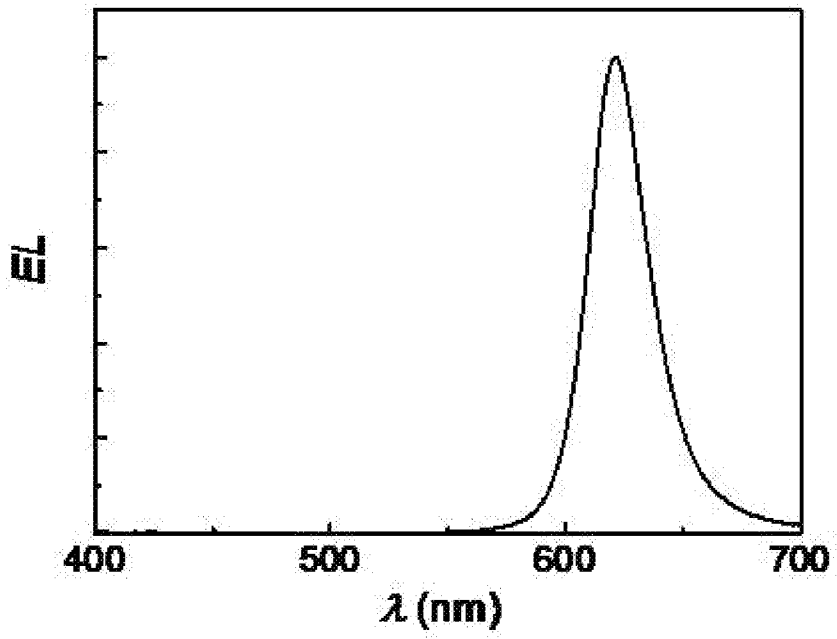

EL
400
500
600
700
λ (nm)

图 26

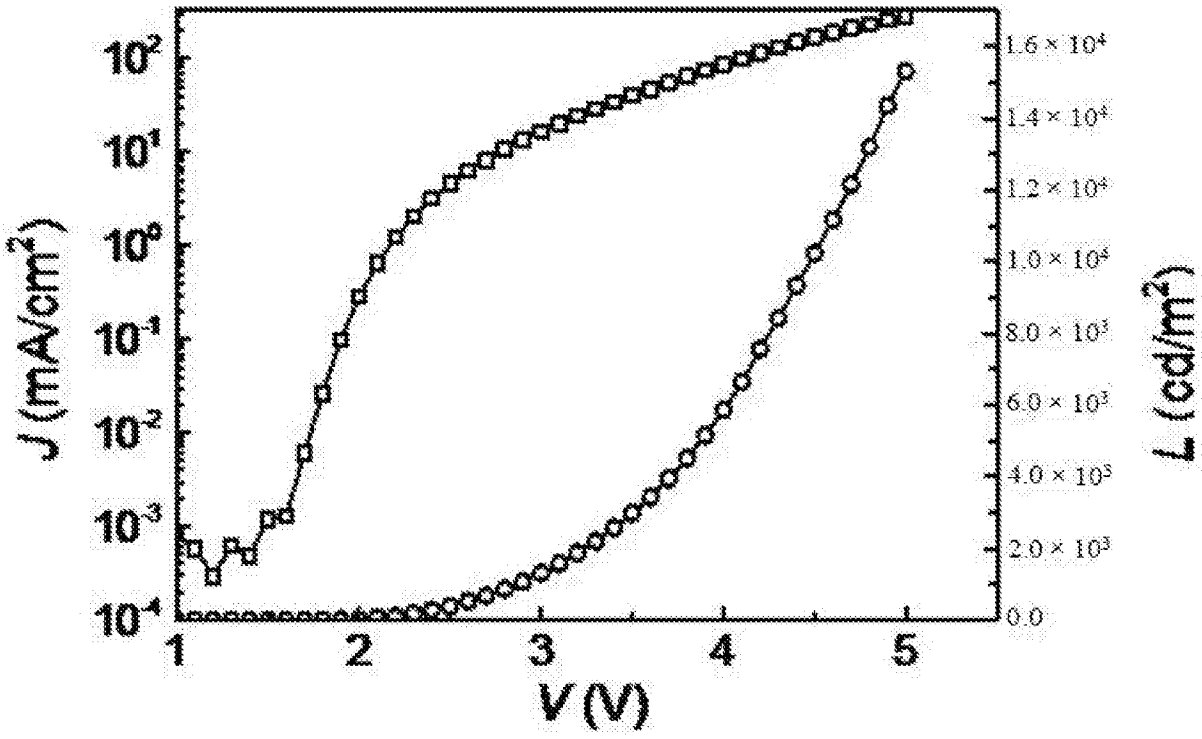

J (mA/cm²)
L (cd/m²)
V (V)
10²
10¹
10⁰
10⁻¹
10⁻²
10⁻³
10⁻⁴
1.6 × 10⁴
1.4 × 10⁴
1.2 × 10⁴
1.0 × 10⁴
8.0 × 10³
6.0 × 10³
4.0 × 10³
2.0 × 10³
0.0
1
2
3
4
5

图 27

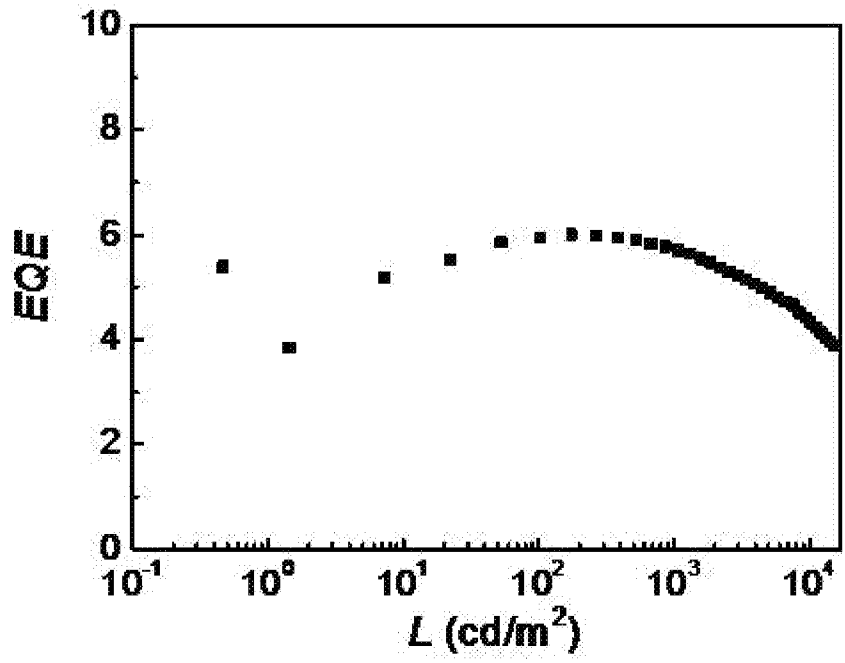

EQE
L (cd/m²)
10
8
6
4
2
0
10⁻¹
10⁰
10¹
10²
10³
10⁴

图 28

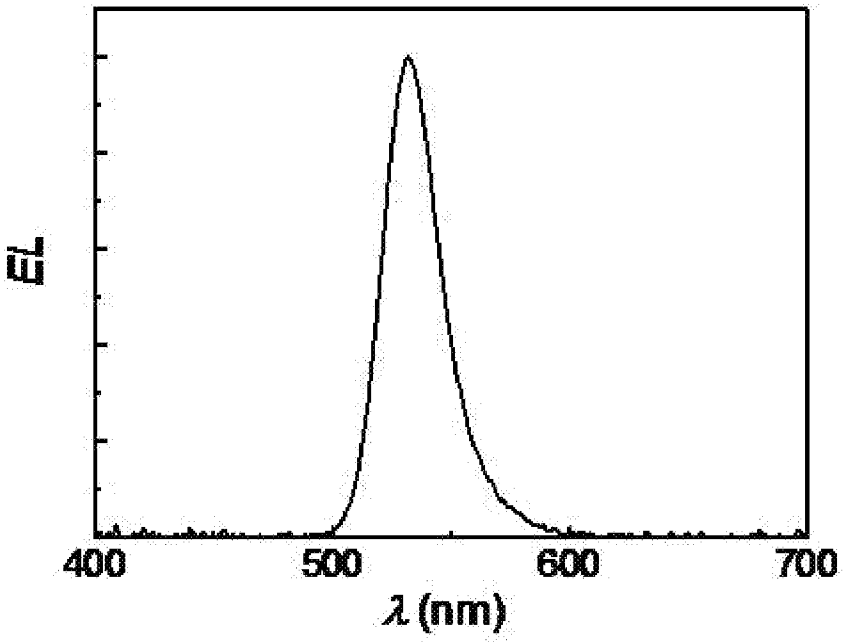

EL
400
500
600
700
λ (nm)

图 29

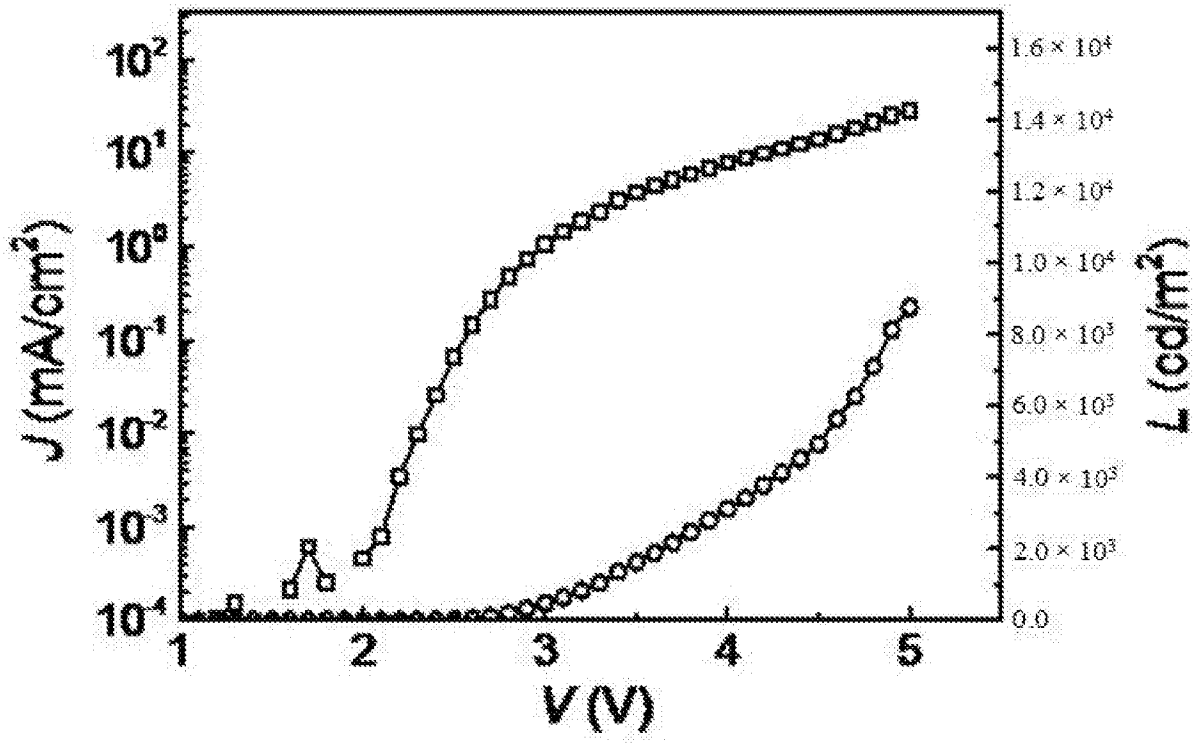

J (mA/cm²)
10²
10¹
10⁰
10⁻¹
10⁻²
10⁻³
10⁻⁴
1
2
3
4
5
V (V)
1.6 × 10⁴
1.4 × 10⁴
1.2 × 10⁴
1.0 × 10⁴
8.0 × 10³
6.0 × 10³
4.0 × 10³
2.0 × 10³
0.0
L (cd/m²)

图 30

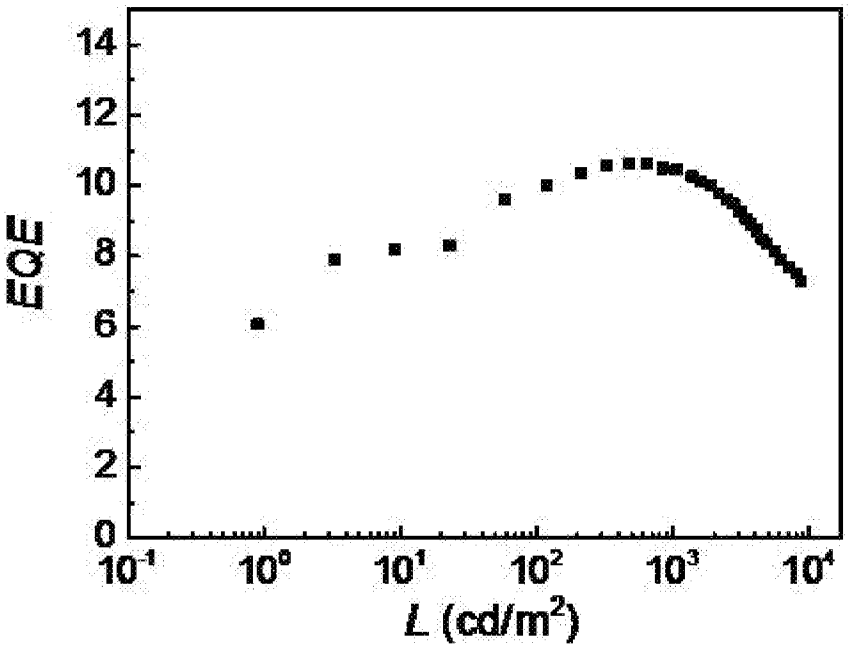

EQE
14
12
10
8
6
4
2
0
10-1
100
101
102
103
104
L (cd/m2)

图 31

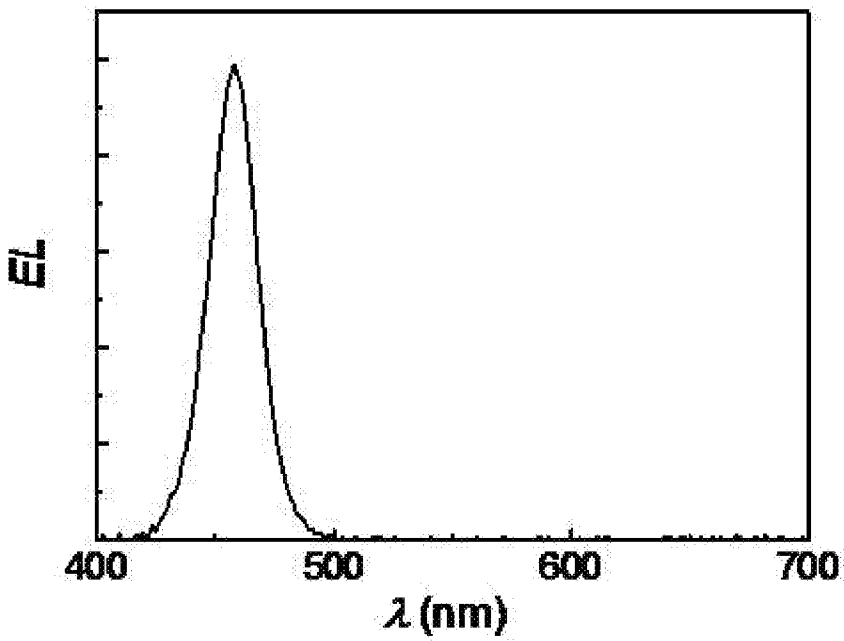

EL
400
500
600
700
λ (nm)

图 32

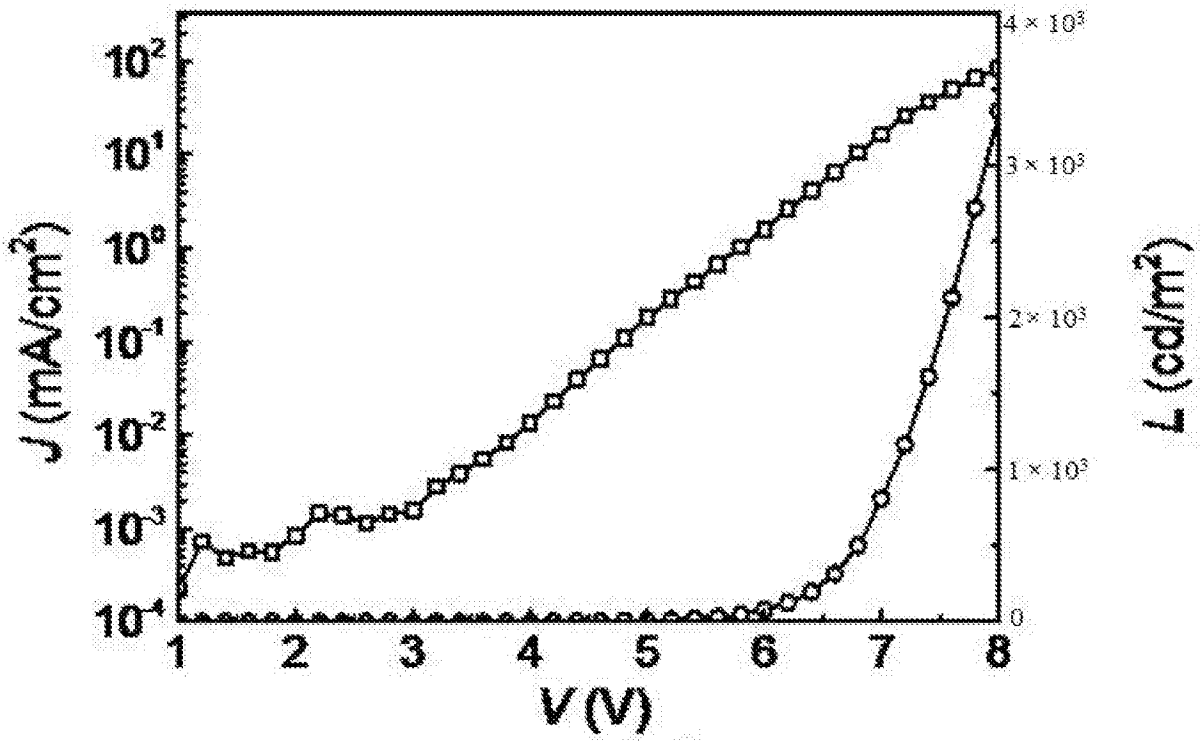

J (mA/cm²)
L (cd/m²)
V (V)
10²
10¹
10⁰
10⁻¹
10⁻²
10⁻³
10⁻⁴
4 × 10³
3 × 10³
2 × 10³
1 × 10³
0
1
2
3
4
5
6
7
8

图 33

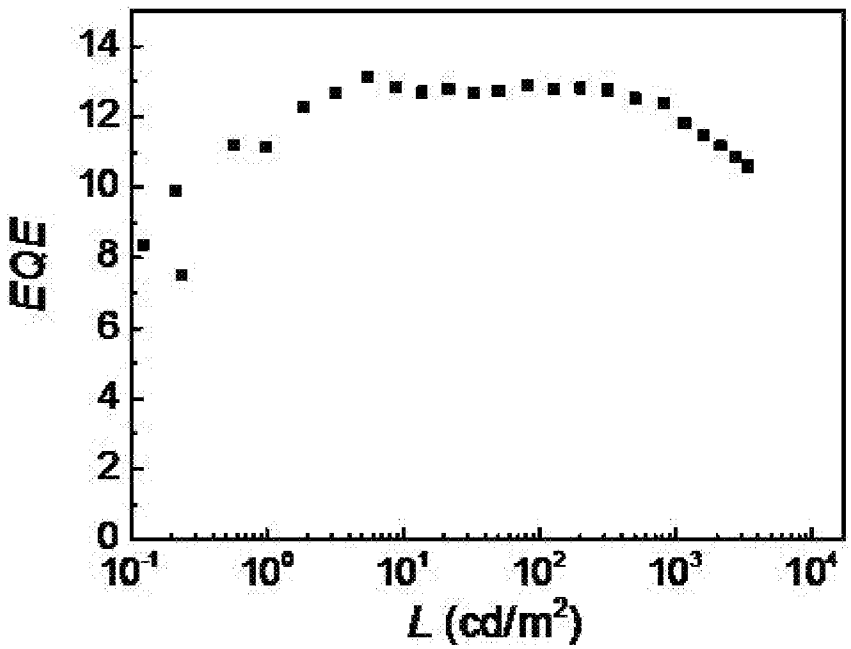

EQE
L (cd/m²)
14
12
10
8
6
4
2
0
10⁻¹
10⁰
10¹
10²
10³
10⁴

图 34

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/080618

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 51/50 (2006.01) i; H01L 51/54 (2006.01) i; H01L 51/56 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, SIPOABS, DWPI, CNTXT, USTXT: 量子点, 发光, 梯度, 带隙; quantum dot, light emitting, gradient, band gap

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	CN 106601886 A (TCL CORPORATION), 26 April 2017 (26.04.2017), description, paragraphs [0013]-[0247], and figures 1-13	1-42
Y	CN 101842460 A (EASTMAN KODAK COMPANY), 22 September 2010 (22.09.2010), description, paragraphs [0015]-[0158], and figures 1-14B	1-42
Y	US 2011311453 A1 (UNIV INDIANA RES & TECHNOLOGY CORP.), 22 December 2011 (22.12.2011), description, paragraphs [0049]-[0154], and figure 6	1-42

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
28 September 2017	11 October 2017
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer WANG, Xiaofeng Telephone No. (86-10) 62089918

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/080618

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 106601886 A	26 April 2017	None	
CN 101842460 A	22 September 2010	US 7777233 B2	17 August 2010
		TW I465387 B	21 December 2014
		EP 2212398 A1	04 August 2010
		US 2009109435 A1	30 April 2009
		JP 2011502333 A	20 January 2011
		US 8242515 B2	14 August 2012
		WO 2009058172 A1	07 May 2009
		TW 200918448 A	01 May 2009
		US 2010289001 A1	18 November 2010
US 2011311453 A1	22 December 2011	US 7981667 B2	19 July 2011
		US 8420155 B2	16 April 2013
		CA 2524350 C	14 April 2015
		WO 2005001889 A2	06 January 2005
		US 2007111324 A1	17 May 2007
		WO 2005001889 A3	20 April 2006
		JP 4740862 B2	03 August 2011
		JP 2010267989 A	25 November 2010
		EP 1627420 A2	22 February 2006
		CA 2524350 A1	06 January 2005
		EP 1627420 A4	22 July 2009
		EP 2530719 A3	02 July 2014
		EP 2530719 A2	05 December 2012
		JP 2007514133 A	31 May 2007

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2017/080618

A. 主题的分类

H01L 51/50(2006.01)i; H01L 51/54(2006.01)i; H01L 51/56(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H01L

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用）)

CNABS, SIPOABS, DWPI, CNTXT, USTXT: 量子点，发光，梯度，带隙；quantum dot, light emitting, gradient, band gap

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
E	CN 106601886 A (TCL集团股份有限公司) 2017年 4月 26日 (2017-04-26) 说明书第[0013]-[0247]段，附图1-13	1-42
Y	CN 101842460 A (伊斯曼柯达公司) 2010年 9月 22日 (2010-09-22) 说明书第[0015]-[0158]段，附图1-14B	1-42
Y	US 2011311453 A1 (UNIV INDIANA RES & TECHNOLOGY CORP) 2011年 12月 22日 (2011-12-22) 说明书第[0049]-[0154]段，附图6	1-42

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2017年 9月 28日	2017年 10月 11日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	王晓峰
传真号 (86-10)62019451	电话号码 (86-10)62089918

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2017/080618

检索报告引用的专利文件			公布日（年/月/日）	同族专利			公布日（年/月/日）
CN	106601886	A	2017年 4月 26日	无			
CN	101842460	A	2010年 9月 22日	US	7777233	B2	2010年 8月 17日
				TW	I465387	B	2014年 12月 21日
				EP	2212398	A1	2010年 8月 4日
				US	2009109435	A1	2009年 4月 30日
				JP	2011502333	A	2011年 1月 20日
				US	8242515	B2	2012年 8月 14日
				WO	2009058172	A1	2009年 5月 7日
				TW	200918448	A	2009年 5月 1日
				US	2010289001	A1	2010年 11月 18日
US	2011311453	A1	2011年 12月 22日	US	7981667	B2	2011年 7月 19日
				US	8420155	B2	2013年 4月 16日
				CA	2524350	C	2015年 4月 14日
				WO	2005001889	A2	2005年 1月 6日
				US	2007111324	A1	2007年 5月 17日
				WO	2005001889	A3	2006年 4月 20日
				JP	4740862	B2	2011年 8月 3日
				JP	2010267989	A	2010年 11月 25日
				EP	1627420	A2	2006年 2月 22日
				CA	2524350	A1	2005年 1月 6日
				EP	1627420	A4	2009年 7月 22日
				EP	2530719	A3	2014年 7月 2日
				EP	2530719	A2	2012年 12月 5日
				JP	2007514133	A	2007年 5月 31日