



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108305949 A

(43)申请公布日 2018.07.20

(21)申请号 201710019209.6

(22)申请日 2017.01.11

(71)申请人 南京工业大学

地址 210009 江苏省南京市新模范马路5号

(72)发明人 王建浦 王娜娜 黄维 张树婷

(74)专利代理机构 北京恒创益佳知识产权代理
事务所(普通合伙) 11556

代理人 柴淑芳

(51)Int.Cl.

H01L 51/50(2006.01)

H01L 51/54(2006.01)

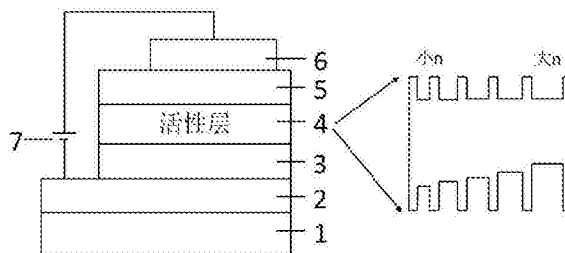
权利要求书1页 说明书6页 附图6页

(54)发明名称

一种多量子阱钙钛矿材料量子阱阱宽的调整方法及其应用和器件

(57)摘要

本发明公开了一种多量子阱钙钛矿材料量子阱阱宽的调整方法及其应用和器件,所述多量子阱钙钛矿材料由 AX^1 、 BX^2 和 MX^3 按摩尔比 $a:b:c$ 制备得到,其中, $a:b:c=(1\sim 100):(1\sim 100):(1\sim 100)$,其中A为 $R^1 Y^+$, R^1 为具有1~50个碳原子的脂族烃基、具有5~100个碳原子的脂环族烃基、具有6~100个碳原子的任取代的芳基或具有3~100个碳原子的任取代的杂环基, Y^+ 为胺、含N杂环有机阳离子中的任意一种;B为甲胺、甲脒或金属离子;M为金属元素; X^1 、 X^2 、 X^3 为卤族元素;所述调整方法为:通过 BX^2 含量、 AX^1 含量的调整控制不同能隙量子阱结构的含量,从而实现量子阱阱宽的调整, BX^2 含量增加,窄能隙量子阱含量增加或者阱宽变宽, AX^1 含量增加,宽能隙量子阱含量增加或阱宽变窄;通过多量子阱阱宽的调控可实现钙钛矿发光器件效率的优化。



1. 一种多量子阱钙钛矿材料量子阱宽的调整方法,其特征在于,所述多量子阱钙钛矿材料由 AX^1 、 BX^2 和 MX^3 按摩尔比 $a:b:c$ 制备得到,其中, $a:b:c=(1\sim 100):(1\sim 100):(1\sim 100)$,其中A为 R^1Y^+ , R^1 为具有1~50个碳原子的脂族烃基、具有5~100个碳原子的脂环族烃基、具有6~100个碳原子的任取代的芳基或具有3~100个碳原子的任取代的杂环基, Y^+ 为胺、含N杂环有机阳离子中的任意一种;B为甲胺、甲脒或金属离子;M为金属元素; X^1 、 X^2 、 X^3 为卤族元素;所述调整方法为:通过 BX^2 含量、或 AX^1 含量调整控制不同能隙量子阱材料的含量,从而实现量子阱宽的调整, BX^2 含量增加,窄能隙量子阱含量增加或者阱宽变宽, AX^1 含量增加,宽能隙量子阱含量增加或者阱宽变窄;通过多量子阱宽度的调控可实现钙钛矿发光器件效率的优化。

2. 根据权利要求1所述的调整方法,其特征在于,所使用的代表性材料 AX^1 为 $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 、 $C_{10}H_7CH_2NH_3Br$ 、 $C_6H_5CH_2NH_3I$ 、 $C_6H_5(CH_2)_2NH_3I$ 、 $C_6H_5(CH_2)_4NH_3I$, BX^2 为 CH_3NH_3I 、 $NH_2CH=NH_2I$ 、 CsI 、 $NH_2CH=NH_2Br$ 、 $NH_2CH=NH_2Cl$ 、 CH_3NH_3Br 、 CH_3NH_3Cl 、 $CsBr$ 、 $CsCl$, MX^3 为 PbI_2 、 $PbBr_2$ 、 $PbCl_2$ 。

3. 根据权利要求1所述的调整方法,其特征在于,所述多量子阱钙钛矿材料是具有自组装多量子阱结构的钙钛矿材料,其作为多量子阱钙钛矿发光器件的发光层。

4. 根据权利要求2所述的调整方法,其特征在于, $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 、 $NH_2CH=NH_2I$ (FAI)和 PbI_2 的比例为2:1.9:2或1.4:1.9:2。

5. 根据权利要求2所述的调整方法,其特征在于, $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 、 CsI 和 PbI_2 比例为2:3:2或2.2:3:2。

6. 权利要求1-5任一所述方法在调整多量子阱钙钛矿材料量子阱宽中的应用。

7. 权利要求1-5任一所述方法获得的多量子阱钙钛矿材料。

8. 权利要求7所述的多量子阱钙钛矿材料制备的多量子阱钙钛矿发光器件,多量子阱钙钛矿材料作为多量子阱钙钛矿发光器件的发光层。

9. 根据权利要求8所述的多量子阱钙钛矿材料发光器件,其特征在于, $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 、 $NH_2CH=NH_2I$ (FAI)和 PbI_2 的比例为2:1.9:2或1.4:1.9:2,外量子转换效率分别达到12.8%和14.5%。

10. 根据权利要求8所述的多量子阱钙钛矿材料发光器件,其特征在于, $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 、 CsI 和 PbI_2 比例为2:3:2或2.2:3:2,外量子转换效率分别达到5.7%和7.4%。

一种多量子阱钙钛矿材料量子阱宽的调整方法及其应用和器件

技术领域

[0001] 本发明涉及有机-无机杂化钙钛矿材料,尤其涉及的是一种多量子阱钙钛矿材料量子阱宽的调整方法及其应用和器件。

背景技术

[0002] 近年来,有机-无机杂化钙钛矿材料已经成为太阳能电池领域的“明星”,引起了人们的广泛重视。除了应用在太阳能电池中,钙钛矿材料也可以作为发光材料应用在发光器件中。最新研究表明,通过低温溶液法可以实现具有多量子阱结构的钙钛矿材料,具有低缺陷密度、荧光量子效率高以及通过简单的组分调整即可调节发光峰位的优势。基于多量子阱结构钙钛矿材料的发光器件(LED)具有高发光效率(器件外量子效率达到11.7%),然而随着外加电流增加,器件效率衰减迅速,导致大电流条件下器件外量子效率和稳定性较低。但是在发光器件实际应用过程中,通常要求器件工作在较高电流区域,因此需要寻找一种提高大电流条件下器件效率和稳定性的方法。

发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题是针对现有技术的不足提供一种多量子阱钙钛矿材料量子阱宽的调整方法及其应用和器件。

[0004] 本发明的技术方案如下:

[0005] 一种多量子阱钙钛矿材料量子阱宽的调整方法,所述多量子阱钙钛矿材料由 AX^1 、 BX^2 和 MX^3_2 按摩尔比 $a:b:c$ 制备得到,其中, $a:b:c=(1\sim 100):(1\sim 100):(1\sim 100)$,其中A为 R^1-Y^+ , R^1 为具有1~50个碳原子的脂族烃基、具有5~100个碳原子的脂环族烃基、具有6~100个碳原子的任取代的芳基或具有3~100个碳原子的任取代的杂环基, Y^+ 为胺、含N杂环有机阳离子中的任意一种;B为甲胺、甲脒或金属离子;M为金属元素; X^1 、 X^2 、 X^3 为卤族元素;所述调整方法为:通过 BX^2 含量、或 AX^1 含量或 MX^3_2 含量的调整控制不同能隙量子阱材料的含量,从而实现量子阱宽的调整, BX^2 含量增加,窄能隙量子阱含量增加或者阱宽变宽, AX^1 含量增加,宽能隙量子阱含量增加或者阱宽变窄;通过多量子阱宽度的调控可实现钙钛矿发光器件效率的优化。

[0006] 所述的调整方法,所使用的代表性材料 AX^1 为 $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 、 $C_{10}H_7CH_2NH_3Br$ 、 $C_6H_5CH_2NH_3I$ 、 $C_6H_5(CH_2)_2NH_3I$ 、 $C_6H_5(CH_2)_4NH_3I$, BX^2 为 CH_3NH_3I 、 $NH_2CH=NH_2I$ 、 CsI 、 $NH_2CH=NH_2Br$ 、 $NH_2CH=NH_2Cl$ 、 CH_3NH_3Br 、 CH_3NH_3Cl 、 $CsBr$ 、 $CsCl$, MX^3_2 为 PbI_2 、 $PbBr_2$ 、 $PbCl_2$ 。

[0007] 所述的调整方法,所述多量子阱钙钛矿材料是具有自组装多量子阱结构的钙钛矿材料,其作为多量子阱钙钛矿发光器件的发光层。

[0008] 所述的调整方法, $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 、 $NH_2CH=NH_2I$ (FAI)和 PbI_2 的比例为2:1.9:2或1.4:1.9:2。

[0009] 所述的调整方法, $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 、 CsI 和 PbI_2 比例为2:3:2或2.2:3:2。

- [0010] 任一所述方法在调整多量子阱钙钛矿材料量子阱宽中的应用。
- [0011] 任一所述方法获得的多量子阱钙钛矿材料。
- [0012] 所述的多量子阱钙钛矿材料制备的多量子阱钙钛矿发光器件,多量子阱钙钛矿材料作为多量子阱钙钛矿发光器件的发光层。
- [0013] 所述的多量子阱钙钛矿发光器件, $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 、 $NH_2CH=NH_2I$ (FAI) 和 PbI_2 的比例为2:1.9:2或1.4:1.9:2,外量子转换效率分别达到12.8%和14.5%。
- [0014] 所述的多量子阱钙钛矿发光器件, $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 、 CsI 和 PbI_2 比例为2:3:2或2.2:3:2,外量子转换效率分别达到5.7%和7.4%。
- [0015] 本发明通过钙钛矿材料组分调整实现多量子阱结构的调整,抑制器件中的俄歇复合,从而达到高电流条件下提高器件发光效率和稳定性的目的。

附图说明

- [0016] 图1是本发明所提供的钙钛矿型器件的结构示意图;
- [0017] 图2是本发明所提供的实施例1的钙钛矿材料的吸收光谱图;
- [0018] 图3是本发明所提供的实施例1的钙钛矿材料的光致发光光谱图;
- [0019] 图4是本发明所提供的实施例1的钙钛矿材料的X射线衍射谱;
- [0020] 图5是本发明所提供的实施例1的钙钛矿材料薄膜的SEM图像;
- [0021] 图6是本发明所提供的实施例2的钙钛矿材料的吸收光谱图;
- [0022] 图7是本发明所提供的实施例2的钙钛矿材料的光致发光光谱图;
- [0023] 图8是本发明所提供的实施例3的钙钛矿材料的吸收光谱图;
- [0024] 图9是本发明所提供的实施例3的钙钛矿材料的光致发光光谱图;
- [0025] 图10是本发明所提供的实施例4的钙钛矿材料的吸收光谱图;
- [0026] 图11是本发明所提供的实施例4的钙钛矿材料的光致发光光谱图;
- [0027] 图12是本发明所提供的实施例5的MQW LED器件的电致发光光谱;
- [0028] 图13是本发明所提供的实施例5的MQW LED器件电压-电流密度关系曲线;
- [0029] 图14是本发明所提供的实施例5的MQW LED器件电压-辐射强度关系曲线;
- [0030] 图15是本发明所提供的实施例5的MQW LED器件电流密度-外量子效率关系曲线;
- [0031] 图16是本发明所提供的实施例5的钙钛矿材料的PLQE对光强依赖的关系曲线;
- [0032] 图17是本发明所提供的实施例6的MQW LED器件的电致发光光谱;
- [0033] 图18是本发明所提供的实施例6的MQW LED器件电压-电流密度关系曲线;
- [0034] 图19是本发明所提供的实施例6的MQW LED器件电压-辐射强度关系曲线;
- [0035] 图20是本发明所提供的实施例6的MQW LED器件电流密度-外量子效率关系曲线;
- [0036] 图21是本发明所提供的实施例6的钙钛矿材料的PLQE对光强依赖的关系曲线;
- [0037] 图22是本发明所提供的实施例7的MQW LED器件的电致发光光谱;
- [0038] 图23是本发明所提供的实施例7的MQW LED器件电压-电流密度关系曲线;
- [0039] 图24是本发明所提供的实施例7的MQW LED器件电压-发光强度关系曲线;
- [0040] 图25是本发明所提供的实施例7的MQW LED器件电流密度-外量子效率关系曲线;
- [0041] 图26是本发明所提供的实施例8的MQW LED器件的电致发光光谱;
- [0042] 图27是本发明所提供的实施例8的MQW LED器件电压-电流密度关系曲线;

[0043] 图28是本发明所提供的实施例8的MQW LED器件电压-发光强度关系曲线;

[0044] 图29是本发明所提供的实施例8的MQW LED器件电流密度-外量子效率关系曲线;

具体实施方式

[0045] 以下结合具体实施例,对本发明进行详细说明。

[0046] 如图1所示,多量子阱钙钛矿发光器件从下到上依次包括透明衬底1、阴极层2、电子传输层3、发光层4、空穴传输层5和阳极层6,阴极层2位于透明衬底1表面,器件在外加电源7的驱动下工作。其中,发光层4为具有自组装多量子阱结构的钙钛矿材料,可通过材料组分的调整控制不同能隙量子阱材料的含量,从而实现量子阱宽的调整,该材料由 AX^1 、 BX^2 和 MX^3 按摩尔比 $a:b:c$ 制备得到,其中, $a:b:c=(1\sim 100):(1\sim 100):(1\sim 100)$,其中A为 R^1-Y^+ , R^1 为具有1~50个碳原子的脂族烷基、具有5~100个碳原子的脂环族烷基、具有6~100个碳原子的任取代的芳基或具有3~100个碳原子的任取代的杂环基, Y^+ 为胺、含N杂环有机阳离子中的任意一种; M 为金属元素; X^1 、 X^2 、 X^3 为卤族元素;当将 X^1 、 X^2 、 X^3 统一用 X 表示时,其结构式可以表示为 $A_2B_{n-1}M_nX_{3n+1}$,其中, n 为所述钙钛矿材料无机骨架的层数。随着 BX^2 含量增加窄能隙量子阱含量增加或者阱宽变宽, AX^1 含量增加宽能隙量子阱含量增加或者阱宽变窄;通过多量子阱阱宽的调控可实现钙钛矿发光器件效率的优化。所使用的代表性材料 AX^1 为 $C_{10}H_7CH_2NH_3I$, BX^2 为 CH_3NH_3I 、 $NH_2CH=NH_2I$ 、 CsI , MX^3 为 PbI_2 ,包括但不限于此。

[0047] 实施例1多量子阱钙钛矿材料的制备。

[0048] 将 $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 、 $NH_2CH=NH_2I$ (FAI) 和 PbI_2 按摩尔比2:1:2配成前驱体溶液(NFPI-1),然后固定 $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 和 PbI_2 的摩尔比2:2,同时不断调节FAI的摩尔数0.1~50,配置不同摩尔比的前驱体溶液NFPI-N(2:1.75:2、2:1.9:2、2:2.1:2、2:2.25:2等),在衬底上旋涂以上前驱体溶液,按照常规方法退火后得到具有多量子阱结构的钙钛矿薄膜。

[0049] 如图2所示,NFPI-1薄膜在569nm处具有一定的激子吸收峰,表明材料中存在 $n=2$ (宽能隙)的量子阱材料,同时还可以看出在近三维处较明显的吸收,表明材料中有大 n (窄能隙)的量子阱材料。吸收光谱表明,随着FAI的摩尔量的增加,大 n 材料组分吸收明显增强,说明大 n 的量子阱的组分含量越来越多。如图3所示,NFPI-1薄膜的光致发光峰位主要位于789nm,接近于三维钙钛矿材料的发光峰位,同时薄膜中还存在 $n=1$, $n=2$, $n=4$ 的钙钛矿材料的发光。与吸收光谱相一致,随着FAI摩尔量的增加,发光峰位不断红移,接近于三维钙钛矿的发光峰位,说明在多量子阱钙钛矿材料中,FAI的摩尔量不断增加,薄膜中窄能隙量子阱组分的含量也不断增加,即窄能隙量子阱宽变宽。另外,在控制多量子阱钙钛矿薄膜阱宽的同时,仍可实现能量由具有较大激子能量量子阱到具有较小激子能量量子阱的能量传递。

[0050] 图4是不同摩尔比的多量子阱钙钛矿材料NFPI-N1(2:1:2、2:1.75:2、2:1.9:2、2:2.1:2、2:2.25:2等)的X射线衍射谱(XRD),可以发现随着FAI含量的增加,XRD中 13.9° 和 28.2° 的峰越来越强,通过Scherrer公式计算,可以得到其晶粒越来越大。与图5薄膜的表明形貌(SEM)图相对应,表明这类多量子阱钙钛矿材料在一定的摩尔比下有较好的成膜性,而且随着FAI的量增加到一定程度,其窄能隙量子阱含量越来越多。说明FAI含量的调控,可以实现多量子阱结构阱宽的调控。

[0051] 实施例2多量子阱钙钛矿材料的制备。

[0052] 将 $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 、 $NH_2CH=NH_2I$ (FAI) 和 PbI_2 按摩尔比2:1.9:2配成前驱体溶液,然后固定FAI和 PbI_2 的摩尔比1.9:2,同时不断调节 $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 的摩尔数0.1~50(如2:1.9:2、1.8:1.9:2、1.6:1.9:2、1.4:1.9:2、1.3:1.9:2、1.2:1.9:2),配置不同摩尔比的前驱体溶液,在衬底上旋涂以上前驱体溶液,退火后得到具有多量子阱结构的钙钛矿薄膜。

[0053] 如图6和图7所示,随着 $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 含量的减少,钙钛矿薄膜的吸收和发光峰有轻微的偏移,可实现钙钛矿材料量子阱宽度的调整。

[0054] 实施例3多量子阱钙钛矿材料的制备。

[0055] 将 $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 、 CsI 和 PbI_2 按摩尔比2:1:2配成前驱体溶液(NCPI-1),然后固定 $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 和 PbI_2 的摩尔比2:2,同时不断调节 CsI 的摩尔数0.1~50,配置不同摩尔比的前驱体溶液(2:2:2、2:2.5:2、2:2.8:2、2:3:2、2:3.2:2、2:3.5:2等),在衬底上旋涂以上前驱体溶液,退火后得到具有多量子阱结构的钙钛矿薄膜。

[0056] 如图8所示,NCPI-1薄膜在516nm处具有一定的激子吸收峰,表明材料中存在 $n=1$ 的材料,同时还可以看出在近三维处有一定的吸收峰,表明材料中有大 n 的量子阱材料。还可以观察到,随着 CsI 比例的增加, $n=1$ 的材料含量越来越少,伴随着大 n 处偏三维材料组分吸收明显增强,说明大 n 量子阱的组分量越来越多,即窄能隙量子阱含量增加。如图9所示,NCPI-1薄膜的光致发光峰主要位于688nm,接近于三维钙钛矿材料的发光峰位,同时薄膜中还存在 $n=1$, $n=2$, $n=4$ 的钙钛矿材料的发光。与吸收光谱相一致,随着 CsI 含量的增加,发光峰在不断红移,越来越接近于三维钙钛矿的发光峰,说明在多量子阱钙钛矿材料中, CsI 摩尔量不断增加,薄膜中窄能隙量子阱组分的含量也不断增加,多量子阱材料窄能隙量子阱的阱宽变宽。另外,在控制多量子阱钙钛矿薄膜的量子阱宽度的同时,仍可实现能量由具有较大激子能量量子阱到具有较小激子能量量子阱的能量传递。

[0057] 实施例4多量子阱钙钛矿材料的制备。

[0058] 将 $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 、 CsI 和 PbI_2 按摩尔比2:3:2配成前驱体溶液,然后固定 CsI 和 PbI_2 的摩尔比3:2,同时不断调节 $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 的摩尔数0.1~50(如2.1:3:2、2.2:3:2、2.3:3:2、2.5:3:2、2.8:3:2等),配置不同摩尔比的前驱体溶液,在衬底上旋涂以上前驱体溶液,退火后得到具有多量子阱结构的钙钛矿薄膜。

[0059] 如图10和图11所示,随着 $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 含量的增加,钙钛矿薄膜的吸收和发光峰有轻微的偏移,可实现钙钛矿材料量子阱宽度的调整。

[0060] 实施例5基于多量子阱钙钛矿材料器件的制备。

[0061] 衬底为玻璃-ITO组合,电子传输-空穴阻挡层为 $ZnO/PEIE$ 、发光层为多量子阱钙钛矿材料、空穴传输-电子阻挡层为TFB、顶电极为 MoO_x/Au ,整个器件结构描述为:玻璃衬底/ITO/ $ZnO-PEIE/NFPI-N1/TFB/MoO_x/Au$ 。制备方法如下:

[0062] (1) 利用丙酮溶液、乙醇溶液和去离子水对透明导电基片ITO玻璃进行超声清洗,清洗后用干燥氮气吹干。其中玻璃衬底上面的ITO膜作为器件的阳极层,ITO膜的方块电阻为 $15\Omega/\square$ 。

[0063] (2) 将干燥后的基片移入真空室,在氧气压环境下对ITO玻璃进行紫外臭氧预处理10分钟。

[0064] (3) 在处理后的衬底上分别旋涂 ZnO 和 $PEIE$,并进行退火处理,然后转移至氮气手套箱中,通过在衬底上旋涂 $C_{10}H_7CH_2NH_3I$ 、 $NH_2CH=NH_2I$ 和 PbI_2 摩尔比为2:1:2,2:1.75:2,2:

1.9:2, 2:2.1:2, 2:2.25:2的前驱体溶液,退火后得到具有多量子阱结构的钙钛矿薄膜 NFPI-N1, TFB溶液通过旋涂覆盖在发光层上方作为空穴传输层。

[0065] (4) 在各功能层制备结束后进行MoO_x/Au复合电极的制备,气压为 6×10^{-7} Torr,蒸镀速率为0.1nm/s,蒸镀速率及厚度由膜厚仪监控。

[0066] (5) 将制备的器件在手套箱中进行封装,手套箱为99.9%氮气氛围。

[0067] (6) 测试器件的电流-电压-辐射强度特性,同时测试器件的发光光谱参数。

[0068] 图12为NFPI-N1前驱体溶液所制备的器件的电致发光光谱,近红外发光器件的发光峰峰值随着FAI的含量的增加而红移,与图3的PL光谱相对应。图13、图14和图15分别为NFPI-N1多量子阱钙钛矿器件的电压-电流密度,电压-辐射强度,电流-外量子效率特征曲线图,该类器件可实现1.5V的低开启电压。随着FAI含量的增加,最大辐射强度由55W/(sr m²)上升到近300W/(sr m²)。当前驱体溶液(C₁₀H₇CH₂NH₃I、NH₂CH=NH₂I (FAI) 和PbI₂) 比例为2:1.9:2的时候,外量子转换效率达到最高12.8%。

[0069] 如图16所示,宽量子阱含量的增加,最大PLQE值所对应的激发光强度增强。结合图15所示的电流-外量子效率特征曲线图,随着FAI含量的增加,最大EQE值所对应的电流密度值也越来越大,器件效率在大电流条件下的下降趋势变缓,表明通过量子阱宽的调整可以抑制器件中的俄歇复合,提高器件大电流下的工作效率。

[0070] 实施例6基于多量子阱钙钛矿材料器件的制备。

[0071] 器件采用与实施例5同样的器件结构,整个器件描述为:玻璃衬底/ITO/ZnO-PEIE/NFPI-N2/TFB/MoO_x/Au。

[0072] 制备方法同实施例5类似,通过在衬底上旋涂C₁₀H₇CH₂NH₃I、NH₂CH=NH₂I和PbI₂摩尔比分别为2:1.9:2, 1.8:1.9:2, 1.6:1.9:2, 1.5:1.9:2, 1.4:1.9:2, 1.3:1.9:2, 1.2:1.9:2的前驱体溶液,退火后得到具有钙钛矿多量子阱结构的薄膜。

[0073] 图17为器件的电致发光光谱,其电致发光光谱与光致发光光谱相一致。图18、图19和图20分别为多量子阱钙钛矿器件的电压-电流密度,电压-辐射强度,电流密度-外量子效率特征曲线图,图中所示,该类器件可实现1.5V的低开启电压。随着C₁₀H₇CH₂NH₃I的含量减少到三者比例为1.4:1.9:2的时候,外量子转换效率达到最高14.5%。

[0074] 图21表明,随着C₁₀H₇CH₂NH₃I含量减少,窄量子阱的含量减少,PLQE所对应的激发光强度增加,与图20中电流密度-外量子效率特征曲线一致,表明随着C₁₀H₇CH₂NH₃I含量的减少,最大EQE所对应的电流密度发生偏移,其在大电流下的工作效率下降相对减慢,俄歇复合得到一定的抑制。

[0075] 实施例7基于多量子阱钙钛矿材料器件的制备。

[0076] 器件采用与实施例5同样的器件结构,整个器件描述为:玻璃衬底/ITO/ZnO-PEIE/NCPI-N1/TFB/MoO_x/Au。

[0077] 制备方法同实施例5类似,通过在衬底上旋涂C₁₀H₇CH₂NH₃I、CsI和PbI₂摩尔比分别为2:1:2, 2:2:2, 2:2.5:2, 2:3:2, 2:3.2:2的前驱体溶液,退火后得到具有NCPI-N1钙钛矿多量子阱结构的薄膜。

[0078] 图22为器件的电致发光光谱,其电致发光光谱与光致发光光谱相一致,该类钙钛矿发光器件发光峰位在~690nm。图23、图24和图25分别为多量子阱钙钛矿器件的电压-电流密度,电压-发光强度,电流-外量子效率特征曲线图,图中所示,该类器件可实现1.8V的

低开启电压。随着CsI的含量增加到三者比例为2:3:2的时候,外量子转换效率达到最高5.7%。同时,NCPI-N1发光器件的发光亮度由55cd/m²提升到558cd/m²。

[0079] 实施例8基于多量子阱钙钛矿材料器件的制备。

[0080] 器件采用与实施例5同样的器件结构,整个器件描述为:玻璃衬底/ITO/ZnO-PEIE/NCPI-N2/TFB/MoO_x/Au。

[0081] 制备方法同实施例5类似,通过在衬底上旋涂C₁₀H₇CH₂NH₃I、CsI和PbI₂摩尔比分别为2:3:2,2.1:3:2,2.2:3:2,2.3:3:2,2.5:3:2的前驱体溶液,退火后得到具有钙钛矿多量子阱结构的薄膜。

[0082] 图26为器件的电致发光光谱,其电致发光光谱与光致发光光谱相一致,该类钙钛矿发光器件发光峰位在~690nm。图27、图28和图29分别为多量子阱钙钛矿器件的电压-电流密度,电压-发光强度,电流-外量子效率特征曲线图,图中所示,该类器件可实现1.8V的低开启电压。随着CsI的含量增加到三者比例为2.2:3:2的时候,外量子转换效率达到最高7.4%。同时,发光器件的发光亮度可达到~730cd/m²。

[0083] 应当理解的是,对本领域普通技术人员来说,可以根据上述说明加以改进或变换,而所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

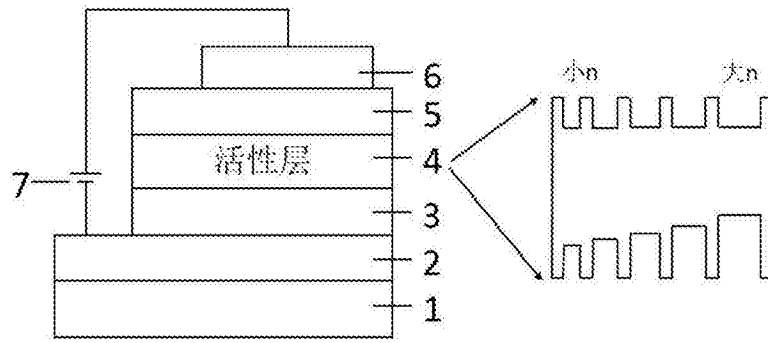


图1

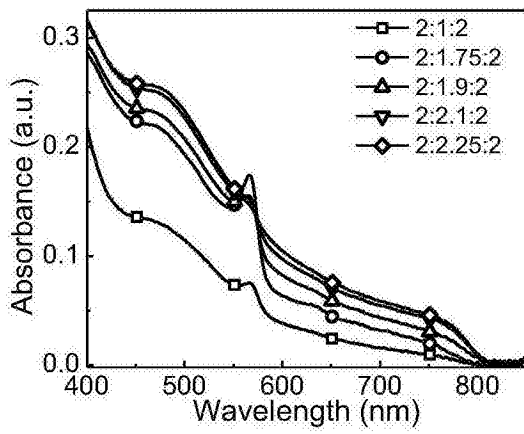


图2

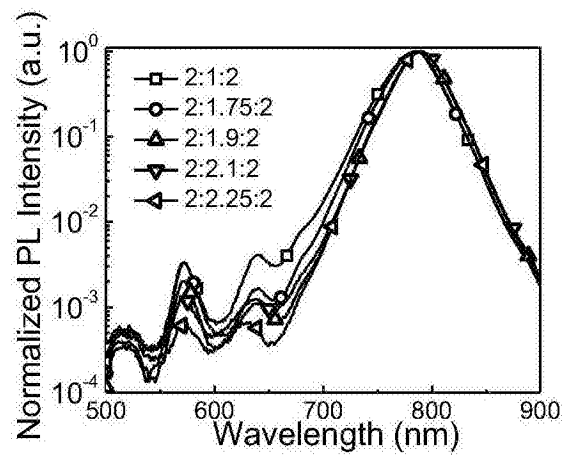


图3

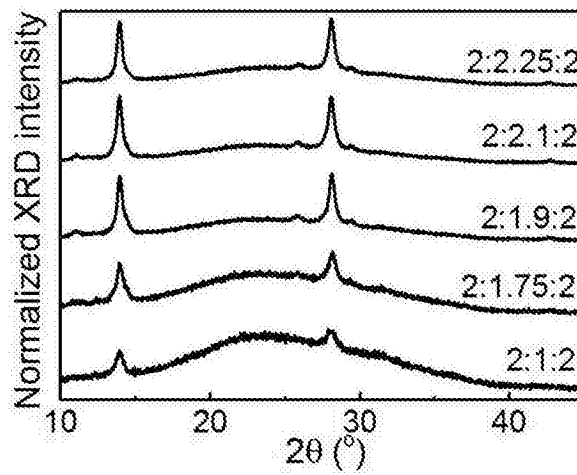


图4

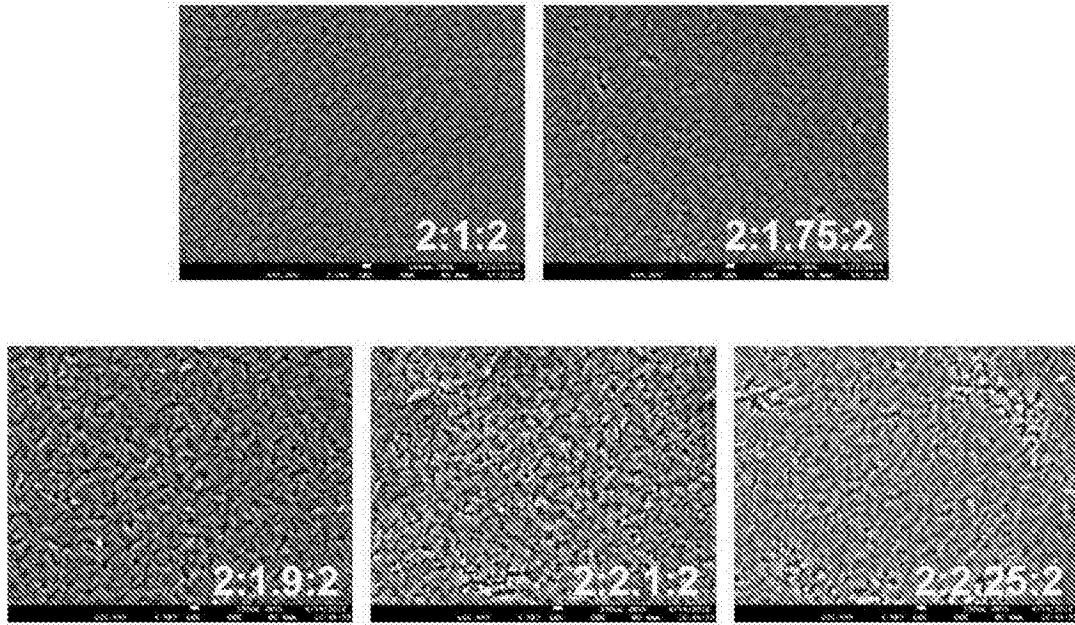


图5

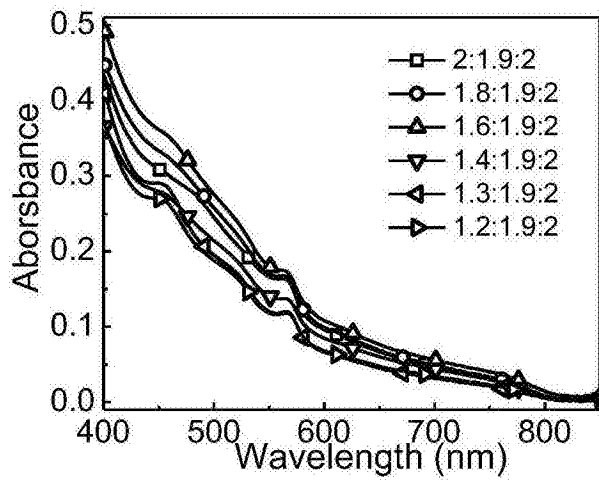


图6

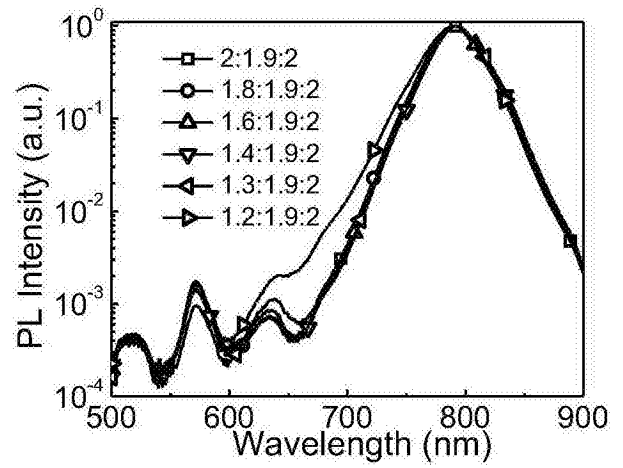


图7

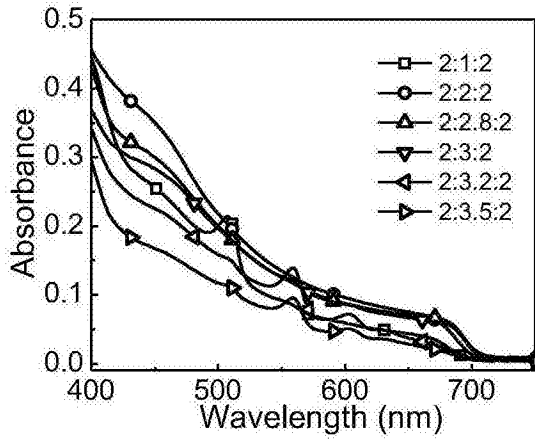


图8

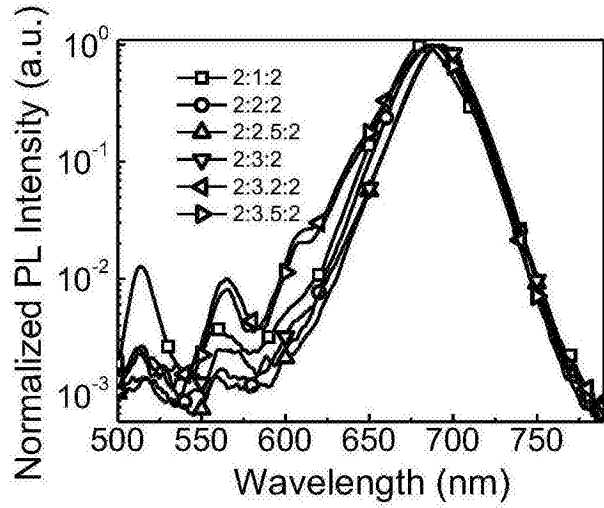


图9

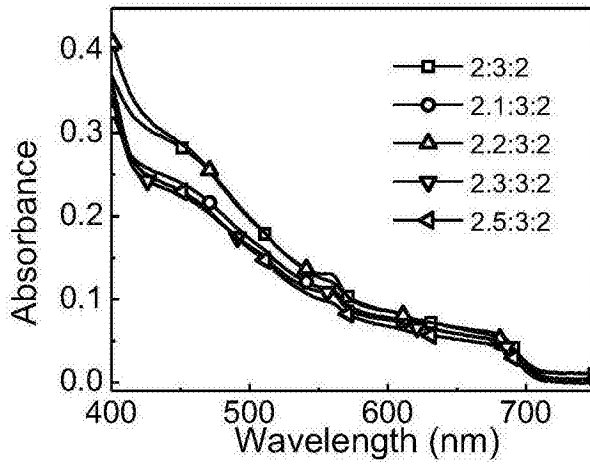


图10

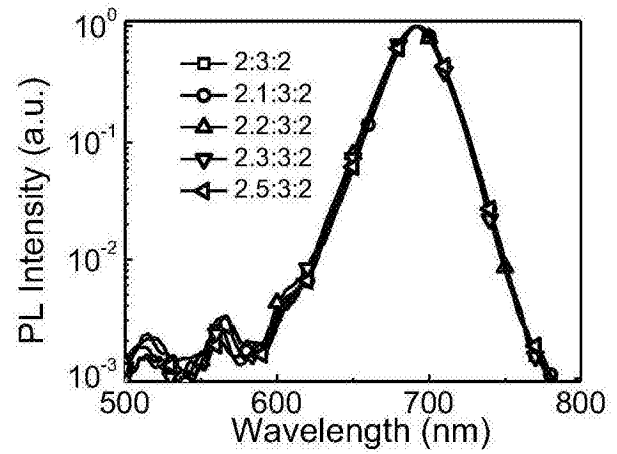


图11

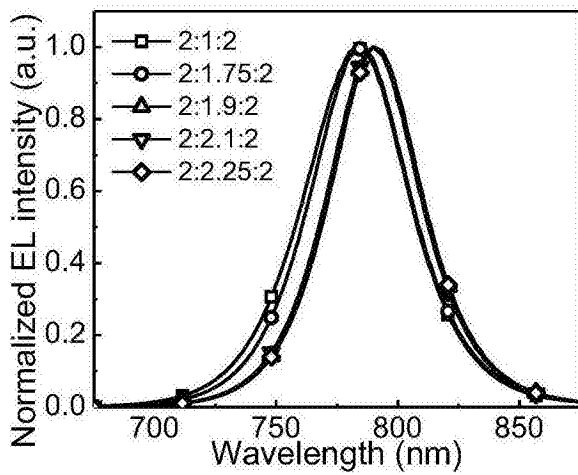


图12

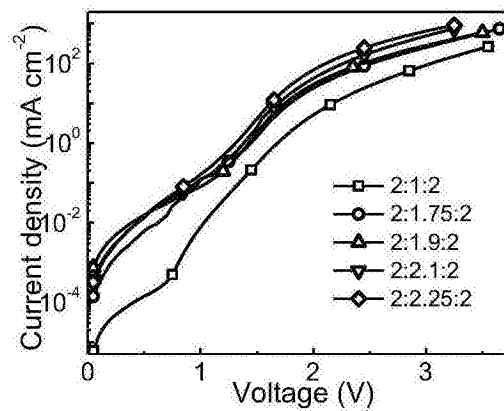


图13

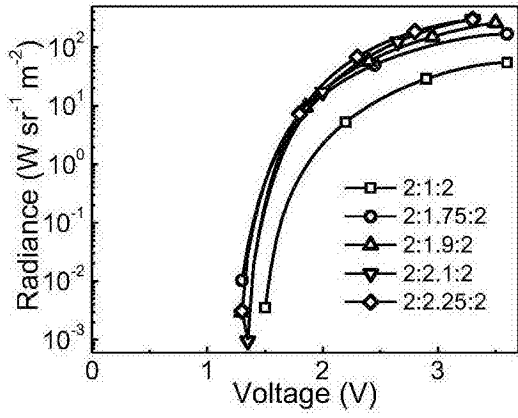


图14

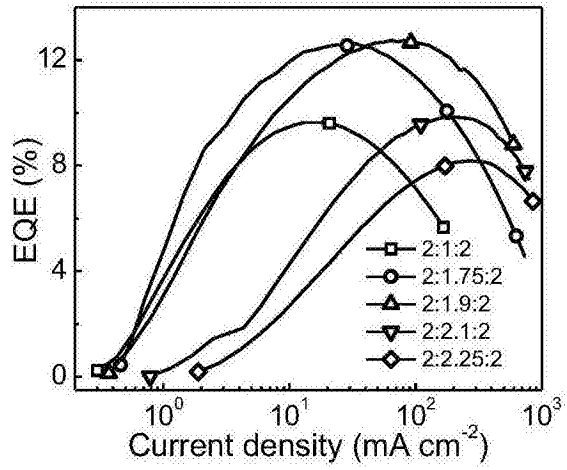


图15

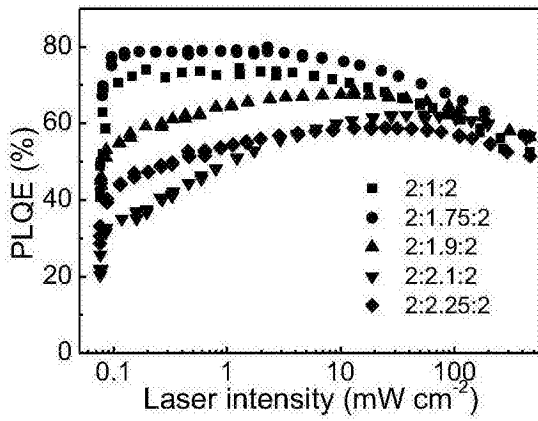


图16

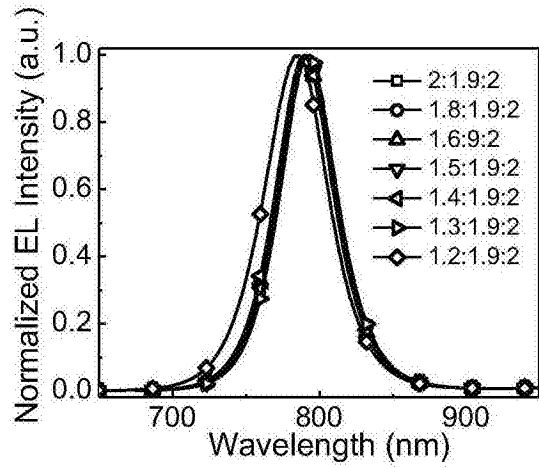


图17

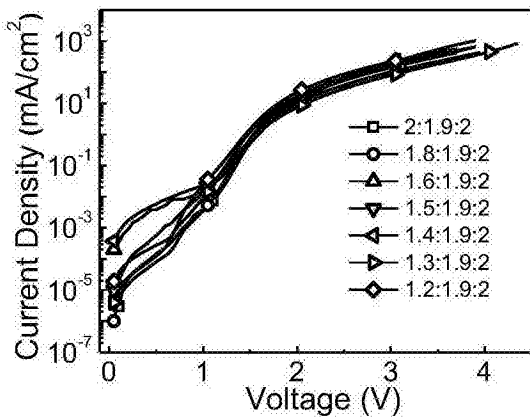


图18

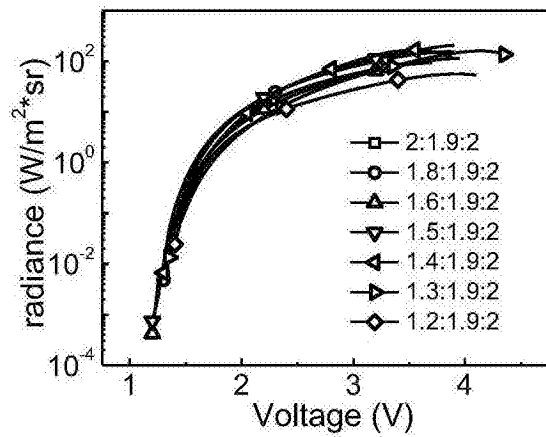


图19

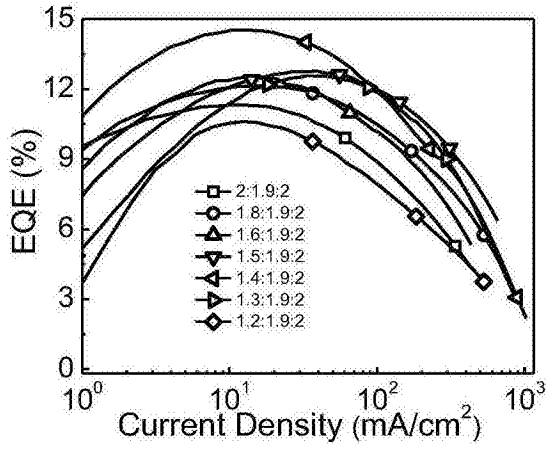


图20

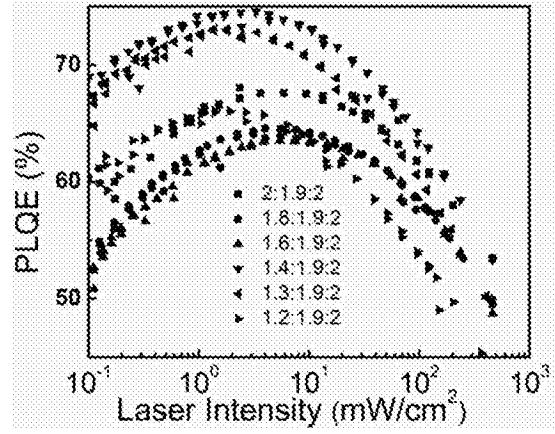


图21

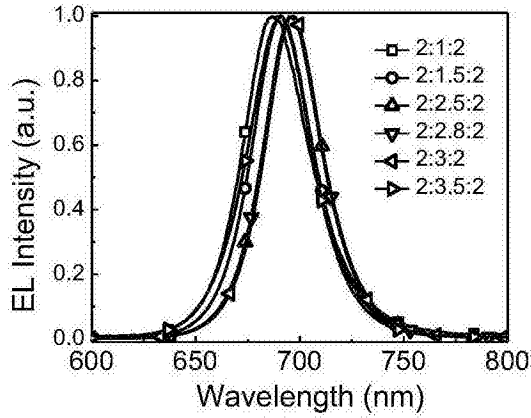


图22

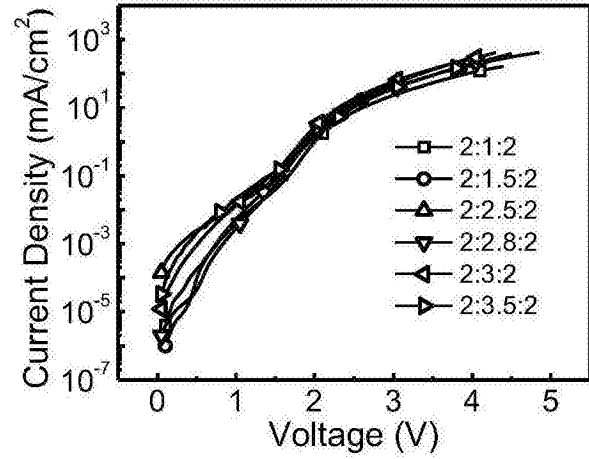


图23

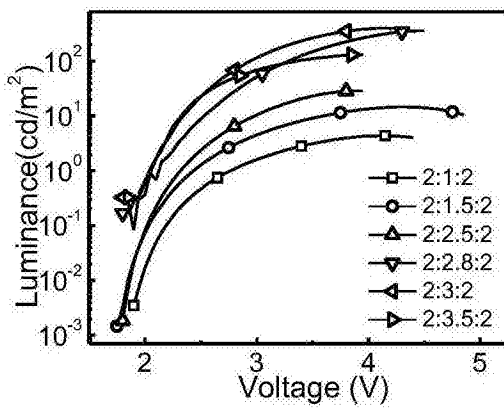


图24

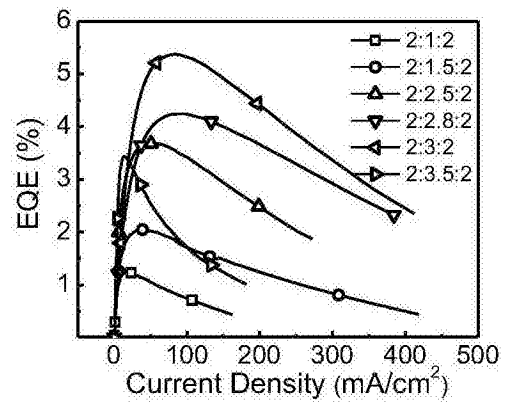


图25

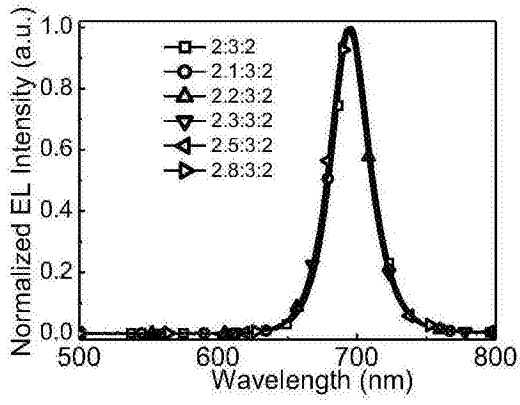


图26

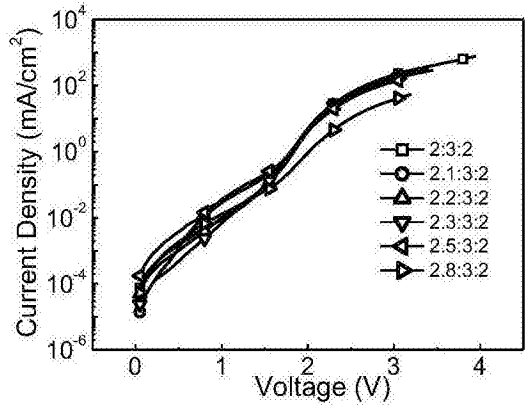


图27

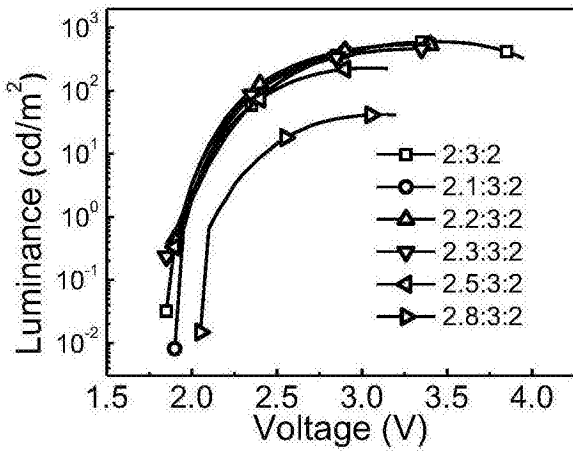


图28

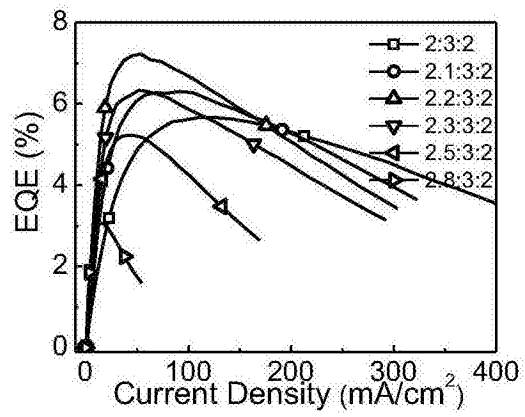


图29