



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107216874 A

(43)申请公布日 2017. 09. 29

(21)申请号 201710358656.4

(22)申请日 2017.05.19

(71)申请人 北京大学深圳研究生院

地址 518055 广东省深圳市南山区西丽深圳大学城北大园区

(72)发明人 孟鸿 刘铭

(74)专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事务所(普通合伙) 44268

代理人 王永文 刘文求

(51)Int.Cl.

C09K 11/66(2006.01)

H01L 33/50(2010.01)

B82Y 30/00(2011.01)

B82Y 20/00(2011.01)

B82Y 40/00(2011.01)

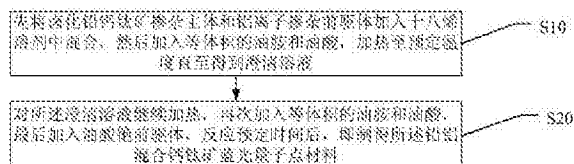
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料及其制备方法、应用

(57)摘要

本发明公开一种铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料及其制备方法、应用,其中,所述材料包括卤化铅钙钛矿掺杂主体和铝离子掺杂前驱体,通过Al离子对卤化铅钙钛矿掺杂主体中的Pb位进行部分替换,实现了对钙钛矿量子点发光波长的调控,并且消除了由快速阴离子交换导致的光谱宽化、色品漂移等问题,同时铅位掺杂还能减少材料中重金属元素铅的含量,促进环保;进一步,本发明提供的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法简单易实现、成本低、低毒、且具有通用性;所述铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料能够直接用于电致发光LED或WLED中的荧光转换层中。



1. 一种铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料,其特征在于,包括卤化铅钙钛矿掺杂主体和铝离子掺杂前驱体,所述铝离子掺杂前驱体中的铝离子对卤化铅钙钛矿掺杂主体中的铅离子进行部分替换,形成高荧光量子产率的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料。

2. 根据权利要求1所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料,其特征在于,所述铝离子在铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料中所占的重量比小于或等于10%。

3. 根据权利要求1所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料,其特征在于,所述卤化铅钙钛矿掺杂主体包括有机无机杂化钙钛矿、无机金属卤化物钙钛矿以及二维金属卤化物钙钛矿。

4. 根据权利要求1所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料,其特征在于,所述铝离子掺杂前驱体包括卤化铝、铝的金属醇盐以及硫氰酸铝。

5. 一种如权利要求1-4任一所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法,其特征在于,包括步骤:

A、先将卤化铅钙钛矿掺杂主体和铝离子掺杂前驱体加入十八烯溶剂中混合,然后加入等体积的油胺和油酸,加热至预定温度直至得到澄清溶液;

B、对所述澄清溶液继续加热,再次加入等体积的油胺和油酸,最后加入油酸铯前驱体,反应预定时间后,即制得所述铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料。

6. 根据权利要求5所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法,其特征在于,所述卤化铅钙钛矿掺杂主体与铝离子掺杂前驱体的摩尔比为1:0.01-1:10。

7. 根据权利要求5所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法,其特征在于,所述步骤A中的预定温度为100-200℃。

8. 根据权利要求5所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法,其特征在于,所述步骤B中的预定时间为10-600s。

9. 根据权利要求5所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法,其特征在于,所述步骤B之后还包括:

C、将反应后的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点溶液冷却至室温后,依次经过离心、分离、提纯和真空烘干后得到铅铝混合钙钛矿蓝光量子点粉体。

10. 一种如权利要求1-4任一所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的应用,其特征在于,所述铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料用于WLED中的荧光转换层或直接用于电致发光LED。

一种铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料及其制备方法、应用

技术领域

[0001] 本发明涉及蓝光量子点材料领域,尤其涉及一种铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料及其制备方法、应用。

背景技术

[0002] 铅卤钙钛矿量子点结合了钙钛矿材料的优势和量子点的特性,其具有发光效率高、发光谱线窄以及发光波长可调的特性,是获得宽色域高质量显示面板的理想选择,在未来显示技术中极具商业价值。

[0003] 尽管钙钛矿量子点的制备已经取得了较大进展,但是其依然存在以下问题:1、高质量蓝光材料缺乏:目前钙钛矿量子点发光波长的调节依赖卤素原子的种类,而铅氯钙钛矿量子点蓝光材料通常发光效率较低(PLQY<30%)、热稳定性较差,无法保证钙钛矿量子点器件的可靠性;虽然铅溴片状纳米晶的发射波长可从绿光蓝移至蓝光,但该体系很容易在光照下发生取向吸附,形成聚集体,导致蓝光发生红移;2、不同铅卤钙钛矿量子点之间的快速阴离子交换反应,给量子点禁带宽度可调性带来便利的同时,也带来了光谱宽化、色品漂移等一系列的潜在问题;虽然将钙钛矿量子点包埋在聚合物或氧化硅介质中能阻碍阴离子交换反应,但该策略并不适用于电致发光器件;3、铅卤钙钛矿量子点含有较重比例的重金属元素铅,不具备环境友好性,限制了其未来在发光显示领域的应用。

[0004] 因此,现有技术还有待于改进和发展。

发明内容

[0005] 鉴于上述现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料及其制备方法、应用,旨在解决现有钙钛矿蓝光量子点材料存在发光效率低、热稳定性差,以及光谱宽化和色品漂移的问题。

[0006] 本发明的技术方案如下:

一种铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料,其中,包括卤化铅钙钛矿掺杂主体和铝离子掺杂前驱体,所述铝离子掺杂前驱体中的铝离子对卤化铅钙钛矿掺杂主体中的铅离子进行部分替换,形成高荧光量子产率的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料。

[0007] 所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料,其中,所述铝离子在铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料中所占的重量比小于或等于10%。

[0008] 所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料,其中,所述卤化铅钙钛矿掺杂主体包括有机无机杂化钙钛矿、无机金属卤化物钙钛矿以及二维金属卤化物钙钛矿。

[0009] 所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料,其中,所述铝离子掺杂前驱体包括卤化铝、铝的金属醇盐以及硫氰酸铝。

[0010] 一种如上任一所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法,其中,包括步骤:

A、先将卤化铅钙钛矿掺杂主体和铝离子掺杂前驱体加入十八烯溶剂中混合,然后加入

等体积的油胺和油酸,加热至预定温度直至得到澄清溶液;

B、对所述澄清溶液继续加热,再次加入等体积的油胺和油酸,最后加入油酸铯前驱体,反应预定时间后,即制得所述铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料。

[0011] 所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法,其中,所述卤化铅钙钛矿掺杂主体与铝离子掺杂前驱体的摩尔比为1:0.01-1:10。

[0012] 所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法,其中,所述步骤A中的预定温度为100-200℃。

[0013] 所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法,其中,所述步骤B中的预定时间为10-600s。

[0014] 所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法,其中,所述步骤B之后还包括:

C、将反应后的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点溶液冷却至室温后,依次经过离心、分离、提纯和真空烘干后得到铅铝混合钙钛矿蓝光量子点粉体材料。

[0015] 一种如上任一所述的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的应用,其中,所述铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料用于WLED中的荧光转换层或直接用于电致发光LED。

[0016] 有益效果:本发明提供的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料量子产率高、稳定性强,通过Al离子对卤化铅钙钛矿掺杂主体中的Pb位进行部分替换,实现了对钙钛矿量子点发光波长的调控,并且消除了由快速阴离子交换导致的光谱宽化、色品漂移等问题,同时铅位掺杂还能减少材料中重金属元素铅的含量,促进环保;进一步,本发明提供的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法简单易实现、成本低、低毒、且具有通用性;所述铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料能够直接用于电致发光LED或WLED中的荧光转换层中。

附图说明

[0017] 图1为本发明一种铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法较佳实施例的流程图;

图2为本发明Al掺杂和未掺杂的CsPbBr₃纳米晶的吸收光谱;

图3为本发明Al掺杂和未掺杂的CsPbBr₃纳米晶的荧光光谱;

图4为本发明Al掺杂的CsPbBr₃纳米晶的TEM表征图像;

图5为本发明未掺杂的CsPbBr₃纳米晶的TEM表征图像;

图6为Al掺杂和未掺杂的CsPbBr₃纳米晶热循环中的相对应光强度变化;

图7为蓝光Al掺杂的CsPbBr₃纳米晶和绿光CsPbBr₃钙钛矿纳米晶混合物的荧光光谱;

图8为蓝光Al掺杂的CsPbBr₃纳米晶与绿光CsPbBr₃和红光CdSe@ZnS钙钛矿纳米晶混合物组成的白光LED的光致发射光谱。

具体实施方式

[0018] 本发明提供一种铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料及其制备方法、应用,为使本发明的目的、技术方案及效果更加清楚、明确,以下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仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0019] 本发明提供了一种铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料,其中,包括卤化铅钙钛矿掺

杂主体和铝离子掺杂前驱体,所述铝离子掺杂前驱体中的铝离子对卤化铅钙钛矿掺杂主体中的铅离子进行部分替换,形成高荧光量子产率的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料。

[0020] 具体来说,钙钛矿材料具有丰富的组分多样性,其电子结构和发光特性除了可通过对阴离子成分和比例的改变来进行调控外,还可以通过对阳离子的掺杂来进行调控;通过对非卤素位粒子的掺杂,可实现对钙钛矿量子点发光波长的调控,并且是消除由快速阴离子交换反应导致的光谱宽化、色品漂移等问题的直接手段;本发明通过采用第三主族元素Al对Pb位进行部分替换,制备出了具有高荧光量子产率、且性能稳定的蓝色荧光量子点材料。

[0021] 进一步,在本发明中,所述卤化铅钙钛矿掺杂主体包括有机无机杂化钙钛矿、无机金属卤化物钙钛矿以及二维金属卤化物钙钛矿,其中有机无机杂化钙钛矿可以为 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ 或 $\text{CH}(\text{NH}_2)_2\text{PbX}_3$,所述无机金属卤化物钙钛矿可以为 CsPbX_3 ,所述二维金属卤化物钙钛矿可以为 $(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_3)_2\text{PbX}_3$,其中X可以为Cl、Br、I中的任意一种或两种组合;所述铝离子掺杂前驱体包括卤化铝(例如, AlI_3 、 AlBr_3 、 AlCl_3)、铝的金属醇盐以及硫氰酸铝。

[0022] 具体地,在本发明中,所述铝离子在本发明制备发光铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料中所占的重量比小于或等于10%,所述铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的形貌为片状纳米晶、立方纳米晶、球状纳米晶、柱状纳米晶、线状纳米晶或多面体纳米晶中的一种。

[0023] 更进一步,本发明还提供一种铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法,如图1所示,其具体包括步骤:

S10、先将卤化铅钙钛矿掺杂主体和铝离子掺杂前驱体加入十八烯溶剂中混合,然后加入等体积的油胺和油酸,加热至预定温度直至得到澄清溶液;

具体来说,本发明以制备Al掺杂的 CsPbBr_3 的钙钛矿蓝光量子点材料为例,先将 PbBr_2 和铝离子掺杂前驱体(AlBr_3)添加至干燥的十八烯溶剂中,然后添加干燥的等体积的油胺和油酸作为表面活性剂,加热至100–200℃直到溴化铅和 AlBr_3 全部溶解,得到澄清溶液;本发明优选加热至120℃;

进一步,在所述步骤S10中,作为反应物的卤化铅钙钛矿掺杂主体和铝离子掺杂前驱体的摩尔比为1:0.01–1:10,优选1:2。

[0024] S20、对所述澄清溶液继续加热,再次加入等体积的油胺和油酸,最后加入油酸铯前驱体,反应预定时间后,即制得所述铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料。

[0025] 具体来说,在所述步骤S20之前还应包括油酸铯前驱体的制备,具体可将0.64g的 Cs_2CO_3 与干燥的油酸(2 mL)和干燥的十八烯(24mL)加入到50mL的三颈圆底烧瓶中,然后加热至150℃直至所有 Cs_2CO_3 与油酸反应生成油酸铯前驱体。

[0026] 进一步,在所述步骤S20中,对所述澄清溶液继续加热,优选加热至160℃,然后再次加入等体积的油胺和油酸使溶液保持澄清,这次加入的油胺和油酸的量与步骤S10中加入的油胺和油酸的量可以相同也可以不同;最后快速注入提前预热至140℃的油酸铯前驱体,反应10–600s后,优选120s,即可制得液体状的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料。

[0027] 更进一步,在所述步骤S20之后还包括:

将所述液体状的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料转移到无水无氧的冷库中冷却至室温后,通过离心步骤获得沉淀物,将所述沉淀物分散到无水甲苯中进一步清洗,之后采用乙腈进一步沉淀并离心,将得到的沉淀物再次分散在无水甲苯中;最后通过旋转蒸发或真空

烘干所述溶剂后,获得粉体状的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料。

[0028] 本发明提出的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法属于改进后的热注入法,其步骤简单易实现,且具有通用性,不仅适用于全无机钙钛矿量子点的掺杂,同样也适用于有机无机杂化钙钛矿量子点、三维钙钛矿量子点材料以及二维钙钛矿量子点材料的掺杂,本发明提供的方法在全溶液条件下进行加工,具有低成本、低毒、高色纯度以及高荧光量子产率等特点。

[0029] 更进一步,本发明还提供一种低温制备铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的方法,其具体包括步骤:

a、以卤化铅和铝离子掺杂前驱体作为反应物,溶解在干燥的N, N二甲基甲酰胺(DMF)中,制得浓度范围为0.02 ~0.1 mol/L的第一前驱体溶液,其中卤化铅与铝离子掺杂前驱体的摩尔比为1:(0.01-10);

b、以卤化铯(CsX , $\text{X}=\text{Cl}$ 、 Br 、 Br/I 混合、 Cl/Br 混合)或氢卤酸盐($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{X}$ 、 $\text{CH}(\text{NH}_2)_2\text{X}$ 、 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_3\text{X}$, $\text{X}=\text{Cl}$ 、 Br 、 Br/I 混合、 Cl/Br 混合)为反应物,溶解在干燥的N, N二甲基甲酰胺(DMF)溶剂中制得浓度范围为0.02 ~0.1 mol/L的第二前驱体溶液;

c、以油胺和油酸为表面活性剂加入干燥的十八烯溶剂中,在40~90℃的温度条件下,分别将第一前驱体溶液和第二前驱体溶液注入所述十八烯溶剂中,反应预定时间后制得油溶性的量子点前驱体;其中注入的第一前驱体溶液与第二前驱体溶液的摩尔比为1:(0.3~3),所述第一前驱体溶液与第二前驱体溶液的体积之和占十八烯溶剂体积的比为2~10%;

4、反应不同时间后,注入5~10倍十八烯溶剂体积的甲苯溶液,促使量子点沉淀析出,离心分离提纯,真空烘干后得到粉体状的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料。

[0030] 下面以制备铝掺杂的 CsPbBr_3 钙钛矿量子点蓝色荧光材料为例对本发明一种铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法做进一步的解释说明:

实施例1

1. 油酸铯的制备:参照量子点热注入合成方法,将 Cs_2CO_3 (0.640 g),干燥的OA (2 mL)和干燥的ODE (24 mL)加入到50 mL的三颈圆底烧瓶中,然后加热至150 °C直至所有 Cs_2CO_3 与OA反应。注射前预热至140 °C。所有的反应都在充满氮气的手套箱(0.1 ppm H_2O ; 0.1 ppm O_2)中进行。

[0031] 2. Al掺杂 CsPbX_3 纳米晶体($\text{X} = \text{Br}$, Br/I)的合成:干燥的ODE (5 mL), AlBr_3 (0.0301 g), PbX_2 , 如 PbBr_2 (0.0690 g)或它们的混合物 $\text{PbBr}_2/\text{PbI}_2$ (0.0367 g / 0.0433 g, 摩尔比1:1),装入25 mL三口烧瓶中。然后在120 °C注入干燥的OAm (0.5 mL)和OA (0.5 mL)。在完全溶解 PbX_2 盐后,将温度升至160 °C。随后注入干燥的OAm (0.3 mL)和干燥的OA (0.3 mL)使溶液保持澄清。然后迅速注入油酸铯溶液 (0.4 mL)。1分钟后,将溶液转移到手套箱里的冰箱中进行冷却。

[0032] 3. 铯基纳米晶的分离和纯化:纳米晶在室温下从ODE中沉淀析出,并通过离心,倾倒入上层清液分离出沉淀物。然后将固体纳米晶体产物分散到无水甲苯中。为进一步清洗,将纳米晶用乙腈沉淀并离心,然后再次分散在无水甲苯中。旋转蒸发掉溶液后,收集纳米晶粉体,保存在手套箱中备用。

[0033] 下面通过实验数据说明铝掺杂 CsPbBr_3 纳米晶和未掺杂的 CsPbBr_3 纳米晶之间的性能以及形态的差别:

图2为Al掺杂和未掺杂的CsPbBr₃纳米晶的吸收光谱,图3为Al掺杂和未掺杂的CsPbBr₃纳米晶的荧光光谱,通过对比发现,铝离子的掺杂导致纳米晶中的第一激子吸收峰和荧光发射峰的蓝移,未掺杂的CsPbBr₃纳米晶在515nm处表现出绿光发射,而Al掺杂的CsPbBr₃纳米晶在456nm处显示蓝光发射,其半峰宽仅有16nm。

[0034] 进一步,通过对Al掺杂和未掺杂的CsPbBr₃纳米晶的TEM表征进行测量,结果如图4和图5所示,Al掺杂的CsPbBr₃纳米晶的形貌发生了明显的变化,未掺杂的CsPbBr₃纳米晶呈现近似立方体形态,而Al掺杂后的CsPbBr₃纳米晶变形为细长的条形,也就是说,Al掺杂后会引起晶格收缩。

[0035] 钙钛矿纳米晶体的热稳定性对于LED应用来说是一个重要的考量因素,为了测试钙钛矿纳米晶体的热稳定性,本发明在20-100°C的控制温度范围内对钙钛矿纳米晶体膜进行了光致发光强度的评估,热循环结果如图6所示,Al掺杂的CsPbBr₃纳米晶不仅表现出更好的稳定性,而且解决了混合卤化物纳米晶中的阴离子交换问题;进一步,如图7所示,有着相同卤元素Br的绿光CsPbBr₃和蓝光Al:CsPbBr₃混合体系中,没有观察到光谱的偏移和宽化。

[0036] 更进一步,本发明还提供了一种铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的应用,其中,所述铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料用于WLED中的荧光转换层或直接用于电致发光LED;

为了展示Al掺杂的CsPbBr₃纳米晶与其它发光体组合产生白光的能力,本发明通过将Al掺杂的CsPbBr₃纳米晶与一定量的绿光CsPbBr₃纳米晶和红光CdSe @ ZnS 纳米晶混合,制作了表面贴装型的WLED器件;所述WLED器件的荧光发射光谱如图8所示,RGB三基色的荧光发射波长位置分别在615 nm,515 nm和456 nm。RGB坐标组成的三角形即该背光器件可实现的色域范围,通过计算,该白光器件的色域达到了NTSC标准空间的116 %。

综上所述,本发明提供的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料量子产率高、稳定性强,通过Al离子对卤化铅钙钛矿掺杂主体中的Pb位进行部分替换,实现了对钙钛矿量子点发光波长的调控,并且消除了由快速阴离子交换导致的光谱宽化、色品漂移等问题,同时铅位掺杂还能减少材料中重金属元素铅的含量,促进环保;进一步,本发明提供的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法简单易实现、成本低、低毒、且具有通用性;所述铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料能够直接用于电致发光LED或WLED中的荧光转换层中。

[0037] 应当理解的是,本发明的应用不限于上述的举例,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,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。

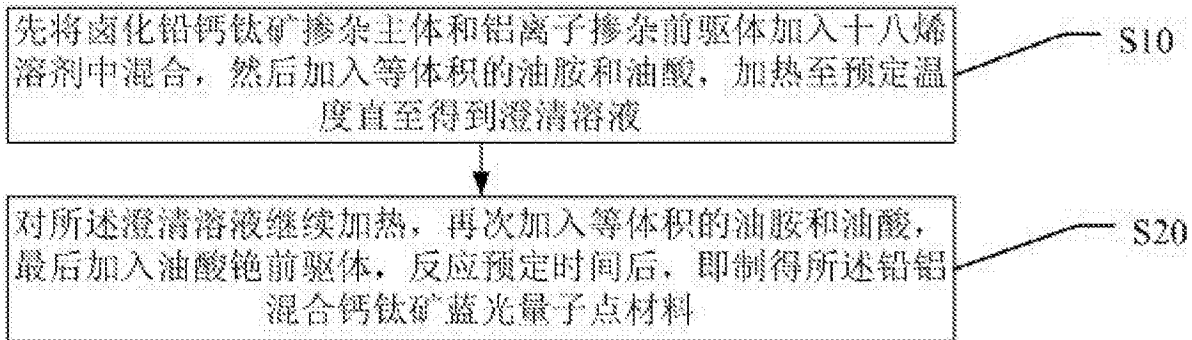


图1

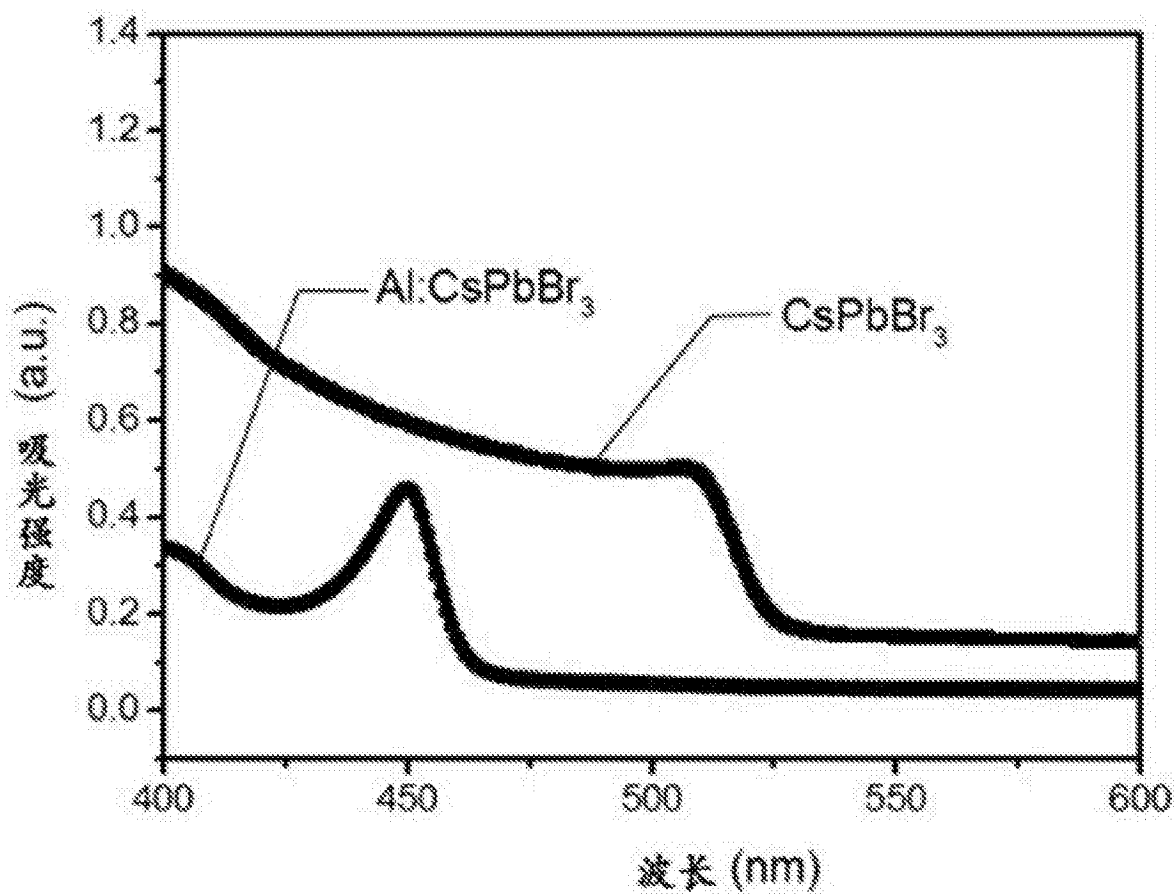


图2

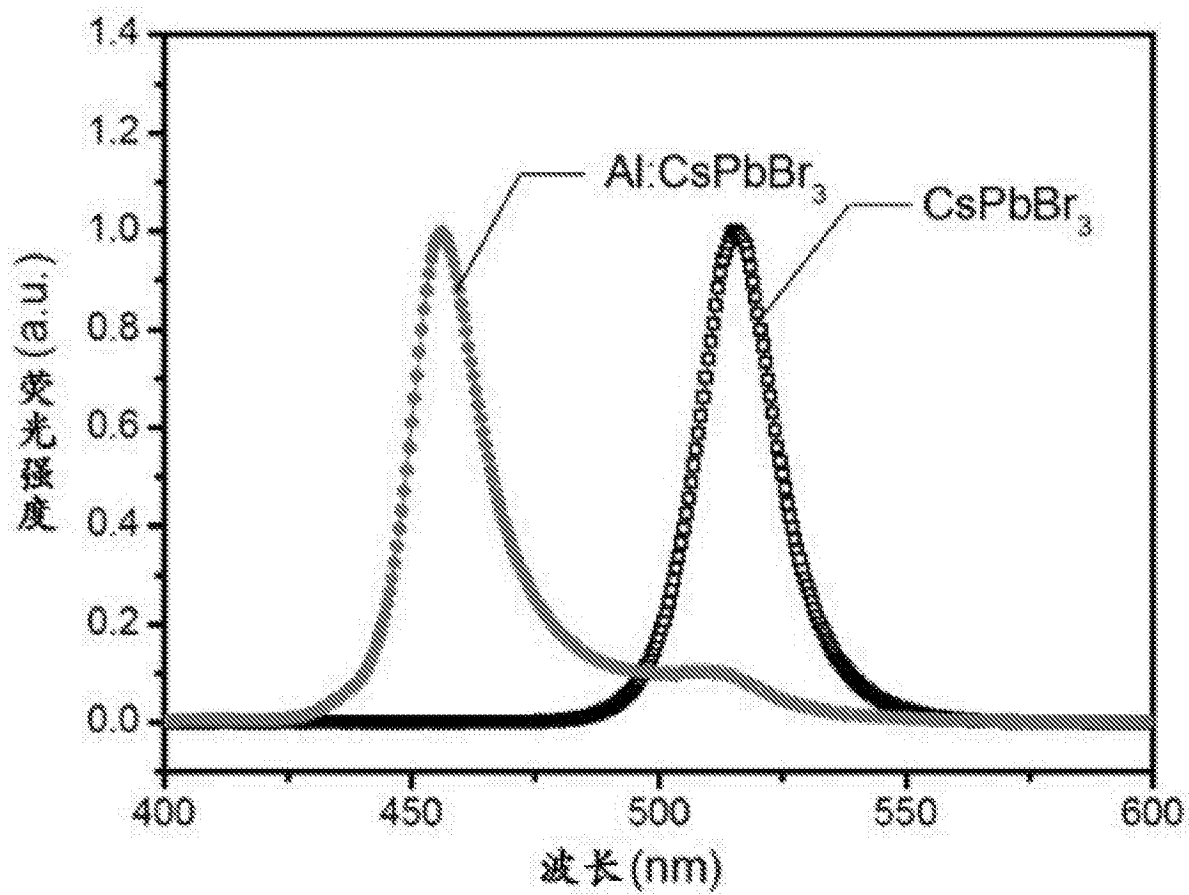


图3

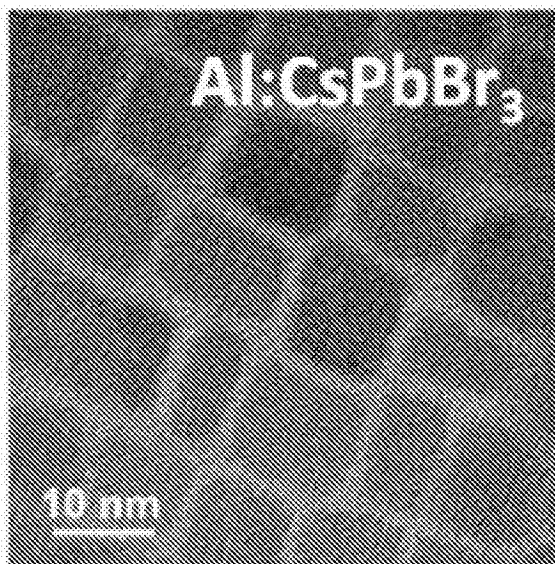


图4

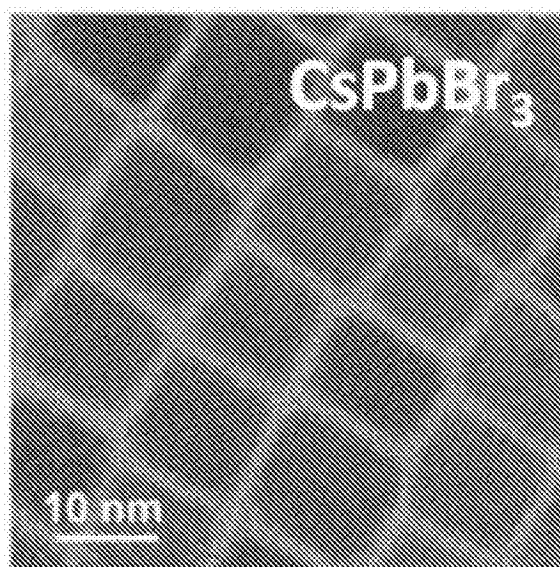


图5

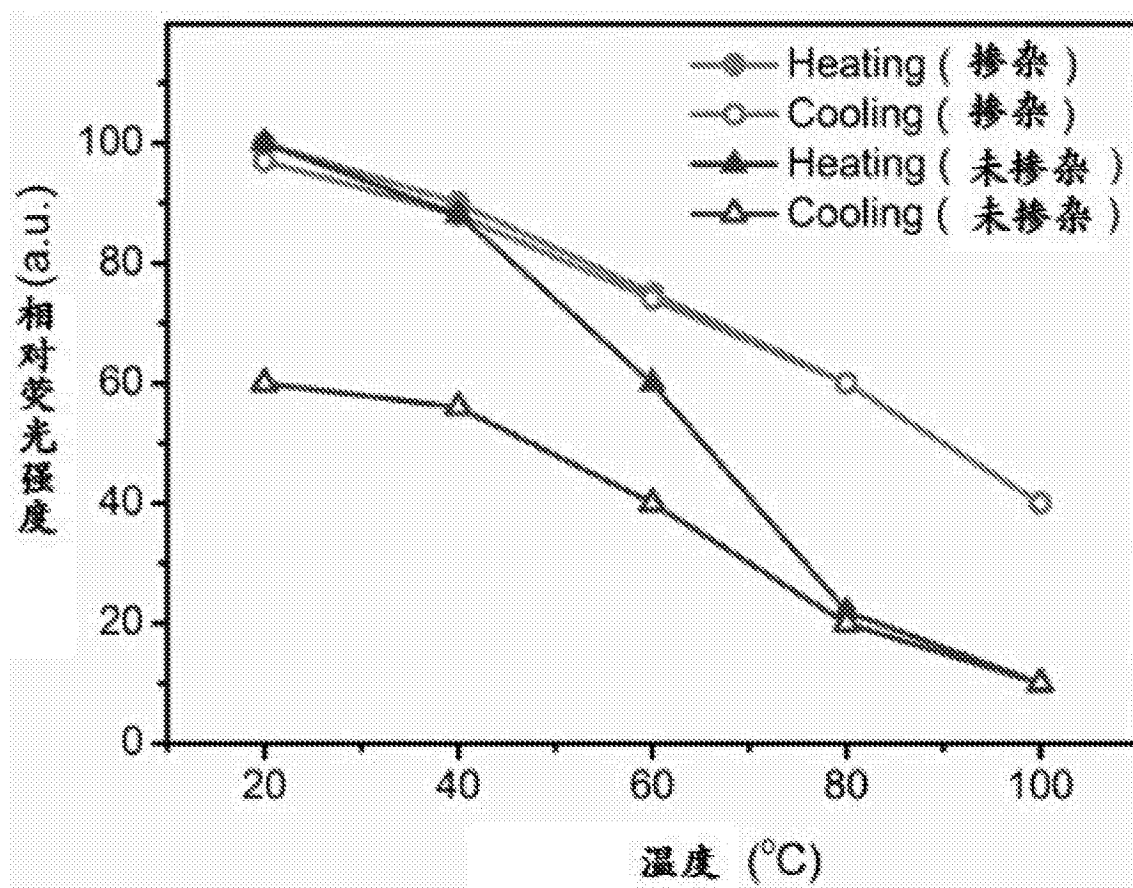


图6

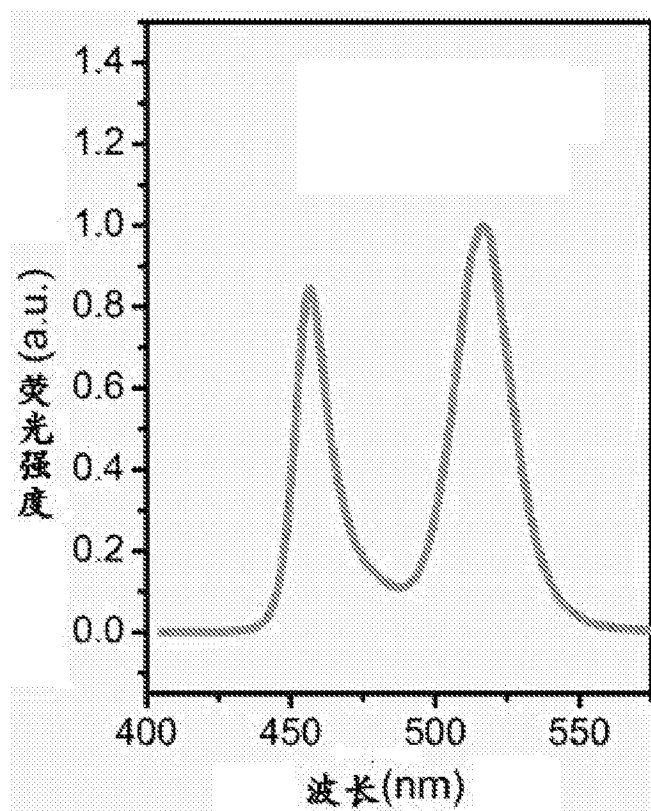


图7

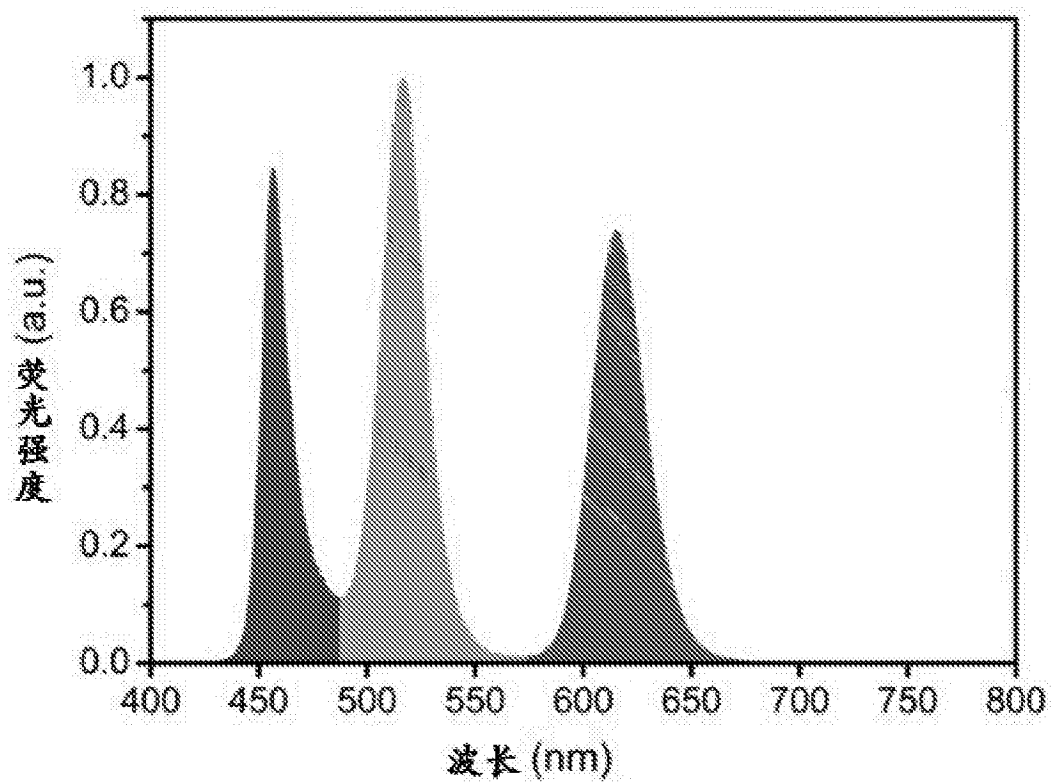


图8

专利名称(译)	一种铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料及其制备方法、应用		
公开(公告)号	CN107216874A	公开(公告)日	2017-09-29
申请号	CN201710358656.4	申请日	2017-05-19
[标]申请(专利权)人(译)	北京大学深圳研究生院		
申请(专利权)人(译)	北京大学深圳研究生院		
当前申请(专利权)人(译)	北京大学深圳研究生院		
[标]发明人	孟鸿 刘铭		
发明人	孟鸿 刘铭		
IPC分类号	C09K11/66 H01L33/50 B82Y30/00 B82Y20/00 B82Y40/00		
CPC分类号	C09K11/665 B82Y20/00 B82Y30/00 B82Y40/00 H01L33/502		
代理人(译)	王永文		
其他公开文献	CN107216874B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开一种铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料及其制备方法、应用，其中，所述材料包括卤化铅钙钛矿掺杂主体和铝离子掺杂前驱体，通过Al离子对卤化铅钙钛矿掺杂主体中的Pb位进行部分替换，实现了对钙钛矿量子点发光波长的调控，并且消除了由快速阴离子交换导致的光谱宽化、色品漂移等问题，同时铅位掺杂还能减少材料中重金属元素铅的含量，促进环保；进一步，本发明提供的铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料的制备方法简单易实现、成本低、低毒、且具有通用性；所述铅铝混合钙钛矿蓝光量子点材料能够直接用于电致发光LED或WLED中的荧光转换层中。

