

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102185056 B

(45) 授权公告日 2012. 10. 03

(21) 申请号 201110115323. 1

(22) 申请日 2011. 05. 05

(73) 专利权人 中国科学院半导体研究所
地址 100083 北京市海淀区清华东路甲 35 号

(72) 发明人 马平 王军喜 魏学成 曾一平 李晋闽

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

代理人 汤保平

(51) Int. Cl.

H01L 33/02 (2010. 01)

H01L 33/14 (2010. 01)

H01L 33/04 (2010. 01)

(56) 对比文件

WO 2011007637 A1, 2011. 01. 20,

CN 101540364 A, 2009. 09. 23,

CN 101931036 A, 2010. 12. 29,

CN 101174662 A, 2008. 05. 07,

CN 1552104 A, 2004. 12. 01,

CN 1921157 A, 2007. 02. 28,

审查员 张慧明

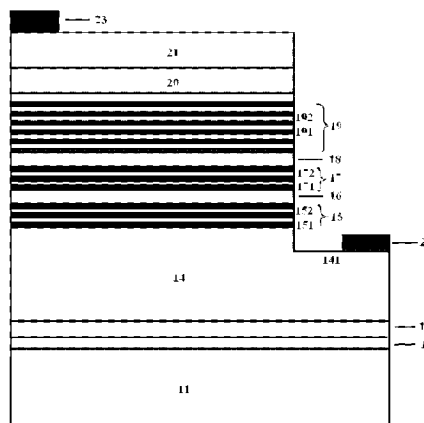
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 发明名称

提高电子注入效率的氮化镓基发光二极管

(57) 摘要

一种提高电子注入效率的氮化镓系发光二极管,其包括:一衬底;一氮化镓成核层制作在衬底上;一缓冲层制作在氮化镓成核层上;一 n 型接触层制作在缓冲层上,在该 n 型接触层的上面的一侧形成一台面;一下多周期 n 型电子耦合层制作在 n 型接触层上台面另一侧的上面;一下隧穿势垒层制作在下多周期 n 型电子耦合层上;一上多周期 n 型电子耦合层制作在下隧穿势垒层上;一上隧穿势垒层制作在上多周期 n 型电子耦合层上;一多周期活性发光层制作在上隧穿势垒层上;一负电极制作在 n 型接触层的台面上;一 p 型电子阻挡层制作在多周期活性发光层上;一 p 型接触层制作在 p 型电子阻挡层上;一正电极制作在 p 型接触层上,形成氮化镓系发光二极管的结构。



1. 一种提高电子注入效率的氮化镓系发光二极管,其包括:
 - 衬底;
 - 氮化镓成核层,该氮化镓成核层制作在衬底上;
 - 缓冲层,该缓冲层制作在氮化镓成核层上;
 - n型接触层,该n型接触层制作在缓冲层上,在该n型接触层的上面的一侧形成一台面,该n型接触层由n型氮化镓构成;
 - 下多周期n型电子耦合层,该下多周期n型电子耦合层制作在n型接触层上台面另一侧的上面,该下多周期n型电子耦合层的每一周期包括:一铟镓氮薄层和在其上制作的铝铟镓氮薄层,该下多周期n型电子耦合层的最上面再制作一层铟镓氮薄层;
 - 下隧穿势垒层,该下隧穿势垒层制作在下多周期n型电子耦合层上;
 - 上多周期n型电子耦合层,该上多周期n型电子耦合层制作在下隧穿势垒层上;
 - 上隧穿势垒层,该上隧穿势垒层制作在上多周期n型电子耦合层上;
 - 多周期活性发光层,该活性发光层制作在上隧穿势垒层上;
 - 负电极,该负电极制作在n型接触层的台面上;
 - p型电子阻挡层,该p型电子阻挡层制作在多周期活性发光层上;
 - p型接触层,该p型接触层制作在p型电子阻挡层上,该p型接触层由p型氮化镓构成;
 - 正电极,该正电极制作在p型接触层上,形成氮化镓系发光二极管的结构。
2. 如权利要求1所述的提高电子注入效率的氮化镓系发光二极管,其中上多周期n型电子耦合层的每一周期包括:
 - 铟镓氮薄层和在其上制作的铝铟镓氮薄层,该上多周期n型电子耦合层的最上面再制作一层铟镓氮薄层。
3. 如权利要求1所述的提高电子注入效率的氮化镓系发光二极管,其中所述活性发光层的每一周期包括:
 - 铟镓氮薄层和在其上制作的铝铟镓氮薄层,该活性发光层的最上面再制作一层铟镓氮薄层。
4. 如权利要求1所述的提高电子注入效率的氮化镓系发光二极管,其中下多周期n型电子耦合层的周期数为3-20,每一层铝铟镓氮薄层的厚度为2-20nm;每一层铟镓氮薄层的厚度为1-4nm。
5. 如权利要求2所述的提高电子注入效率的氮化镓系发光二极管,其中上多周期n型电子耦合层的周期数为3-20,每一层铝铟镓氮薄层的厚度为2-20nm;每一层铟镓氮薄层的厚度为1-4nm。
6. 如权利要求3所述的提高电子注入效率的氮化镓系发光二极管,其中活性发光层的周期数为4-15,每一层铝铟镓氮薄层的厚度为4-20nm;每一层铟镓氮薄层的厚度为1-4nm。
7. 如权利要求1或2所述的提高电子注入效率的氮化镓系发光二极管,其中下多周期n型电子耦合层和上多周期n型电子耦合层从下至上的铟镓氮薄层中的铟组分为逐渐增加,但不能超过所述活性发光层中的铟镓氮薄层中的铟组分。
8. 如权利要求1所述的提高电子注入效率的氮化镓系发光二极管,其中下隧穿势垒层和上隧穿势垒层的厚度为2-20nm。

提高电子注入效率的氮化镓基发光二极管

技术领域

[0001] 本发明涉及一种氮化镓 (GaN) 系发光二极管,特别是涉及一种由两组或多组不同铟组分的 n 型电子耦合层的氮化镓系发光二极管。

背景技术

[0002] 目前 III-V 族半导体光电材料被誉为第三代半导体材料。而 GaN 系发光二极管,由于可以通过控制材料的组成来制作出各种色光(尤其是需要高能隙的蓝光或紫光)的发光二极管(简称为“LED”),而成为业界研究的重点。

[0003] 以 GaN 为基础的半导体材料或器件的外延生长目前主要采用 MOCVD 技术。在利用 MOCVD 技术生长氮化物半导体(GaN、AlN、InN 及它们的合金氮化物)的工艺中,由于没有与 GaN 晶格匹配的衬底材料,故通常采用蓝宝石作为衬底进行异质外延。然而,在蓝宝石与氮化物半导体之间存在较大的晶格失配(-13.8%)和热膨胀系数的差异,于是生长没有龟裂、表面平整的高质量氮化物半导体非常困难。目前最有效的外延生长方法通常采用两步外延生长法(参见 H. Amano, N. Sawaki 和 Y. Toyoda 等,“使用 AlN 缓冲层的高质量 GaN 薄膜的金属有机气相外延生长”, Appl. Phys. Lett. 48, 1986, 353),虽然晶体质量在一定程度上得到改善,但由于蓝宝石与氮化物之间的晶格失配,外延层中存在很大的应力。同时,活性发光层中铟镓氮和氮化镓之间也同样存在着较大的热失配,即在温度发生变化时,活性层中也会产生一定的应变。由于 III 族氮化物具有压应变特性,这些应变会在 InGaN/GaN 多量子阱有源区内产生很大的压应力。从而在多量子阱有源区内形成较大的压应变电场(即压电场效应(piezo-electrical field effect)),而压电场效应的存在一方面使得电子与空穴的波函数在空间上分离,从而引起辐射复合强度的减弱;另一方面由于压电场的存在,使得 LED 的 n 区费米能级抬高,甚至高于 p 区费米能级 (Appl. Phys. Lett. , 94, 2009, 231123),造成电子从 n 区越过有源区直接到达 p 区发生非辐射复合。为了减少电子的过冲,早期的方法是在活性发光层前生长一层厚的低铟组分的铟镓氮插入层作为电子储蓄层,但是由于铟镓氮层的质量随着厚度的增加迅速降低,在后来的研究中将该层铟镓氮换成铟镓氮与氮化镓的量子阱或超晶格结构(参看专利 CN1552104A 及专利 CN101174662A)。这两种结构在小电流注入的条件下对减少电子的过冲,增加电子的注入效率,起到了很好的作用。但是,随着注入电流密度的增加,由于外加电场与活性层中的压应变电场方向一致,导致 n 区费米能级的进一步提高,电子的过冲行为加重,仍然有大量的电子越过活性层直接到达 p 区。

[0004] 为了减少电子在大电流注入条件下的过冲行为,提高电子的注入效率,我们在有源区活性层下方加入两组或多组由不同铟组分的铟镓氮和铝铟镓氮构成的多量子阱结构,以此作为电子耦合层。每一组量子阱结构中的铟组分是不等的,越靠近活性发光层,铟镓氮中的铟组分越高。随着铟组分的增加,铟镓氮量子阱对电子的限制作用增强,更多的电子将被束缚在电子耦合层内部,以此来减少电子的过冲。电子耦合层之间通过铝铟镓氮薄层作为隧穿势垒层。通过调节各个电子耦合层中铟镓氮量子阱层的宽度来调节量子阱中的能级,并最终达到电子在不同耦合层之间以及耦合层和活性发光层之间的能级共振;通过调

节铝镓氮隧穿势垒层的厚度,提高电子在共振能级间的隧穿几率。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种氮化镓系发光二极管,通过该结构设计可以增加大电流注入下对电子的限制,减少电子的过冲,从而提高电子的注入效率,以此提高发光二极管的发光效率。

[0006] 本发明提供一种提高电子注入效率的氮化镓系发光二极管,其包括:

[0007] 一衬底;

[0008] 一氮化镓成核层,该氮化镓成核层制作在衬底上;

[0009] 一缓冲层,该缓冲层制作在氮化镓成核层上;

[0010] 一n型接触层,该n型接触层制作在缓冲层上,在该n型接触层的上面的一侧形成一台面,该n型接触层由n型氮化镓构成;

[0011] 一下多周期n型电子耦合层,该下多周期n型电子耦合层制作在n型接触层上台面另一侧的上面;

[0012] 一下隧穿势垒层,该下隧穿势垒层制作在下多周期n型电子耦合层上;

[0013] 一上多周期n型电子耦合层,该上多周期n型电子耦合层制作在下隧穿势垒层上;

[0014] 一上隧穿势垒层,该上隧穿势垒层制作在上多周期n型电子耦合层上;

[0015] 一多周期活性发光层,该活性发光层制作在上隧穿势垒层上;

[0016] 一负电极,该负电极制作在n型接触层的台面上;

[0017] 一p型电子阻挡层,该p型电子阻挡层制作在多周期活性发光层上;

[0018] 一p型接触层,该p型接触层制作在p型电子阻挡层上,该p型接触层由p型氮化镓构成;

[0019] 一正电极,该正电极制作在p型接触层上,形成氮化镓系发光二极管的结构。

附图说明

[0020] 为进一步说明本发明的技术内容,以下结合附图和具体实施方式对本发明进行更详细的说明,其中:

[0021] 图1是根据本发明的具有n型电子耦合层的Ga_N系发光二极管。

[0022] 图2是现有的以及根据本发明的氮化镓系发光二极管的PL发光强度曲线,其中三角线条为本发明的具有n型电子耦合层结构的氮化镓系LED;圆形线条为传统结构的氮化镓系LED。

具体实施方式

[0023] 请参阅图1所示,本发明提供一种氮化镓系发光二极管,其包括:

[0024] 一衬底11,以(0001)向蓝宝石(Al₂O₃)为衬底11,其他可用于衬底11的材质还包括R-面或A-面的氧化铝单晶、6H-SiC、4H-SiC、或晶格常数接近于氮化物半导体的单晶氧化物。制备中采用高纯NH₃作N源,高纯H₂和N₂的混合气体作载气;三甲基镓或三乙基镓作Ga源,三甲基铟作In源,三甲基铝作Al源;n型掺杂剂为硅烷,p型掺杂剂为二茂镁。

[0025] 一氮化镓成核层 12, 该氮化镓成核层 12 制作在衬底 11 上。生长参数包括: 反应温度 500°C 至 800°C, 反应腔压力 200 至 500Torr, 载气流量 10-30 升 / 分钟, 三甲基镓流量 20-250 微摩尔 / 分钟, 氨气流量 20-80 摩尔 / 分钟, 生长时间 1-10 分钟;

[0026] 一缓冲层 13, 该缓冲层 13 制作在成核层 12 上。生长参数包括: 反应温度 950-1180°C, 反应腔压力 76-250Torr, 载气流量 5-20 升 / 分钟, 三甲基镓流量为 80-400 微摩尔 / 分钟, 氨气流量为 200-800 摩尔 / 分钟, 生长时间 20-60 分钟;

[0027] 一 n 型接触层 14, 该 n 型接触层 14 制作在缓冲层 13 上, 该 n 型接触层 14 由 n 型氮化镓构成。生长参数包括: 反应温度 950-1150°C, 反应腔压力 76-250Torr, 载气流量 5-20 升 / 分钟, 三甲基镓流量 80-400 微摩尔 / 分钟, 氨气流量 200-800 摩尔 / 分钟, 硅烷流量 0.2-2.0 纳摩尔 / 分钟, 生长时间 10-40 分钟;

[0028] 一下多周期 n 型电子耦合层 15, 该下多周期 n 型电子耦合层 15 制作在 n 型接触层 14 上台面 141 另一侧的上面。所述下多周期电子耦合层 15 是由铟镓氮 (InGa_N) 薄层 151 和铝铟镓氮 (AlInGa_N) 薄层 152 交互层叠形成的多周期的量子阱结构构成。生长参数包括: AlInGa_N 薄层 (即垒层 152): 反应温度 700-900°C, 反应腔压力 100-500Torr, 载气流量 5-20 升 / 分钟, 氨气流量 200-800 摩尔 / 分钟, 三甲基铟流量 10-50 微摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 0.1-1.0 微摩尔 / 分钟, 三甲基铝流量 20-100 微摩尔 / 分钟, 硅烷流量 0-2.0 纳摩尔 / 分钟, 时间 0.1-5 分钟; InGa_N 薄层 (即阱层 151): 反应温度 700-850°C, 反应腔压力 100-500Torr, 载气流量 5-20 升 / 分钟, 氨气流量 200-800 摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 0.1-1.0 微摩尔 / 分钟, 三甲基铟流量 10-50 微摩尔 / 分钟, 时间 0.1-5 分钟; 结构周期数为 3 至 20;

[0029] 一下隧穿势垒层 16, 该下隧穿势垒层 16 制作在下多周期 n 型电子耦合层 15 上, 由铝铟镓氮 (AlInGa_N) 薄层构成。其下接触面为下多周期 n 型电子耦合层 15 的铟镓氮薄层 151。生长参数包括: 反应温度 700-900°C, 反应腔压力 100-500Torr, 载气流量 5-20 升 / 分钟, 氨气流量 200-800 摩尔 / 分钟, 三甲基铟流量 10-50 微摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 0.1-1.0 微摩尔 / 分钟, 三甲基铝流量 20-100 微摩尔 / 分钟, 硅烷流量 0-2.0 纳摩尔 / 分钟, 时间 0.1-5 分钟;

[0030] 一上多周期 n 型电子耦合层 17, 该上多周期 n 型电子耦合层 17 制作在下隧穿势垒层 16 上, 所述上多周期 n 型电子耦合层 17 是由铟镓氮 (InGa_N) 薄层 171 和铝铟镓氮 (AlInGa_N) 薄层 172 交互层叠形成的多周期的量子阱结构构成。生长参数包括: AlInGa_N 薄层 (即垒层 172): 反应温度 700-900°C, 反应腔压力 100-500Torr, 载气流量 5-20 升 / 分钟, 氨气流量 200-800 摩尔 / 分钟, 三甲基铟流量 10-50 微摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 0.1-1.0 微摩尔 / 分钟, 三甲基铝流量 20-100 微摩尔 / 分钟, 硅烷流量 0-2.0 纳摩尔 / 分钟, 时间 0.1-5 分钟; InGa_N 薄层 (即阱层 171): 反应温度 700-850°C, 反应腔压力 100-500Torr, 载气流量 5-20 升 / 分钟, 氨气流量 200-800 摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 0.1-1.0 微摩尔 / 分钟, 三甲基铟流量 10-50 微摩尔 / 分钟, 时间 0.1-5 分钟; 结构周期数为 3 至 20;

[0031] 一上隧穿势垒层 18, 该上隧穿势垒层 18 制作在上多周期 n 型电子耦合层 17 上, 由铝铟镓氮 (AlInGa_N) 薄层构成。其下层接触面为上多周期 n 型电子耦合层 17 的铟镓氮薄层 171。生长参数包括: 反应温度 700-900°C, 反应腔压力 100-500Torr, 载气流量 5-20 升 / 分钟, 氨气流量 200-800 摩尔 / 分钟, 三甲基铟流量 10-50 微摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量

0.1-1.0 微摩尔 / 分钟, 三甲基铝流量 20-100 微摩尔 / 分钟, 硅烷流量 0-2.0 纳摩尔 / 分钟, 时间 0.1-5 分钟;

[0032] 一活性发光层 19, 该活性发光层 19 制作在上隧穿势垒层 18 上, 所述活性发光层 19 是由铟镓氮 (InGaN) 薄层 191 和铝铟镓氮 (AlInGaN) 薄层 192 交互层叠形成的多周期的量子阱结构构成。生长参数包括: AlInGaN 薄层 (即垒层 192): 反应温度 700-900°C, 反应腔压力 100-500Torr, 载气流量 5-20 升 / 分钟, 氨气流量 200-800 摩尔 / 分钟, 三甲基铟流量 10-50 微摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 0.1-1.0 微摩尔 / 分钟, 三甲基铝流量 20-100 微摩尔 / 分钟, 硅烷流量 0-2.0 纳摩尔 / 分钟, 时间 0.1-5 分钟; InGaN 薄层 (即阱层 191): 反应温度 700-850°C, 反应腔压力 100-500Torr, 载气流量 5-20 升 / 分钟, 氨气流量 200-800 摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 0.1-1.0 微摩尔 / 分钟, 三甲基铟流量 10-50 微摩尔 / 分钟, 时间 0.1-5 分钟; 多量子阱周期数为 4 至 15;

[0033] 本发明中的下多周期 n 型电子耦合层 15 中铟镓氮薄层 151 的生长温度优选为 600-900°C, 低于上多周期 n 型电子耦合层 17 中铟镓氮薄层 171 的生长温度, 且这两层铟镓氮薄层 151、171 的生长温度都低于活性发光层 19 中铟镓氮薄层 191 的生长温度。

[0034] 本发明中的 n 型电子耦合层中铟镓氮薄层的铟组分应当在 $0 < x < 0.3$ 。且由下多周期 n 型电子耦合层 15 中铟镓氮薄层 151 到上多周期 n 型电子耦合层 17 中铟镓氮薄层 171 再到活性发光层 19 中铟镓氮薄层 191, 其铟组分是逐渐增加的。

[0035] 本发明中的铝铟镓氮隧穿势垒层 16/18 的厚度优选为 2-20 纳米。

[0036] 本发明通过在活性发光层 19 下方生长具有多组 n 型电子耦合层 15/17, 获得了发光强度得到较大提高的 GaN 系发光二极管。主要原因在于如下:

[0037] 在活性发光层 19 下方生长多组电子耦合层 15、17, 且电子耦合层中铟镓氮薄层的铟组分由下多周期 n 型电子耦合层 15 中铟镓氮薄层 151 到上多周期 n 型电子耦合层 17 中铟镓氮薄层 171 再到活性发光层 19 中铟镓氮薄层 191, 其铟组分是逐渐增加的。由于电子耦合层中具有较高的铟组分, 对电子的束缚能力增强, 这样更多的电子将被束缚在电子耦合层内部, 减少大电流注入条件下电子的过冲。通过调节铟镓氮薄层 151、171 中的铟组分及阱宽, 实现下多周期 n 型电子耦合层 15 与上多周期 n 型电子耦合层 17 之间能级共振, 并最终实现上多周期 n 型电子耦合层 17 与活性发光层 19 中的铟镓氮薄层 191 之间的能级共振; 通过调节隧穿势垒层铝铟镓氮层 16、18 的厚度, 实现下多周期 n 型电子耦合层 15 与上多周期 n 型电子耦合层 17 以及活性发光层 19 之间的能级共振隧穿。从而达到提高载流子注入效率的目的。

[0038] 一负电极 22, 该负电极 22 制作在 n 型接触层 14 的台面 141 上, 由铬铂金或钛铝钛金组成。

[0039] 一 p 型电子阻挡层 20, 该 p 型电子阻挡层 20 制作在活性发光层 19 上, 该 p 型电子阻挡层 20 由铝铟镓氮构成。所述 p 型电子阻挡层 20 的厚度为 10-50nm, 并且所述 p 型电子阻挡层的下表面与所述活性发光层中的铝铟镓氮薄层 192 接触。生长参数包括: 反应温度 700-1000°C, 反应腔压力 50-200Torr, 载气流量 5-20 升 / 分钟, 氨气流量 100-400 摩尔 / 分钟, 三甲基铟流量 10-50 微摩尔 / 分钟, 三甲基铝流量 20-100 微摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 80-200 微摩尔 / 分钟, 二茂镁流量为 150-400 纳摩尔 / 分钟, 时间 1-10 分钟。

[0040] 其中所述 p 型电子阻挡层 20 以二茂镁为 p 型掺杂剂, 并且二茂镁的掺杂浓度为

$10^{19}-10^{21}\text{cm}^{-3}$ 。

[0041] 一 p 型接触层 21, 该 p 型接触层 21 制作在 p 型电子阻挡层 20 上, 该 p 型接触层 21 由 p 型氮化镓构成。生长参数包括: 反应温度 950-1100℃, 反应腔压力 200-500Torr, 载气流量 5-20 升 / 分钟, 氨气流量 200-800 摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 80-400 微摩尔 / 分钟, 二茂镁流量为 0.5-5 微摩尔 / 分钟, 时间 10-50 分钟。

[0042] 一正电极 23, 该正电极 23 制作在 p 型接触层 21 上, 由铬铂金组成。完成氮化镓系发光二极管的制作。

[0043] 图 2 所示为根据本发明的具有 n 型电子耦合层的氮化镓系发光二极管与传统工艺没有 n 型电子耦合层的氮化镓系发光二极管的光致发光特性对比。其中三角线条为本发明的具有 n 型电子耦合层结构的氮化镓系 LED; 圆形线条为传统结构的氮化镓系 LED。由图 2 中可以看出, 与传统结构的 LED 相比, 在同样的注入电流条件下, 本发明的 LED 结构的发光强度增大, 说明发光二极管的内量子效率得到了有效的提高。

[0044] 以上所述, 仅为本发明中的具体实施方式, 但本发明的保护范围并不局限于此, 任何熟悉该技术的人在本发明所揭露的技术范围内, 可轻易想到的变换或替换, 都应涵盖在本发明的包含范围之内。因此, 本发明的保护范围应该以权利要求书的保护范围为准。

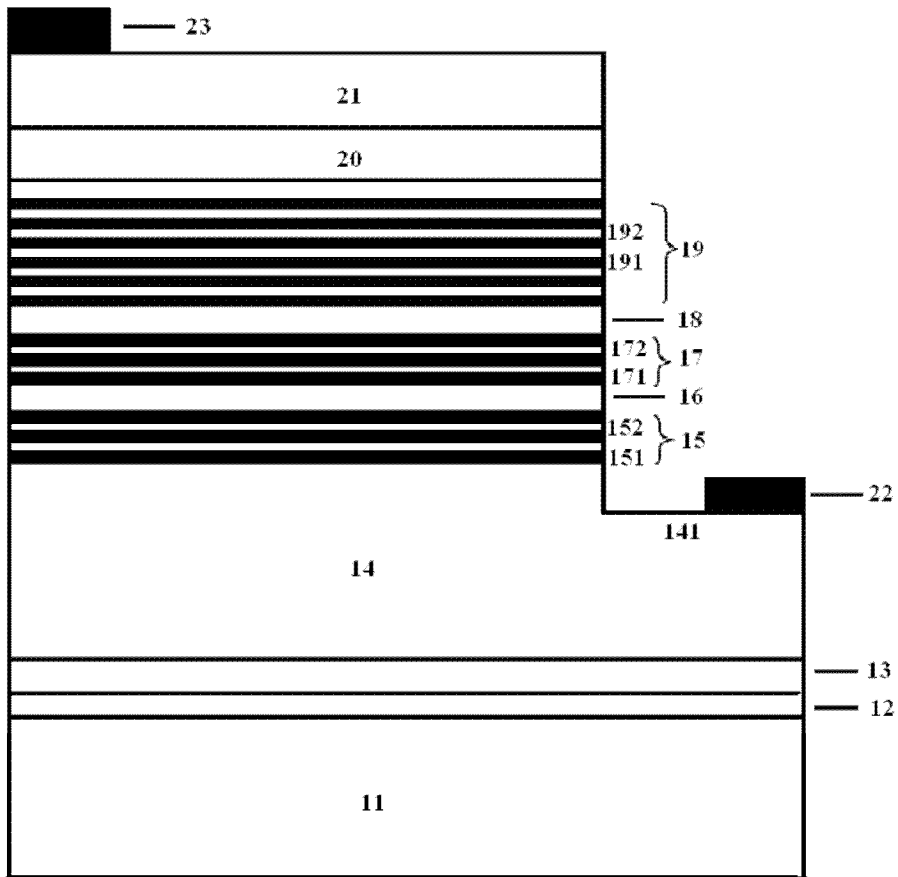


图 1

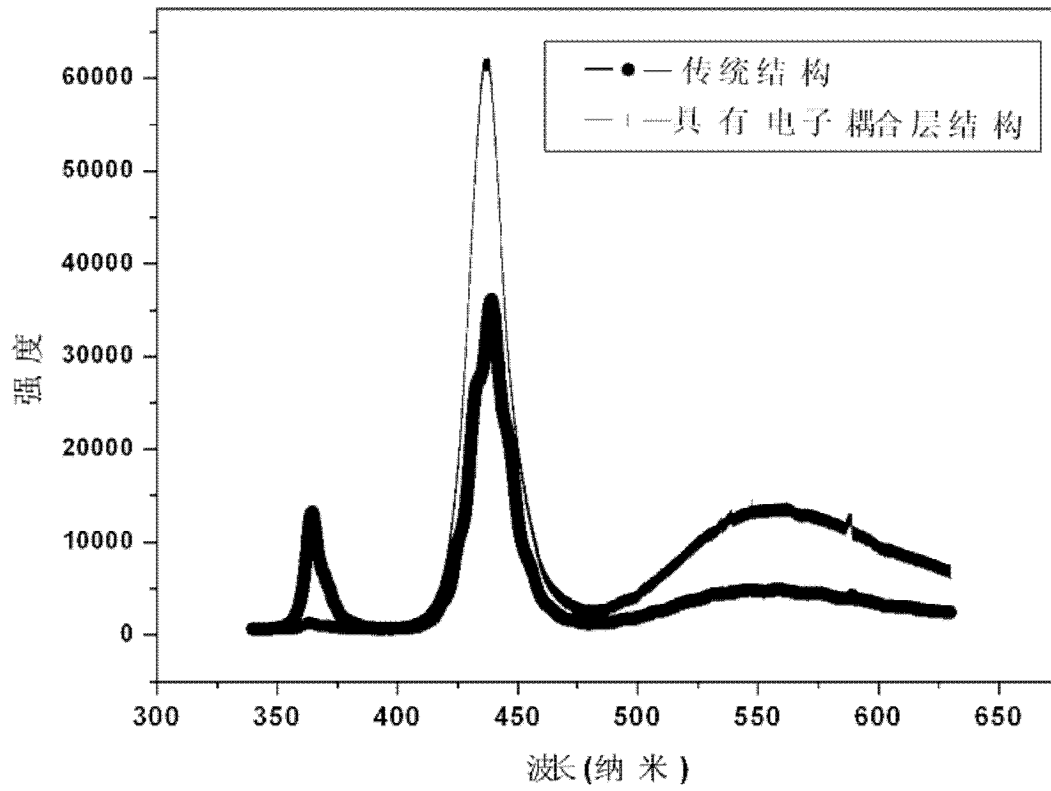


图 2