



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102064255 A

(43) 申请公布日 2011. 05. 18

(21) 申请号 201010584046. 4

(22) 申请日 2010. 12. 10

(71) 申请人 西安神光安瑞光电科技有限公司

地址 710100 陕西省西安市国家民用航天产  
业基地工业二路 55 号

(72) 发明人 张汝京 牛崇实 张翼德

(74) 专利代理机构 上海思微知识产权代理事务  
所（普通合伙） 31237

代理人 郑玮

(51) Int. Cl.

H01L 33/12(2010. 01)

H01L 33/00(2010. 01)

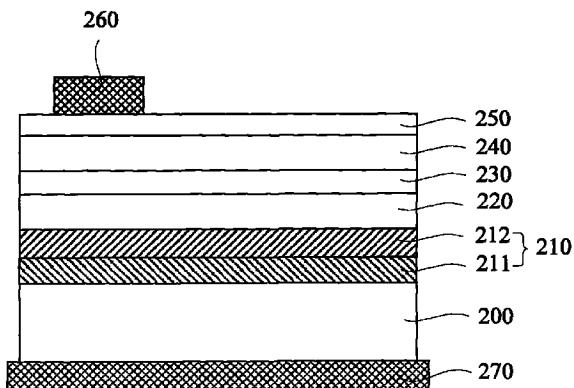
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 3 页

(54) 发明名称

发光二极管及其制造方法

(57) 摘要

本发明公开了一种发光二极管及其制造方  
法，所述发光二极管包括：硅衬底；形成于硅衬底  
上的缓冲层；依次形成于缓冲层上的第一导电类  
型半导体层、有源层和第二导电类型半导体层，所  
述缓冲层的材料为 SiC 或 InN。所述 SiC 或 InN  
的晶格常数介于硅衬底和形成于缓冲层上的氮化  
镓材料的晶格常数之间并较为接近，可以解决硅  
衬底与氮化镓材料之间的晶格常数失配及应力问  
题，减小形成于衬底上的其它膜层的晶体缺陷，提  
高发光二极管的内量子效率；并且，所述 SiC 或  
InN 材料具有良好的导电和导热性能，有利于提  
高发光二极管性能。



1. 一种发光二极管，包括：硅衬底；形成于所述硅衬底上的缓冲层；依次形成于所述缓冲层上的第一导电类型半导体层、有源层和第二导电类型半导体层，其特征在于，所述缓冲层的材料为 SiC 或 InN。

2. 如权利要求 1 所述的发光二极管，其特征在于，所述缓冲层的材料由 3C-SiC 以及形成于 3C-SiC 上的 4H-SiC 或 6H-SiC 组成。

3. 如权利要求 1 所述的发光二极管，其特征在于，所述发光二极管还包括形成于所述第二导电类型半导体层上的透明导电层。

4. 如权利要求 3 所述的发光二极管，其特征在于，所述发光二极管还包括第一导电类型电极和第二导电类型电极，所述第一导电类型电极位于硅衬底远离第一导电类型半导体层的表面上，所述第二导电类型电极位于透明导电层上。

5. 如权利要求 4 所述的发光二极管，其特征在于，所述第一导电类型为 n 型，所述第二导电类型为 p 型。

6. 如权利要求 5 所述的发光二极管，其特征在于，所述第一导电类型半导体层的材料为 n-GaN，所述有源层包括多量子阱有源层，所述多量子阱有源层的材料为 InGaN；所述第二导电类型半导体层的材料为 p-GaN。

7. 如权利要求 4 所述的发光二极管，其特征在于，所述硅衬底和缓冲层中掺入了 n 型杂质离子。

8. 一种发光二极管的制造方法，其特征在于，包括：

提供硅衬底；

在所述硅衬底上形成缓冲层，所述缓冲层的材料为 SiC 或 InN；

在所述缓冲层上依次形成第一导电类型半导体层、有源层以及第二导电类型半导体层。

9. 如权利要求 8 所述的发光二极管的制造方法，其特征在于，在所述硅衬底上形成缓冲层的步骤包括：

在所述硅衬底上形成 3C-SiC 层；在 3C-SiC 上形成 4H-SiC 层或 6H-SiC 层。

10. 如权利要求 9 所述的发光二极管的制造方法，其特征在于，利用化学气相沉积方式在所述硅衬底上形成 3C-SiC 层。

11. 如权利要求 10 所述的发光二极管的制造方法，其特征在于，利用升华法在 3C-SiC 层上形成 4H-SiC 层或 6H-SiC 层。

12. 如权利要求 8 所述的发光二极管的制造方法，其特征在于，形成第二导电类型半导体层之后，还包括：在第二导电类型半导体层上形成透明导电层。

13. 如权利要求 12 所述的发光二极管制造方法，其特征在于，形成所述透明导电层之后，还包括：

在所述透明导电层上形成第二导电类型电极；

在所述硅衬底远离第一导电类型半导体层的表面上形成第一导电类型电极。

14. 如权利要求 12 所述的发光二极管制造方法，其特征在于，所述第一导电类型为 n 型，所述第二导电类型为 p 型。

15. 如权利要求 14 所述的发光二极管制造方法，其特征在于，所述第一导电类型半导体层的材料为 n-GaN，所述有源层包括多量子阱有源层，所述多量子阱有源层的材料为

InGaN ;所述第二导电类型半导体层的材料为 p-GaN。

16. 如权利要求 14 所述的发光二极管制造方法,其特征在于,在所述硅衬底上形成缓冲层之前,还包括 :执行第一次离子注入工艺,注入离子为砷离子或磷离子,注入能量为 50KeV ~ 500KeV,注入剂量为  $10^{14}/\text{cm}^2 \sim 10^{16}/\text{cm}^2$ 。

17. 如权利要求 16 所述的发光二极管制造方法,其特征在于,形成所述缓冲层之后,还包括 :执行第二次离子注入工艺,注入离子为砷离子或磷离子,注入能量为 50KeV ~ 500KeV,注入剂量为  $10^{14}/\text{cm}^2 \sim 10^{16}/\text{cm}^2$ 。

## 发光二极管及其制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及集成电路制造领域,特别是涉及一种发光二极管及其制造方法。

### 背景技术

[0002] 发光二极管(LED, Light Emitting Diode)由于具有寿命长、耗能低等优点,应用于各种领域,尤其随着其照明性能指标日益大幅提高,LED在照明领域常用作发光装置。其中,以氮化镓(GaN)为代表的III-V族化合物由于具有带隙宽、发光效率高、电子饱和漂移速度高、化学性质稳定等特点,在高亮度蓝光发光二极管、蓝光激光器等光电子器件领域有着巨大的应用潜力,引起了人们的广泛关注。

[0003] 具体请参考图1,其为现有技术的一种发光二极管的剖面示意图。如图1所示,所述发光二极管为L型结构的氮化镓基的发光二极管,所述发光二极管为蓝宝石衬底的发光二极管。所述发光二极管包括:蓝宝石衬底100;依次位于蓝宝石衬底100上的缓冲层110、n型半导体层120、有源层130、p型半导体层140。由于蓝宝石衬底100不导电,因此,所述发光二极管还需要形成深度延伸至n型半导体层120的开口121,其中,n型电极150位于所述开口121内,用于连接n型半导体层120和电源负极,p型电极160位于p型半导体层140上方,用于连接p型半导体层140和电源正极。

[0004] 其中,n型半导体层120的材料通常是n型掺杂的氮化镓(n-GaN);所述有源层130通常包括多量子阱有源层,多量子阱有源层的材料例如是铟氮化镓(InGaN);所述p型半导体层140的材料通常是p型掺杂的氮化镓(p-GaN)。所述发光二极管用于发光时,将第一电极150电连接至电源负极、第二电极160电连接至电源正极,由于n型半导体层120与p型半导体层140的掺杂类型相反,n型掺杂的氮化镓通过外部电压驱动使电子漂移,p型掺杂的氮化镓通过外部电压驱动使空穴漂移,所述空穴和电子在多量子阱有源层(也称为活性层或发光层)中相互重新结合,从而反射光。

[0005] 在所述的发光二极管中,缓冲层110的材料通常是低温生长的氮化镓,所述缓冲层用于改善衬底100与氮化镓材料之间的晶格常数失配的问题,减小形成于衬底上的其它膜层的晶体缺陷,提高发光二极管的内量子效率。然而,氮化镓材料成本非常高,不利于降低生产成本。

[0006] 现有技术中还公开了一种硅衬底GaN基的发光二极管,由于硅衬底与氮化镓半导体材料之间的晶格失配高达17%,且存在金属镓对硅表面回熔的问题,为获得硅衬底上高质量的氮化镓基半导体材料,现有技术一般采用金属有机化合物化学气相沉积(MOCVD)技术,在硅衬底上依次生长氮化铝(AlN)缓冲层与氮化镓外延层,详细内容可参见申请号为200910186565的中国专利申请。但由于氮化铝为非良导体,一般采用“水平型(或L型)”的器件结构,或者将氮化铝连同硅衬底一起腐蚀剥离掉后再制成“垂直型(或V型)”电极结构,制作工艺较为复杂。

## 发明内容

[0007] 本发明提供一种发光二极管及其制造方法,以解决硅衬底与氮化镓材料之间的晶格常数失配及应力的问题。

[0008] 为解决上述技术问题,本发明提供一种发光二极管,包括:硅衬底;形成于所述硅衬底上的缓冲层;依次形成于所述缓冲层上的第一导电类型半导体层、有源层和第二导电类型半导体层,其特征在于,所述缓冲层的材料为SiC或InN。

[0009] 可选的,在所述的发光二极管中,所述缓冲层的材料由3C-SiC以及形成于3C-SiC上的4H-SiC或6H-SiC组成。

[0010] 可选的,在所述的发光二极管中,所述发光二极管还包括形成于所述第二导电类型半导体层上的透明导电层。所述发光二极管还包括第一导电类型电极和第二导电类型电极,所述第一导电类型电极位于硅衬底远离第一导电类型半导体层的表面上,所述第二导电类型电极位于透明导电层上。

[0011] 可选的,在所述的发光二极管中,所述第一导电类型为n型,所述第二导电类型为p型。所述第一导电类型半导体层的材料为n-GaN,所述有源层包括多量子阱有源层,所述多量子阱有源层的材料为InGaN;所述第二导电类型半导体层的材料为p-GaN。所述硅衬底和缓冲层中掺入了n型杂质离子。

[0012] 相应的,本发明还提供一种发光二极管的制造方法,包括:提供硅衬底;在所述硅衬底上形成缓冲层,所述缓冲层的材料为SiC或InN;在所述缓冲层上依次形成第一导电类型半导体层、有源层和第二导电类型半导体层。

[0013] 可选的,在所述发光二极管制造方法中,在所述硅衬底上形成缓冲层的步骤包括:在所述硅衬底上形成3C-SiC;在3C-SiC上形成4H-SiC或6H-SiC。利用化学气相沉积方式在所述硅衬底上形成3C-SiC。利用升华法在3C-SiC上形成4H-SiC或6H-SiC。

[0014] 可选的,在所述发光二极管制造方法中,形成第二导电类型半导体层之后,还包括:在第二导电类型半导体层上形成透明导电层;在所述透明导电层上形成第二导电类型电极;在所述硅衬底远离第一导电类型半导体层的表面上形成第一导电类型电极。

[0015] 可选的,在所述发光二极管制造方法中,所述第一导电类型为n型,所述第二导电类型为p型。所述第一导电类型半导体层的材料为n-GaN,所述有源层包括多量子阱有源层,所述多量子阱有源层的材料为InGaN;所述第二导电类型半导体层的材料为p-GaN。

[0016] 可选的,在所述发光二极管制造方法中,在所述硅衬底上形成缓冲层之前,还包括:执行第一次离子注入工艺,注入离子为砷离子或磷离子,注入能量为50KeV~500KeV,注入剂量为 $10^{14}/\text{cm}^2 \sim 10^{16}/\text{cm}^2$ 。形成所述缓冲层之后,还包括:执行第二次离子注入工艺,注入离子为砷离子或磷离子,注入能量为50KeV~500KeV,注入剂量为 $10^{14}/\text{cm}^2 \sim 10^{16}/\text{cm}^2$ 。

[0017] 与现有技术相比,本发明的发光二极管的缓冲层的材料为碳化硅(SiC)或氮化镓(InN),所述SiC或InN的晶格常数介于硅衬底和形成于缓冲层上的氮化镓材料的晶格常数之间并较为接近,可以解决硅衬底与氮化镓材料之间的晶格常数失配及应力的问题,减小形成于衬底上的其它膜层的晶体缺陷,提高发光二极管的内量子效率;并且,所述SiC或InN材料具有良好的导电和导热性能,有利于提高发光二极管的导电和散热性能;此外,所述SiC或InN与氮化镓相比成本更低。

## 附图说明

- [0018] 图 1 是现有技术的发光二极管的剖面示意图；
- [0019] 图 2 是本发明实施例的发光二极管的示意图；
- [0020] 图 3 为本发明实施例的发光二极管制造方法的流程图；
- [0021] 图 4A ~ 4D 为本发明实施例的发光二极管制造方法的各步骤相应结构的剖面示意图。

## 具体实施方式

[0022] 本发明的核心思想在于，提供一种发光二极管及其制造方法，所述发光二极管的缓冲层的材料为 SiC 或 InN，所述 SiC 或 InN 的晶格常数介于硅衬底和形成于缓冲层上的氮化镓材料的晶格常数之间并较为接近，可解决硅衬底与氮化镓材料之间的晶格常数失配及应力的问题，减小形成于衬底上的膜层的晶体缺陷，提高发光二极管的内量子效率；并且，SiC 或 InN 材料具有良好的导电和导热性能，有利于提高发光二极管的导电和导热性能；此外，SiC 或 InN 材料与氮化镓相比成本更低。

[0023] 请参考图 2，其为本发明实施例的发光二极管的示意图。所述发光二极管为氮化镓基的蓝光二极管。如图 2 所示，所述发光二极管包括：硅衬底 200；形成于所述硅衬底 200 上的缓冲层 210；依次形成于所述缓冲层 210 上的第一导电类型半导体层 220、有源层 230 和第二导电类型半导体层 240，其中，所述缓冲层 210 的材料为 SiC 或 InN。

[0024] 众所周知，SiC（碳化硅）在不同物理化学环境下能形成不同的晶体结构，这些成分相同，形态，构造和物理特性有差异的晶体称为同质多象变体，目前已经发现的 SiC 多象变体有 200 多种。一般的，SiC 多象变体是由数字和符号组成，其中 C、H、R 分别代表立方、六方、菱形晶格结构，字母前的数字代表堆积周期中 SiC 原子的密排层数目。例如，3C 就代表 SiC 变体是由周期为 3 层的 SiC 原子密排为立方晶格结构；4H 代表 SiC 变体是由周期为 4 层的原子密排形成的六方晶格结构；6H 代表 SiC 变体是由周期为 6 层的原子密排形成的六方晶格结构；15R 代表 SiC 变体是由周期为 15 的原子层密排堆积形成的菱形结构。

[0025] 较佳的，所述缓冲层 210 的材料由 3C-SiC 层 211 以及形成于 3C-SiC 层 211 上的 4H-SiC 或 6H-SiC 层 212 组成。其中，所述 4H-SiC 和 6H-SiC 材料的晶格常数均为 3.08，与 GaN 的晶格常数（3.189）非常接近，有利于解决硅衬底与氮化镓材料之间的晶格常数失配及应力的问题，减小形成于衬底上的其它膜层的晶体缺陷，提高发光二极管的内量子效率；而尽管所述 3C-SiC 的晶格常数（4.36）虽与 GaN 的晶格常数差别相对较大，但是，与直接在硅衬底 200 上生长 4H-SiC 或 6H-SiC 材料相比，在硅衬底 200 上先形成 3C-SiC 之后再于 3C-SiC 上形成 4H-SiC 或 6H-SiC 的制造工艺较为简单。因此，在本实施例中，采用 3C-SiC 和 4H-SiC（或 6H-SiC）的堆叠结构来作为缓冲层，可在制造工艺简单的前提下获得相对较好的光学性能。

[0026] 其中，第一导电类型为 n 型，第二导电类型为 p 型；所述第一导电类型半导体层 220 的材料为 n-GaN，所述有源层 230 包括多量子阱有源层，所述多量子阱有源层的材料为 InGaN，用于发出波长为 470nm 的蓝光；所述第二导电类型半导体层 240 的材料为 p-GaN。

[0027] 其中，所述发光二极管还包括形成于第二导电类型半导体层 240 上的透明导电层（TCL）250，由于 p-GaN 的电导率比较小，因此在第二导电类型半导体层 240 表面沉积一层金

属的电流扩散层,有助于提高电导率,所述透明导电层 250 的材料例如是 Ni/Au 材料。

[0028] 较佳的,所述发光二极管还包括第一导电类型电极 270 和第二导电类型电极 260,所述第一导电类型电极 270 位于硅衬底 200 远离第一导电类型半导体层 220 的表面(即硅衬底 200 的背面)上,所述第二导电类型电极 260 直接形成于透明导电层 250 上。

[0029] 在本实施例中,所述第二导电类型电极 260 为 p 型电极,所述第一导电类型电极 270 为 n 型电极,所述硅衬底 200 和缓冲层 210 中掺入了 n 型杂质离子(磷离子或砷离子)。由于所述 SiC 或 InN 材料均具有良好的导电性能,而所述硅衬底 200 掺入了 n 型杂质离子后即具有良好的导电性能。因此,在掺入了 n 型杂质离子之后,可直接在硅衬底 200 的背面上形成第一导电类型电极 270,从而形成垂直的发光二极管结构(也可称为 V 型结构)。

[0030] 所述发光二极管用于发光时,将第二导电类型电极 260 连接至电源正极、第一导电类型电极 270 连接至电源负极,发光二极管管芯通过第二导电类型电极 260 与电源正极相连,通过第一导电类型电极 270 与电源负极相连,发光二极管管芯中的有源层 230 在电流作用下发光。相比于传统的由蓝宝石衬底制成的水平型(或 L 型)发光二极管结构而言,垂直的发光二极管结构导电和散热效果更好,并且有利于节约芯片面积,提高芯片利用率。

[0031] 相应的,本发明还提供一种发光二极管制造方法。请参考图 3,其为本发明实施例的发光二极管制造方法的流程示意图,该方法包括以下步骤:

[0032] 步骤 S300,提供硅衬底;

[0033] 步骤 S310,在所述硅衬底上形成缓冲层,所述缓冲层的材料为 SiC 或 InN;

[0034] 步骤 S320,在所述缓冲层上依次形成第一导电类型半导体层、有源层和第二导电类型半导体层。

[0035] 下面将结合剖面示意图对本发明的发光二极管制造方法进行更详细的描述,其中表示了本发明的优选实施例,应该理解本领域技术人员可以修改在此描述的本发明,而仍然实现本发明的有利效果。因此,下列描述应当被理解为对于本领域技术人员的广泛知道,而并不作为对本发明的限制。

[0036] 参考图 4A,首先,执行步骤 S300,提供硅衬底 400。在本实施例中,所述硅衬底 400 为 p 型掺杂的硅衬底(p-Si),所述硅衬底 400 的电阻率例如是  $1 \sim 20 \Omega \cdot \text{cm}$ 。当然,所述硅衬底 400 还可以是 n 型掺杂的硅衬底(n-Si);并且,本发明也并不限定硅衬底的电阻率。

[0037] 参考图 4B,接着,执行步骤 S310,在所述硅衬底 400 上形成缓冲层 410。在本实施例中,所述缓冲层 410 的材料为 SiC(碳化硅);当然,所述缓冲层 410 的材料还可以是 InN(氮化铟)。所述 SiC 或 InN 材料的晶格常数与氮化镓材料的晶格常数较为接近,可以解决硅衬底与氮化镓材料之间的晶格常数失配的问题,减小形成于硅衬底上的其它膜层的晶体缺陷,提高发光二极管的内量子效率;并且,SiC 或 InN 材料具有良好的导电和导热性能,有利于提高发光二极管的导电和导热性能;此外,SiC 或 InN 与氮化镓相比成本更低。

[0038] 较佳的,所述缓冲层的材料为 3C-SiC 以及形成于 3C-SiC 上的 4H-SiC 或 6H-SiC,采用 3C-SiC 和 4H-SiC(或 6H-SiC)的堆叠结构作为缓冲层,可在制造工艺简单的前提下获得相对较佳的光学性能。

[0039] 在本实施例中,首先,利用化学气相沉积(CVD)方式在所述硅衬底 400 上生长 3C-SiC 层 411;之后,利用升华法(Lely 法)在 3C-SiC 层 411 上生长 4H-SiC 或 6H-SiC 层 412。其中,所述化学气相沉积工艺所使用的气体为  $\text{C}_3\text{H}_8$ 、 $\text{H}_2$  和  $\text{SiH}_4$  的混合气体,反应温度

例如为 1200℃～1400℃；所述升华法的反应温度例如为 2600℃，利用升华的方式在所述 3C-SiC 上生长的必然是 4H-SiC 或 6H-SiC 单晶体。可以理解的是，上述数值并不用于限定本发明，还可利用其它公知的生长技术和工艺在硅衬底 400 上形成 SiC 或 InN 材料。

[0040] 参考图 4C，接下来，在缓冲层 410 上依次形成第一导电类型半导体层 420、有源层 430、第二导电类型半导体层 440，所述第一导电类型半导体层 420、有源层 430 和第二导电类型半导体层 440 构成发光二极管的管芯。在本实施例中，所述第一导电类型为 n 型，第二导电类型为 p 型。所述第一导电类型半导体层 420 的材料为 n 型掺杂的氮化镓 (n-GaN)；所述有源层 430 包括多量子阱有源层，所述多量子阱有源层的材料为铟氮化镓 (InGaN)；所述第二导电类型半导体层 440 的材料为 P 型掺杂的氮化镓 (p-GaN)。可利用常规的金属有机化学气相沉积 (MOCVD) 工艺形成第一导电类型半导体层 420、有源层 430 和第二导电类型半导体层 440。

[0041] 继续参考图 4C，在形成第二导电类型半导体层 440 之后，在所述第二导电类型半导体层 440 上形成透明导电层 450，所述透明导电层 450 有助于提高电导率，所述透明导电层 450 的材料可采用 Ni/Au 材料。

[0042] 参考图 4D，随后，在透明导电层 450 上形成第二导电类型电极 460；在硅衬底 400 远离第一导电类型半导体层 420 的表面（即硅衬底 400 的背面）上形成第一导电类型电极 470。

[0043] 在本实施例中，第二导电类型电极 460 为 p 型电极，第一导电类型电极 470 为 n 型电极。由于所述硅衬底 400 为 p 型掺杂的硅衬底 (p-Si)，优选的，在所述硅衬底 400 上形成缓冲层 410 之前，先执行第一次离子注入工艺，以在所述 p 型掺杂的硅衬底中掺入 n 型离子；并在形成缓冲层 410 的步骤之后，再执行第二次离子注入工艺，以在所述缓冲层 410 中注入 n 型离子，从而形成垂直的发光二极管结构，垂直的发光二极管结构相比于传统的水平型（或 L 型）发光二极管结构而言，散热效果更好，并且有利于节约芯片面积，提高芯片利用率。

[0044] 在本实施例的发光二极管制造方法中，通过执行两次离子注入工艺来在硅衬底 400 和缓冲层 410 中注入 n 型离子，可使注入的离子更为均匀，导电效果更好。其中，所述第一次离子注入工艺的注入离子为砷离子或磷离子，注入能量为 50KeV～500KeV，注入剂量为  $10^{14}/\text{cm}^2 \sim 10^{16}/\text{cm}^2$ ；所述第二次离子注入工艺的注入离子为砷离子或磷离子，注入能量为 50KeV～500KeV，注入剂量为  $10^{14}/\text{cm}^2 \sim 10^{16}/\text{cm}^2$ 。

[0045] 然而应当认识到，仅在形成缓冲层 410 后执行一次离子注入工艺，同样能达到使硅衬底 400 和缓冲层 410 均掺入 n 型离子以导电的目的。或者，直接提供 n 型掺杂的硅衬底，也能达到同样的导电目的。并且，所述第一次离子注入工艺和第二次离子注入工艺的注入离子、注入能量和注入剂量也可根据具体的导电要求来做相应的调整。

[0046] 需要说明的是，上述实施例以蓝色发光二极管为例，但是本发明并不限制于此，上述实施例还可以是红色发光二极管、黄色发光二极管，本领域技术人员可以根据上述实施例，对本发明进行修改、替换和变形。

[0047] 显然，本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样，倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内，则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

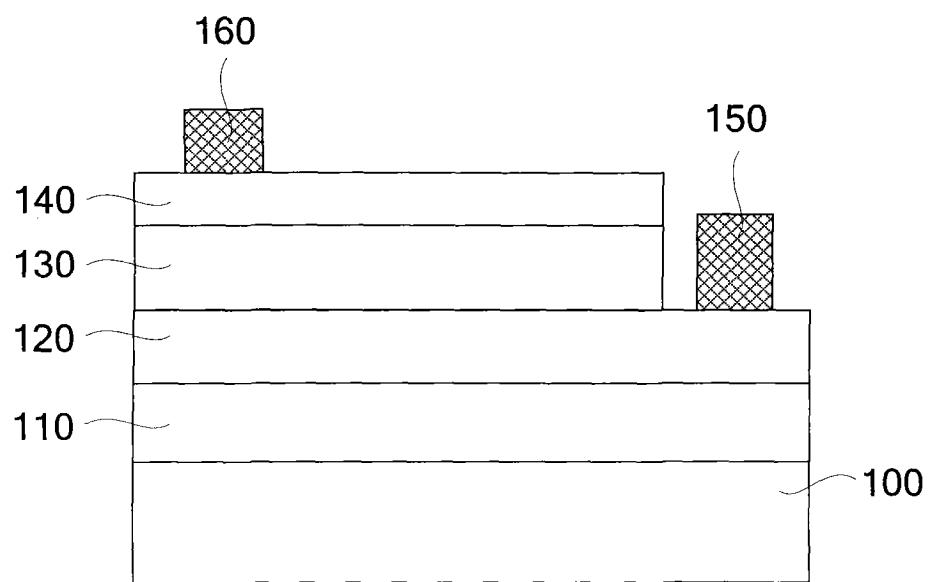


图 1

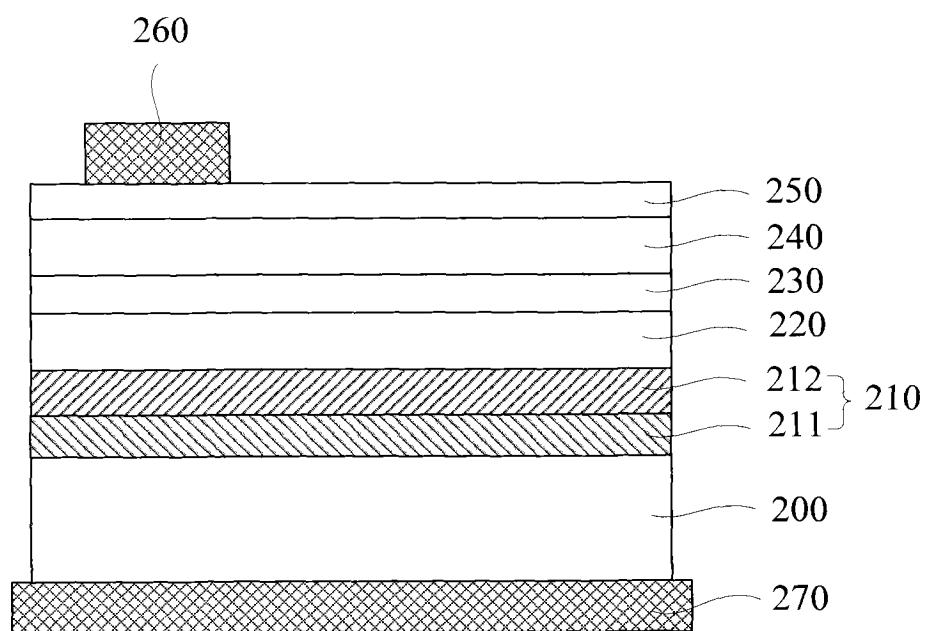


图 2

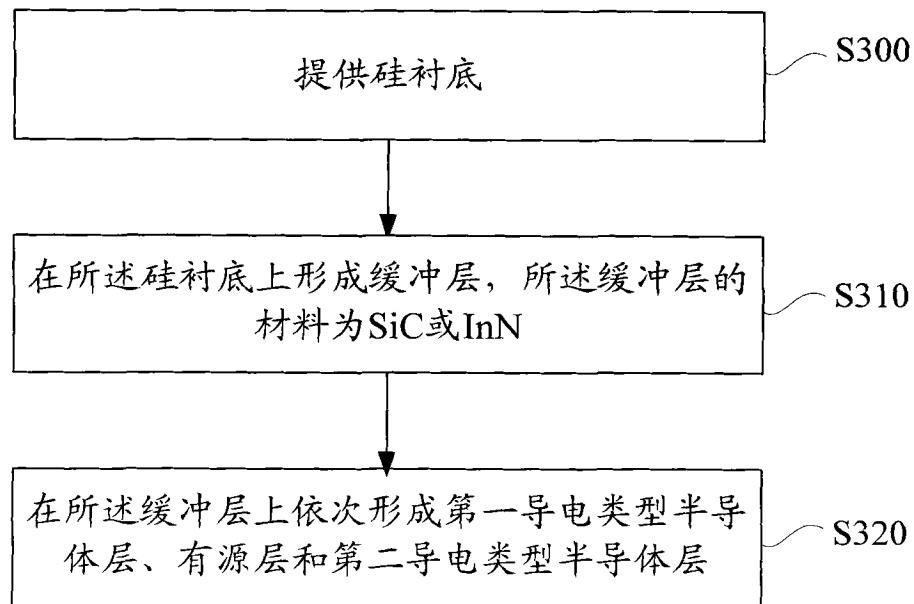


图 3



图 4A

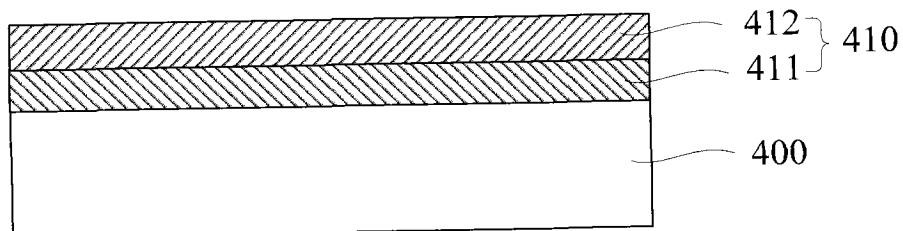


图 4B

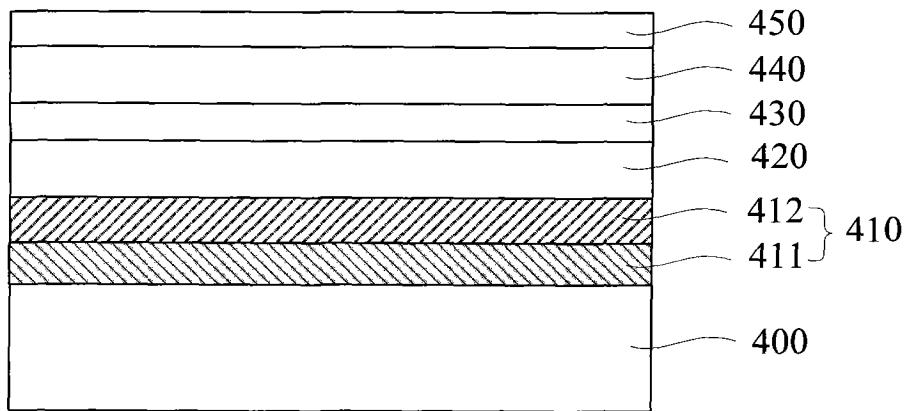


图 4C

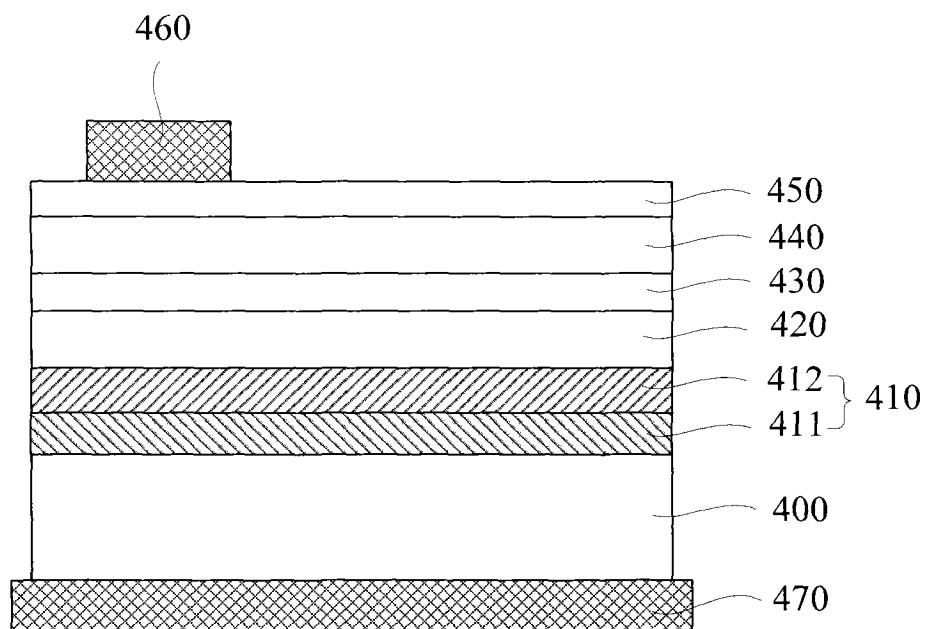


图 4D