



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113169207 A

(43) 申请公布日 2021.07.23

(21) 申请号 201980077076.5

(22) 申请日 2019.11.20

(30) 优先权数据

1871719 2018.11.22 FR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2021.05.21

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2019/081872 2019.11.20

(87) PCT国际申请的公布数据

W02020/104495 FR 2020.05.28

(71) 申请人 艾利迪公司

地址 法国埃奇罗尔斯

(72) 发明人 伊万·克里斯托夫·罗班

格扎维埃·于贡 菲利普·吉莱

蒂费纳·杜邦

(74) 专利代理机构 成都超凡明远知识产权代理有限公司 51258

代理人 王晖 曹桓

(51) Int.Cl.

H01L 27/15 (2006.01)

H01L 33/08 (2006.01)

H01L 33/10 (2006.01)

H01L 33/38 (2006.01)

H01L 33/40 (2006.01)

H01L 33/14 (2006.01)

H01L 33/02 (2006.01)

H01L 33/50 (2006.01)

H01L 33/00 (2006.01)

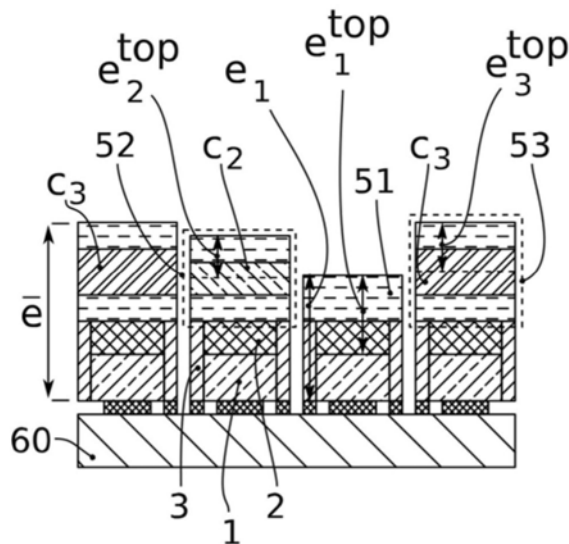
权利要求书3页 说明书17页 附图7页

(54) 发明名称

发光二极管及用于制造发光二极管的方法

(57) 摘要

本发明的一个主题是一种发光二极管(100),该发光二极管包括例如p型的第一区域(1)并且包括例如n型的第三区域(3),第一区域形成在第一层(10)中,并且第一区域与形成在第二层(20)中的包括至少一个量子阱的第二区域(2)形成沿法向于基面的方向叠置的叠置件,第三区域沿法向于基面的方向、与第一区域(1)和第二区域(2)并置并接触地延伸穿过第一层(10)和第二层(20)。本发明的另一主题是一种用于制造发光二极管(100)的方法,其中,第三区域(3)是通过植入并穿过第一层(10)和第二层(20)而形成的。



1. 一种发光二极管(100),所述发光二极管(100)配置成发射波长为 $\lambda_i$  ( $i=1\cdots 3$ )的光通量,所述发光二极管(100)包括第一区域(1)、第二区域(2)和第三区域(3),所述第一区域(1)具有P型导电性或N型导电性中的一者并形成在沿基面延伸的第一层(10)中,所述第二区域(2)形成在第二层(20)中,所述第二区域(2)与所述第一区域(1)形成沿法向于所述基面的也被称为纵向方向的方向叠置的叠置件,并且所述第二区域(2)包括平行于所述基面延伸的至少一个量子阱,所述第三区域(3)具有P型导电性或N型导电性中的另一者,其特征在于,所述第三区域(3)在所述纵向方向上延伸,从而穿过所述第一层(10)和所述第二层(20)与所述第一区域(1)和所述第二区域(2)邻接并接触。

2. 根据前一项权利要求所述的发光二极管,所述发光二极管具有包括所述第一区域(1)和所述第二区域(2)的台面结构,并且其中,所述第三区域形成所述台面结构的边缘,所述边缘具有基本上法向于所述基面的自由表面。

3. 根据前述权利要求中的任一项所述的发光二极管,其中,所述叠置件形成所述纵向方向上的用于波长为 $\lambda_i = \lambda_1$ 的光通量的谐振腔,所述腔在所述纵向方向上具有高度 $e_1$ ,使得:

$$e_1 = M_1 \frac{\lambda_1}{2n_{eff,1}}$$

其中, $M_1$ 是整数, $\lambda_1$ 是波长,并且 $n_{eff,1}$ 是第一有效折射率。

4. 根据前一项权利要求所述的发光二极管,其中,所述至少一个量子阱定位在所述纵向方向上的距所述谐振腔的与所述第一区域(1)相对的端部的高度 $e_1^{top}$ 处,使得:

$$e_1^{top} = (2M'_1 + 1) \frac{\lambda_1}{4n_{eff,1}}$$

其中, $M'_1$ 是不同于 $M_1$ 或等于 $M_1$ 的整数。

5. 根据前述权利要求中的任一项所述的发光二极管,还包括波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ),所述波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ )沿着所述二极管的纵向轴线设置,并且所述波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ )配置成通过所发射的波长为 $\lambda_i = \lambda_1$ 的光通量而产生波长为 $\lambda_j = \lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ )的光通量。

6. 根据前一项权利要求所述的发光二极管,其中,所述叠置件包括所述波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ )并且形成所述纵向方向上的用于波长为 $\lambda_1$ 的光通量和用于波长为 $\lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ )的光通量的谐振腔,所述腔在所述纵向方向上具有高度 $\bar{e}$ ,使得:

$$\bar{e} = M_1 \frac{\lambda_1}{2n_{eff1}} = M_j \frac{\lambda_j}{2n_{effj}}$$

其中, $M_1$ 、 $M_j$ 是整数,并且其中, $M_j$ 不同于 $M_1$ 或等于 $M_1$ ,并且 $\lambda_1$ 和 $\lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ )分别是所谓的发射波长和转换波长,并且 $n_{eff1}$ 、 $n_{effj}$ 分别是第一有效折射率和第j有效折射率。

7. 根据前一项权利要求所述的发光二极管,其中,所述波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ )的中心定位在所述纵向方向上的距所述谐振腔的顶端部的高度 $e_j^{top}$  ( $j=2\cdots 3$ )处,使得:

$$e_j^{top} = (2M_j' + 1) \frac{\lambda_j}{4n_{eff,j}}$$

其中,  $M_j'$  是整数,  $\lambda_j$  是波长, 并且  $n_{eff,j}$  是第  $j$  有效折射率。

8. 根据权利要求5所述的发光二极管, 其中, 所述波长转换器  $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 包括谐振转换腔。

9. 根据前一项权利要求所述的发光二极管, 其中, 所述谐振转换腔在所述纵向方向上具有高度  $e_j$  ( $j=2\cdots 3$ ), 使得:

$$e_j = M_j \frac{\lambda_j}{2n_{eff,j}}$$

其中,  $M_j$  是整数,  $\lambda_j$  是波长, 并且  $n_{eff,j}$  是第  $j$  有效折射率。

10. 根据前两项权利要求中的任一项所述的发光二极管, 其中, 所述谐振转换腔至少部分地由布拉格反射器定边界, 所述布拉格反射器平行于所述基面延伸并且配置成对于波长为  $\lambda_i = \lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 的光通量是至少部分地反射的并且对于波长为  $\lambda_i = \lambda_1$  的光通量是透射的。

11. 根据权利要求5至10中的一项所述的发光二极管, 其中, 所述波长转换器  $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 包括量子点或二维量子阱中的至少一者。

12. 根据前述权利要求中的任一项所述的发光二极管, 还包括形成在所述第一区域上的第一金属接触部 (11) 和形成在所述第三区域上的第二金属接触部 (12), 并且其中, 所述第一接触部 (11) 和所述第二接触部 (12) 承载在所述二极管的同一面部上。

13. 一种光电系统, 所述光电系统包括多个根据前述权利要求中的任一项所述的发光二极管 (100a、100b), 所述多个二极管 (100a、100b) 中的二极管在所述二极管的相应的第三区域 (3a、3b) 处在基面中彼此并置。

14. 根据前一项权利要求所述的系统, 还包括二极管控制电子器件 (60), 所述二极管控制电子器件 (60) 接触在所述多个二极管的下述面部处: 所述面部承载分别形成在所述多个二极管中的每个二极管的第一区域和第三区域上的多个第一接触部 (11、11a、11b) 和多个第二接触部 (12、12a、12b)。

15. 根据前两项权利要求中的任一项所述的系统, 还包括多个波长转换器  $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ), 所述多个波长转换器  $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 配置成通过所发射的波长为  $\lambda_i = \lambda_1$  的光通量而产生波长为  $\lambda_i = \lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 的光通量, 所述多个转换器中的每个转换器各自与所述多个二极管中的一个二极管相关联, 以形成彩色像素。

16. 一种用于制造至少一个发光二极管的方法, 所述发光二极管配置成发射波长为  $\lambda_i$  ( $i=1\cdots 3$ ) 的光通量, 所述方法包括以下步骤:

- 在被称为纵向方向的一个方向上形成叠置件, 所述叠置件包括:
  - GaN缓冲层 (40), 所述GaN缓冲层 (40) 沉积在沿法向于所述纵向方向的基面延伸的第一基板 (50) 上,
  - 掺杂N的GaN层 (30), 所述掺杂N的GaN层 (30) 沉积在第一缓冲层上,
  - 无意掺杂的量子阱层 (20), 所述量子阱层 (20) 包括平行于所述基面延伸的至少一个

基于InGaN的量子阱，

o 掺杂P的GaN层(10)，所述掺杂P的GaN层(10)沉积在所述量子阱层上，

• 在所述掺杂P的GaN层的暴露的面部上以光刻的方式限定至少一个图案，所述图案包括中央区域和围绕该中央区域的边界，

• 在每个边界处从所述暴露的面部将硅植入大于或等于所述掺杂P的GaN层的厚度和所述量子阱层的厚度的总和的深度，从而在每个中央区域中界定所述掺杂P的GaN层中的第一P型区域和所述量子阱层中的第二区域，并且从而在所植入的材料中形成第三N型区域，

• 在所述暴露的面部处，将第一金属接触部(11)沉积在所述第一区域(1)上并将第二金属接触部(12)沉积在所述第三区域(3)上，以形成配置成发射波长为 $\lambda_1 = \lambda_1$ 的光通量的至少一个发光二极管。

## 发光二极管及用于制造发光二极管的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光电领域。本发明在发光二极管(LED)的领域中具有至少一个特别有利的应用。一个有利但非限制性的应用涉及基于LED的显示屏的制造。

### 背景技术

[0002] 显示屏通常包括彼此独立发射的多个像素。

[0003] 在这些像素包括它们自己的光源的情况下,这些像素可以作为自照明像素或发光像素。

[0004] 与LCD(液晶显示)屏幕不同,具有这种自照明像素的显示屏不需要背光系统。

[0005] 自照明像素可以由LED基底、例如有机LED或OLED(有机发光二极管)、或具有无机材料基底的固态LED形成。

[0006] LED通常包括具有P型导电性的区域和具有N型导电性的区域,从而在具有P型导电性的区域与具有N型导电性的区域之间形成P-N结。通过使LED偏振,来自N型区域的电子可以与来自P型区域的空穴复合。如果载流子(电子、空穴)的这种复合伴随着光子的发射,则载流子(电子、空穴)的这种复合被认为是辐射性的。

[0007] 固态LED还可以包括量子阱区域。这些量子阱配置成在空间上限制载流子复合并且优化光子发射。

[0008] 固态LED具有比OLED高的发光度的特定优势。固态LED还具有比OLED长的寿命。

[0009] 制造包括具有固态LED基底的自照明像素的显示屏的一个挑战在于减小每个像素的尺寸以及像素之间的间距,以便降低成本并提高屏幕分辨率。

[0010] 这种固态LED有时被称为微型LED或 $\mu$ LED。

[0011] 美国专利No.2015/0380459A1公开了一种用于制造具有台面结构的 $\mu$ LED的系统和方法。

[0012] 这种台面结构通常需要分别在N型区域和P型区域上形成电接触部。

[0013] 这些 $\mu$ LED的一个缺点在于,随着 $\mu$ LED的尺寸减小, $\mu$ LED的辐射性复合率以及因此 $\mu$ LED的外量子效率急剧下降。

[0014] 图1例如示出了根据现有技术的 $\mu$ LED的最大外量子效率(最大EQE)与 $\mu$ LED的尺寸的函数关系。对于尺寸小于 $50\mu\text{m}$ 的 $\mu$ LED,该效率急剧下降。

[0015] 由文献“Mesa-Free III-V Nitride Light-Emitting Diodes with Flat Surface(具有平坦表面的无台面III-V氮化物发光二极管),David S.Meyaard等人,ECS Solid State Letters,3(4)Q17-Q19(2014)”所公开的另一种解决方案包括:保持用于在 $\mu$ LED上形成接触部的平坦表面,以降低这些 $\mu$ LED的制造成本。

[0016] 该解决方案的一个缺点在于,当LED之间的间距减小时,在相邻的LED之间会发生相互光耦合。

[0017] 该解决方案的另一缺点在于,来自N型区域的电子不能完全限制至量子阱。因此,量子阱中的载流子复合不是最佳的。

- [0018] 本发明的一个目的是至少部分地克服上述缺点中的一些缺点。
- [0019] 根据一个具体方面,本发明的一个目的是提出一种具有提高的效率的发光二极管。
- [0020] 根据另一方面,本发明的一个目的是提出一种光电系统,该光电系统包括具有提高的效率和/或防止相互光耦合发生的多个发光二极管。
- [0021] 根据可单独的方面,本发明的一个目的是提出一种用于制造具有提高的效率的发光二极管的方法。
- [0022] 通过阅读以下描述和附图,本发明的其他目的、特征和优点将变得明显。应当理解的是,可以结合其他优点。

## 发明内容

- [0023] 为了实现该目的,本发明的第一方面涉及一种配置成发射波长为 $\lambda_i$  ( $i=1\cdots 3$ )的光通量的发光二极管,该发光二极管包括第一区域、第二区域和第三区域,第一区域具有P型导电性或N型导电性中的一者并形成在沿基面延伸的第一层中,第二区域形成在第二层中,所述第二区域与第一区域形成沿法向于基面的也被称为纵向方向的方向叠置的叠置件,并且第二区域包括平行于所述基面延伸的至少一个量子阱,第三区域具有P型导电性或N型导电性中的另一者。
- [0024] 有利地但非限制性地,第三区域在纵向方向上延伸,从而穿过第一层和第二层与第一区域和第二区域邻接并接触。
- [0025] 这种布置结构允许横向地形成P-N结。
- [0026] 该横向P-N结生成在该结的任一侧横向地延展的空间电荷区域(SCR)。SCR将部分载流子朝向LED的中央区域推动。
- [0027] 因此,这种布置方案有利地促进在LED的中央区域中的载流子复合,并且减少或防止在LED的边界处的载流子复合。
- [0028] LED的中央区域中的载流子复合本质上是辐射性的,而在LED的边界处的载流子复合会是非辐射性的。特别地,在存在结构缺陷的情况下,会发生肖克利-雷德霍尔(SRH)类型的非辐射性复合。这种缺陷通常在LED的边界处比在LED的中央区域中更多。
- [0029] 因此,根据本发明的横向P-N结有利地允许LED的边界被钝化。
- [0030] 因此,辐射性复合率得到优化。LED的效率得以提高。
- [0031] 对于高掺杂剂浓度,例如对于大于或等于 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的掺杂剂浓度,SCR的宽度减小并且该第三区域可以允许载流子横向注入。
- [0032] 在这种情况下,在第一区域和第二区域的边界处不存在横向隔离区。在第二区域下面的层对LED的电气操作没有贡献。这改善了LED的紧凑性。
- [0033] 不会从这些下面的层发生载流子注入。载流子注入直接从第三区域通过第一层进行。载流子注入得到优化。对于小于载流子的平均自由程(free path)的两倍的LED尺寸而言,载流子注入会是特别高效的。
- [0034] 为了通过比如由前述文献“Mesa-Free III-V Nitride Light-Emitting Diodes with Flat Surface (具有平坦表面的无台面III-V氮化物发光二极管), David S. Meyaard 等人, ECS Solid State Letters, 3(4) Q17-Q19 (2014)”所教示的解决方案来提高LED的效

率,最佳程度地鼓励本领域技术人员添加EBL(电子阻挡层)。更具体地,这种层通常用于在空间上调节载流子在纵向方向上的注入,使得这些载流子的复合主要发生在量子阱中。

[0035] 图2A至图2C和图3A至图3C分别示出了根据本发明的具有EBL和不具有EBL(图2A和3A)的LED的模拟结果。

[0036] 显然,EBL的存在不利于根据本发明的LED的WPE(光电转换效率(Wall Plug Efficiency))(图2B和图3B),并且对于较小的LED尺寸(图2C和3C)而言甚至更是如此。这些图2A至图2C和图3A至图3C的详细描述在下文中给出。

[0037] 由前述文献公开的解决方案最佳程度地使本领域技术人员制造具有EBL的LED,该具有EBL的LED的效率非常显著地降低。该公开内容偏离本发明。

[0038] 相反地,根据本发明,载流子注入通过SCR围绕LED的第一区域与第三区域之间的P-N结的横向延展而在空间上被调节。

[0039] 根据一个优选实施方式,LED具有包括第一区域和第二区域并且在纵向方向上定向的台面结构。因此,第三区域形成该台面结构的边缘。

[0040] 当多个LED彼此相邻布置时,LED的台面结构防止或限制了相互光耦合的发生。特别地,在台面的内部与台面的外部之间出现折射率对比,并且该对比允许光子被限制在台面内,从而防止相邻的LED之间的光模的耦合。

[0041] 通过纵向地形成第三区域而对台面的边缘的钝化还防止了台面边缘处的非辐射性复合。与非辐射性复合率相比,这增加了辐射性复合率。因此,根据本发明的带台面结构的LED的效率得以提高。

[0042] 本发明的第二方面涉及一种光电子系统,该光电系统包括多个根据本发明的第一方面的LED,所述多个LED在其相应的第三区域处在基面中彼此并置。LED优选地承载在相同的基面上并且彼此相邻地定位。

[0043] 有利地,该系统使得能够形成LED阵列,LED阵列的效率得以提高。

[0044] 根据一个优选实施方式,该系统有利地允许形成具有台面结构的彼此电和光隔离的LED的阵列。

[0045] 因此,该系统的带台面结构的LED的效率得以提高。LED的尺寸可以减小。此外,这些带台面结构的LED防止发生相互光耦合。因此,这些LED之间的间距可以有利地减小。

[0046] 根据本发明的LED系统可以有利地配备显示屏。

[0047] 本发明的一个可单独的方面涉及一种用于制造至少一个发光二极管(LED)的方法,该发光二极管配置成发射波长为 $\lambda_i$  ( $i=1\cdots 3$ )的光通量。

[0048] 该制造方法至少包括以下步骤:

[0049] • 在被称为纵向方向的一个方向上形成叠置件,该叠置件包括:

[0050] ◦ GaN缓冲层,该GaN缓冲层沉积在沿法向于纵向方向的基面延伸的第一基板上,

[0051] ◦ 掺杂N的GaN层,该掺杂N的GaN层沉积在第一缓冲层上,

[0052] ◦ 无意掺杂的量子阱层,该量子阱层包括平行于基面延伸的至少一个基于InGaN的量子阱,

[0053] ◦ 掺杂P的GaN层,该掺杂P的GaN层沉积在量子阱层上,

[0054] • 在掺杂P的GaN层的暴露的面部上以光刻的方式限定至少一个图案,该图案包括中央区域和围绕该中央区域的边界,

[0055] • 在每个边界处从暴露的面部将硅植入大于或等于掺杂P的GaN层的厚度和量子阱层的厚度的总和的深度,从而在每个中央区域中界定掺杂P的GaN层中的第一P型区域和量子阱层中的第二区域,并且从而在植入的材料中形成第三N型区域,

[0056] • 在暴露的面部处,将第一金属接触部沉积在第一区域上并将第二金属接触部沉积在第三区域上,以形成配置成发射波长为 $\lambda_1 = \lambda_1$ 的光通量的至少一个发光二极管。

[0057] 硅在掺杂P的GaN层中的离子植入有利地反转了P型掺杂以在所述层中形成第三N型区域。

[0058] 根据一个有利实施方式,该制造方法还可以包括以下步骤:

[0059] 当形成掺杂N的GaN层时,在所述掺杂N的GaN层内形成基于AlN的蚀刻停止层,该蚀刻停止层旨在精确地停止对所形成的叠置件的蚀刻,

[0060] 在植入之前,从掺杂P的GaN层的暴露的面部在每个边界的周缘处蚀刻沟槽、至少到达量子阱层、优选地至少到达掺杂N的GaN层、并且优选地至少到达蚀刻停止层与掺杂N的GaN层之间的第一界面,

[0061] 在蚀刻之后,沉积第一金属接触部和第二金属接触部,

[0062] 转移形成在包括CMOS型控制电子器件的第二基板上的至少一个二极管,承载第一金属接触部和第二金属接触部的面部面向控制电子器件,

[0063] 移除第一基板,

[0064] 蚀刻GaN缓冲层以及掺杂N的GaN层的至少一部分、优选地到达蚀刻停止层与掺杂N的GaN层之间的第一界面,以形成用于波长为 $\lambda_1 = \lambda_1$ 的光通量的谐振腔,所述谐振腔在纵向方向上具有高度 $e_1$ ,使得:

$$[0065] \quad e_1 = M_1 \frac{\lambda_1}{2n_{eff,1}},$$

[0066] 其中, $M_1$ 是整数, $\lambda_1$ 是发射波长,并且 $n_{eff,1}$ 是第一有效折射率,

[0067] 可选地,在第三基板上形成至少一个波长转换器 $c_j$  ( $j=2 \cdots 3$ ),所述至少一个波长转换器 $c_j$  ( $j=2 \cdots 3$ )配置成从波长为 $\lambda_1 = \lambda_1$ 的光通量产生至少一个波长为 $\lambda_j = \lambda_j$  ( $j=2 \cdots 3$ )的光通量,所述至少一个转换器 $c_j$  ( $j=2 \cdots 3$ )采用在纵向方向上具有高度 $e_j$  ( $j=2 \cdots 3$ )的谐振转换腔的形式,使得:

$$[0068] \quad e_j = M_j \frac{\lambda_j}{2n_{eff,j}},$$

[0069] 其中, $M_j$ 是整数, $\lambda_j$ 是转换波长,并且 $n_{eff,j}$ 是第j有效折射率,

[0070] 可选地,将承载所述至少一个转换器 $c_j$  ( $j=2 \cdots 3$ )的第三基板转移成与所述至少一个谐振腔发光二极管相对,并且将所述至少一个转换器与所述至少一个二极管沿着共同的纵向轴线对准,

[0071] 可选地,将第三基板和所述至少一个二极管固定以形成包括至少一个彩色像素的屏幕。

[0072] 根据本发明的该方面的方法提供了:去除缓冲层、以及掺杂N的GaN层的至少一部分。更具体地,缓冲层具有不利于LED的效率的结构缺陷。掺杂N的GaN层通常通过在缓冲层上外延生长而形成,并且还具有某些残留的结构缺陷。因此,将掺杂N的GaN层移除是有利



的。这还减小了叠置件的总厚度。这种厚度的减小有利地能够与单模LED或具有小数目光模的LED的制造相兼容。

[0073] 因此,根据本发明的方法可以消除作为非辐射性复合的来源的这些缺陷。

[0074] 根据本发明的方法还可以省去用于形成电子阻挡层(EBL)的步骤。通过根据本发明的方法制造的每个LED优选地配置成横向地注入电子。因此,EBL变得不必要。如上文中参照图2A至图2C和图3A至图3C所说明的,EBL还将不利于通过根据本发明的方法制造的LED的效率。

[0075] 因此,根据本发明的方法比用于制造具有EBL的LED的方法更简单,并且允许制造更高效的LED。本发明的方法还允许在较宽的高度范围内更精确地调节所形成的叠置件的高度。

### 附图说明

[0076] 通过阅读本发明的实施方式的详细描述,将更好地理解本发明的目标、目的、特征和优点,这些实施方式借助于以下附图示出,在附图中:

[0077] 图1示出了根据文献“Society for Information Display,国际研讨会,Book 1, Session 25-4:Investigation and Improvement of 10 $\mu$ m Pixel-pitch GaN-based Micro-LED Arrays with Very High Brightness (对具有非常高亮度的基于10 $\mu$ m像素-间距GaN的Micro-LED阵列的研究和改进),F.livier等人(2017年)”测量LED的效率与LED的尺寸的函数关系的测量结果;

[0078] 图2A是根据本发明的一个实施方式的已经添加有EBL的LED的截面建模;

[0079] 图2B和图2C示出了根据本发明的一个实施方式的分别针对宽度为5 $\mu$ m和1 $\mu$ m的LED的已经添加有EBL的LED的建模结果;

[0080] 图3A是根据本发明的一个实施方式的不具有任何EBL的LED的截面建模;

[0081] 图3B和图3C示出了根据本发明的一个实施方式的分别针对宽度为5 $\mu$ m和1 $\mu$ m的LED的不具有任何EBL的LED的建模结果;

[0082] 图4A、图5A和图6A示出了制造根据本发明的第一实施方式的LED系统的步骤;

[0083] 图4B、图5B和图6B示出了制造根据本发明的第二实施方式的LED系统的步骤;

[0084] 图7A和图8A示出了根据本发明的一个实施方式的用于制造LED的方法的转移步骤和减薄步骤;

[0085] 图7B和图8B示出了根据本发明的另一实施方式的用于制造LED的方法的转移步骤和减薄步骤;

[0086] 图9A、图9B和图9C示出了根据本发明的不同实施方式的具有转换器的LED系统;

[0087] 图10和图11示出了根据本发明的一个实施方式的使用LED系统的显示屏的制造。

[0088] 附图是作为示例提供的,并且不旨在限制本发明的范围。附图构成旨在简化对本发明的理解的示意图,并且不一定按实际应用的比例绘制。特别地,所示出的LED的不同层和区域的厚度和尺寸不代表实际情况。

### 具体实施方式

[0089] 在给出本发明的实施方式的详细描述之前,应当注意的是,根据本发明的第一方

面,本发明特别地包括下文给出的可选特征,这些可选特征可以彼此组合或替代性地使用:

[0090] 发光二极管具有台面结构。

[0091] 第三区域形成台面结构的边缘。

[0092] 该布置结构使得可以将载流子复合限制至台面的内部,并且减少或者甚至防止载流子复合在周缘处发生,在周缘处发生的载流子复合大多数是非辐射性的。特别地,非辐射性的肖克利-里德-霍尔(Shockley-Read-Hall)类型的周缘复合被显著地限制。

[0093] 台面结构的边缘具有基本上法向于基面的自由表面。

[0094] 因此,自由表面可以暴露于空气,从而增加台面的内部与台面的外部之间的折射率对比。

[0095] 第一区域具有P型导电性,并且第三区域具有N型导电性。

[0096] 第三区域具有大于或等于 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的掺杂剂浓度。

[0097] 由于电子的迁移率大于空穴的迁移率,因此电子从二极管的边缘朝向二极管的中央被横向地注入。因此,至少一个量子阱中的载流子复合得到优化。载流子的这种横向注入还克服了对电子阻挡层(EBL)的需要。

[0098] 第三区域具有基本上等于第一层的厚度的高度。

[0099] 第三区域具有基本上等于第一层的厚度和第二层的厚度的总和的高度。

[0100] 叠置件形成纵向方向上的用于波长为 $\lambda_1 = \lambda_1$ 的光通量的谐振腔。

[0101] 谐振腔在纵向方向上具有高度 $e_1$ ,使得:

$$[0102] \quad e_1 = M_1 \frac{\lambda_1}{2n_{eff,1}}$$

[0103] 其中, $M_1$ 是整数, $\lambda_1$ 是发射波长,并且 $n_{eff,1}$ 是第一有效折射率。

[0104] 谐振腔改善了二极管在纵向方向上的方向性。因此,波长为 $\lambda_1$ 的光通量的提取效率可以得到提高。

[0105] 所述至少一个量子阱定位在纵向方向上的距谐振腔的与第一区域相反的端部的高度 $e_1^{top}$ ,使得:

$$[0106] \quad e_1^{top} = (2M'_1 + 1) \frac{\lambda_1}{4n_{eff,1}}$$

[0107] 其中, $M'_1$ 是不同于 $M_1$ 或等于 $M_1$ 的整数。

[0108] 引起光通量从二极管的自发发射的辐射性复合主要发生在所述至少一个量子阱的水平面(level)处。所述至少一个量子阱的这种定位对应于腔的光学谐振模的波腹。因此,谐振是对于波长为 $\lambda_1$ 的光通量而优化的。二极管在纵向方向上的方向性可以被最大化。波长为 $\lambda_1$ 的光通量的提取效率可以得到最大化。

[0109] 发光二极管还包括波长转换器 $c_j$  ( $j=2 \cdots 3$ ),该波长转换器 $c_j$  ( $j=2 \cdots 3$ )沿着二极管的纵向轴线设置并且构造成通过波长为 $\lambda_1 = \lambda_1$ 的已发射的光通量而产生波长为 $\lambda_1 = \lambda_j$  ( $j=2 \cdots 3$ )的光通量。

[0110] 特别地,这种转换器允许形成从蓝色光通量的自发发射而发射红色或绿色光通量的二极管。这种二极管可以形成单位像素的子像素。

[0111] 根据本发明的LED配置成产生波长为 $\lambda_1$ 的出射的光通量。

[0112] 根据不具有任何转换器的LED的一个实施方式,该出射的光通量具有波长 $\lambda_1 = \lambda_1$ 。波长为 $\lambda_1$ 的光通量可以被认为是基础光通量。

[0113] 根据具有转换器的LED的一个实施方式,该出射的光通量具有与基础光通量的波长 $\lambda_1$ 不同的波长 $\lambda_j = \lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ )。

[0114] 叠置件包括波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ),并且形成纵向方向上的用于波长为 $\lambda_1$ 的光通量和波长为 $\lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ )的光通量的谐振腔。

[0115] 因此,转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ )耦合至相同的腔内的波长为 $\lambda_1$ 的光通量源。因此,波长为 $\lambda_1$ 和 $\lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ )的光通量的提取效率可以得到提高。因此,将该转换器集成到二极管中得到改善。因此,可以简化将这种二极管集成到光电系统中。

[0116] 由包括转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ )的叠置件形成的腔在纵向方向上具有高度 $\bar{e}$ ,使得:

$$[0117] \quad \bar{e} = M_1 \frac{\lambda_1}{2n_{eff1}} = M_j \frac{\lambda_j}{2n_{effj}}$$

[0118] 其中, $M_1$ 、 $M_j$ 是整数,并且其中, $M_j$ 不同于或等于 $M_1$ , $\lambda_1$ 和 $\lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ )分别是发射波长和转换波长,并且 $n_{eff1}$ 、 $n_{effj}$ 分别是第一有效折射率和第j有效折射率。

[0119] 这种腔有利地允许针对两个发射波长和转换波长中的每一者、可选地针对不同的光学谐振模而获得谐振。

[0120] 因此,波长为 $\lambda_1$ 和 $\lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ )的光通量的方向性和提取效率得到改善。

[0121] 波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ )的中心定位在纵向方向上的距谐振腔的顶端部的高度 $e_j^{top}$  ( $j=2\cdots 3$ )处,使得:

$$[0122] \quad e_j^{top} = (2M_j' + 1) \frac{\lambda_j}{4n_{eff,j}}$$

[0123] 其中, $M_j'$ 是整数, $\lambda_j$ 是转换波长,并且 $n_{eff,j}$ 是第j有效折射率。

[0124] 因此,转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ )定位在腔的谐振模的波腹处。因此,谐振是对于波长为 $\lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ )的光通量而优化的。二极管在纵向方向上的方向性可以最大化。波长为 $\lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ )的光通量的提取效率可以最大化。

[0125] 波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ )包括谐振转换腔。

[0126] 因此,转换器包括其自身的谐振腔,该谐振腔被称为谐振转换腔并且独立于波长为 $\lambda_1$ 的光通量源进行谐振。因此,这种腔的尺寸可以针对来自转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ )的波长为 $\lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ )的光通量来特定地设定。因此,与转换器以及光源在相同的腔内的耦合相比,这种腔在改善波长为 $\lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ )的光通量的方向性和提取效率方面会是更加高效的。

[0127] 谐振转换腔在纵向方向上具有高度 $e_j$  ( $j=2\cdots 3$ ),使得:

$$[0128] \quad e_j = M_j \frac{\lambda_j}{2n_{eff,j}}$$

[0129] 其中, $M_j$ 是整数, $\lambda_j$ 是转换波长,并且 $n_{eff,j}$ 是第j有效折射率。

[0130] 谐振转换腔至少部分地由布拉格(Bragg)反射器界定,该布拉格反射器平行于基面延伸并且配置成对波长为 $\lambda_1 = \lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ )的光通量至少部分反射并且对于波长为 $\lambda_1 = \lambda_1$ 的光通量是透射的。

- [0131] 布拉格反射器使谐振转换腔的品质提高。
- [0132] 波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 包括量子点。
- [0133] 波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 包括二维量子阱。
- [0134] 波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 与二极管的谐振腔断开耦合。
- [0135] 发光二极管还包括形成在第一区域上的第一金属接触部和形成在第三区域上的第二金属接触部。
- [0136] 第一接触部和第二接触部承载在二极管的相同面部上。
- [0137] 这简化了对接触部的触及。二极管的集成可以得到改进。
- [0138] 根据本发明的第二方面, 本发明特别地包括以下可选特征, 这些可选特征可以彼此组合或彼此替代性地使用:
- [0139] 该系统还包括二极管控制电子器件, 该二极管控制电子器件接触在多个二极管的所述面部处: 该面部承载分别形成在所述多个二极管的每个二极管的第一区域和第三区域上的多个第一接触部和多个第二接触部。
- [0140] 该系统还包括多个波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ), 所述多个波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 配置成通过所发射的波长为 $\lambda_i = \lambda_1$ 的光通量而产生波长为 $\lambda_i = \lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ )的光通量, 所述多个转换器中的每个转换器各自与所述多个二极管中的一个二极管相关联以形成彩色像素。
- [0141] 该系统使得可以形成包括例如红色像素、绿色像素和蓝色像素的屏幕。
- [0142] 根据本发明的第三方面, 本发明特别地包括以下可选特征, 这些可选特征可以彼此组合或彼此替代性地使用:
- [0143] 边界处的硅植入配置成形成具有大于或等于 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的掺杂剂浓度的一个或更多个第三N型区域。
- [0144] 所述至少一个转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 通过光刻的方式由包括量子点的光致抗蚀剂形成。
- [0145] 图像中的像素对应于由显示屏显示的图像的单位元素。为了形成彩色图像, 每个彩色像素通常包括至少三个发光部件和/或光转换部件, 该发光部件和/或光转换部件也被称为子像素。
- [0146] 在下面的描述中, 这些子像素中的每个子像素基本上以一种颜色(例如, 红色、绿色和蓝色)发射光通量。如由观察者感知到的像素的颜色来自由子像素发射的不同光通量的叠加。
- [0147] 通常, LED或 $\mu$ LED发射与子像素相关联的光通量。在本申请中, LED尺寸应理解为意指LED在基面上延伸的主要尺寸。因此, 子像素的尺寸与LED的尺寸直接相关。
- [0148] 除非明确地说明, 否则应阐明的是, 在本发明的上下文中, 夹置在第一层与第二层之间的第三层的相对布置并不一定意指这些层彼此直接接触, 而是意指第三层与第一层和第二层直接接触, 或者第三层通过至少一个其他层或至少一个其他元件与第一层和第二层分开。
- [0149] 用于形成不同区域的步骤应当从广义上理解: 这些步骤可以在不一定严格连续的多个子步骤中进行。
- [0150] 在本发明中, 指出了掺杂类型。这些掺杂类型是非限制性的示例。本发明涵盖其中掺杂被颠倒的所有实施方式。因此, 如果一个示例实施方式提到用于第一区域的P掺杂和用

于第三区域的N掺杂,那么本描述至少隐含地描述了其中第一区域具有N掺杂并且第三区域具有P掺杂的相反示例。

[0151] 指示为P的掺杂包括正电荷载流子的所有掺杂,而与掺杂剂浓度无关。因此,P掺杂可以理解为P、P<sup>+</sup>或P<sup>++</sup>掺杂。类似地,指示为N的掺杂包括负电荷载流子的所有掺杂,而与掺杂剂浓度无关。因此,N掺杂可以理解为N、N<sup>+</sup>或N<sup>++</sup>掺杂。

[0152] 以下掺杂剂浓度范围与这些不同的掺杂相关联:

[0153] P<sup>++</sup>或N<sup>++</sup>掺杂:大于 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$

[0154] P<sup>+</sup>或N<sup>+</sup>掺杂: $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 至 $9 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$

[0155] P或N掺杂: $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 至 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$

[0156] 本征掺杂: $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 至 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$

[0157] 在以下描述中,可选地使用材料M的以下缩写:

[0158] M-i指的是根据微电子领域中常规使用的术语的带后缀-i的本征或无意掺杂的材料M。

[0159] M-n指的是根据微电子领域中常规使用的术语的带后缀-n的掺杂有N、N<sup>+</sup>或N<sup>++</sup>的材料M。

[0160] M-p指的是根据微电子领域中常规使用的术语的带后缀-p的掺杂有P、P<sup>+</sup>或P<sup>++</sup>的材料M。

[0161] “阵列”应当理解为意指呈行和列的形式的表。例如,阵列可以包括多个行和多个列,或者单个行和多个列,或者多个行和单个列。

[0162] 在本专利申请中,术语“发光二极管”、“LED”或简称“二极管”被同义地使用。

[0163] “基于”材料M的基板、层或器件应理解为意指仅包括该材料M或包括该材料M和可选地其他材料、例如合金元素、杂质或掺杂元素的基板、层或器件。因此,基于氮化镓(GaN)的LED可以例如包括氮化镓(GaN或GaN-i)或掺杂的氮化镓(GaN-p、GaN-n)或氮化铟镓(InGaN)或氮化铝镓(AlGaN)。

[0164] 在本专利申请中,在纵向方向上测量深度、高度和厚度,并且沿着基面测量宽度。优选地,例如,厚度用于描述层,高度用于描述器件,并且深度用于描述蚀刻或植入。

[0165] 根据情况,“横向的”和“横向地”应理解为意指:

[0166] 区域、边缘或界面在纵向方向上的取向;

[0167] 主要沿基面的方向指向的注入;

[0168] 不同的区域或元素在LED的周缘处的设置。

[0169] 波长为 $\lambda_i$  ( $i=1 \cdots 3$ )的光通量应理解为意指这样的光通量:该光通量的光谱主要包括波长 $\lambda_i$  ( $i=1 \cdots 3$ )。该光通量不一定是单色的。

[0170] 在下面的描述中,定义了用于材料、可选地用于平均或模型材料、并且用于该材料中的可选谐振模的有效折射率。有效折射率等于速度c(真空中的光速)与材料中光的传播速度的比率,并且取决于所考虑的光学谐振模。该有效折射率对应于用于在纵向方向上的有效光传播的材料的有效折射率。

[0171]  $n_{\text{eff},1}$ 是相对于用于在所考虑的材料中传播波长为 $\lambda_1$ 的光通量的第一光学谐振模的第一有效折射率。

[0172]  $n_{\text{eff},j}$ 是相对于用于在所考虑的材料中传播波长为 $\lambda_j$ 的光通量的第j光学谐振模的

第j有效折射率。

[0173] 术语“基本上”、“大约”和“约”意指“在10%内”，或者当指的是角度取向时，“在10°内”。因此，基本上法向于平面的方向意指具有相对于该平面成 $90 \pm 10^\circ$ 的角度的方向。

[0174] 为了确定LED的几何形状以及不同的掺杂区域和未掺杂区域或本征区域之间的组分，可以执行扫描电子显微镜 (SEM) 或透射电子显微镜 (TEM) 分析。

[0175] LED的不同区域和金属接触部的相对位置可以从横截面获得。

[0176] 此外，元素在区域中的植入、特别是在该区域的整个高度上以不同的能量植入产生对于本领域技术人员而言典型的伪像 (在注入区域与相邻区域之间的界面的限定、注入缺陷的恢复)。这些典型的伪像也可以通过蒙特卡洛型方法 (Monte Carlo-type methods) 和/或有限元方法 (FEM) 进行模拟。

[0177] 不同区域的化学组分可以使用以下众所周知的方法来确定，比如：

[0178] 代表“能量色散X射线光谱学”的EDX或X-EDS。

[0179] 该方法非常适合于分析小型器件、比如 $\mu$ LED的组分。该方法可以在扫描电子显微镜 (SEM) 内的冶金部分上或透射电子显微镜 (TEM) 内的薄载玻片上实现。

[0180] 代表“二次离子质谱学”的SIMS。

[0181] 代表“飞行时间二次离子质谱学”的ToF-SIMS。

[0182] 这些方法提供了触及不同区域的元素组分的途径。

[0183] 现在将参照图4A、图5A和图6A描述根据本发明的至少一个LED的第一实施方式。通过该第一实施方式获得的LED 100或多个LED 100a、100b是基于GaN的并且具有横向注入的无台面结构。

[0184] LED 100可以有利地由基板50上的层10、20、30、40的平面叠置件制造而成。叠置件的每个层10、20、30、40在基面中延伸，并且叠置件沿优选地法向于基面的纵向方向形成 (图4A)。

[0185] 通常，GaN-n缓冲层40优选地在 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 蓝宝石基板50上外延地生长。该缓冲层40可以具有介于几百纳米与几微米之间的厚度，通常为 $1\mu\text{m}$ 。

[0186] 该缓冲层40构造成限制通过异质外延产生的结构缺陷、例如晶格失配位错通过叠置件传播。

[0187] 基板可以替代性地是例如硅基板或碳化硅基板。

[0188] GaN-n层30然后可以在缓冲层40上外延地生长。该GaN-n层30可以具有介于几百纳米与几微米之间的厚度，通常为 $500\text{nm}$ 。

[0189] 该GaN-n层30具有比缓冲层40低的位错率，优选地小于 $10^{10}\text{cm}^{-2}$ ，并且更优选地小于或等于 $10^8\text{cm}^{-2}$ 。

[0190] 包括至少一个基于InGaN的量子阱的无意掺杂的量子阱层20然后可以在GaN-n层30上外延地生长。量子阱优选地平行于基面延伸。

[0191] 这些量子阱的厚度通常可以是几纳米，例如在 $1\text{nm}$ 与 $5\text{nm}$ 之间。这些量子阱可以通过置入的GaN层而彼此分开，该GaN层的厚度是几纳米，例如在 $3\text{nm}$ 与 $15\text{nm}$ 之间。

[0192] 量子阱层20可以包括一至五十个量子阱。量子阱层20可以具有介于 $10\text{nm}$ 与 $500\text{nm}$ 之间、优选地介于 $10\text{nm}$ 与 $200\text{nm}$ 之间的厚度，以减小叠置件的总厚度。

[0193] GaN-p层10然后可以在量子阱层20上外延地生长。该GaN-p层10可以具有介于 $20\text{nm}$

与200nm之间的厚度。

[0194] GaN-p层10中的大多数载流子是空穴。该层10可以具有介于 $10^{17}\text{cm}^{-3}$ 与 $10^{19}\text{cm}^{-3}$ 之间的掺杂剂浓度。

[0195] 由于空穴的迁移率低于电子的迁移率,因此电子-空穴对的辐射性复合主要发生在与该GaN-p层10邻接的一个或更多个第一量子阱处。

[0196] 可以实施不同的外延技术以在纵向方向上形成该叠置件。例如且以非限制性的方式,技术包括化学气相沉积(CVD)、金属有机气相外延(MOVPE)、氢化物气相外延(HVPE)、原子层沉积(ALD)和分子束外延(MBE)。叠置件优选地形成在相同的外延框架内。

[0197] 然后通过光刻来限定一个或更多个图案。每个图案旨在形成LED100。在基面上投影的每个图案的形状例如可以是正方形、矩形或圆形。投影的图案优选地形成这样的阵列:LED阵列100<sup>M</sup>可以由该阵列形成。

[0198] 所述一个或更多个图案可以具有介于300nm与500 $\mu\text{m}$ 之间、优选地介于300nm与50 $\mu\text{m}$ 之间的宽度,即,所述一个或更多个图案沿着基面延伸的主要尺寸。例如,约500 $\mu\text{m}$ 的尺寸可以用于生产数字标牌屏幕或标志。小于50 $\mu\text{m}$ 或小于30 $\mu\text{m}$ 的尺寸允许制造基于 $\mu\text{LED}$ 的屏幕。

[0199] 每个图案优选地包括由边界围绕的中央区域。

[0200] 中央区域在光刻之后被掩盖在GaN-p层10的初始暴露的面部上,以在该中央区域处保护下面的叠置件。

[0201] 旨在形成发射区的该中央区域可以具有介于300nm与10 $\mu\text{m}$ 之间的宽度。

[0202] 中央区域优选地包括形成在GaN-p层10中的LED的第一区域1和形成在量子阱层20中的LED的第二区域2。

[0203] 边界优选地在光刻之后暴露,使得物种或原子、优选地施主类型的物种或原子可以在下面的叠置件的整个高度上从暴露的面部被植入。

[0204] 该边界可以具有介于50nm与10 $\mu\text{m}$ 之间、优选地介于200nm与2 $\mu\text{m}$ 之间的宽度。

[0205] 离子植入可以在GaN-p层10和量子阱层20中和/或穿过GaN-p层10和量子阱层20进行,以便一方面对LED 100的第一区域1和第二区域2进行定界并且另一方面形成LED 100的第三区域3(图5A)。

[0206] 该离子植入优选地配置成以介于 $10^{17}\text{cm}^{-3}$ 与 $10^{19}\text{cm}^{-3}$ 之间的浓度将硅植入介于10nm与10 $\mu\text{m}$ 之间、优选地介于30nm与500nm之间的总深度。

[0207] 该实现方式有利地允许层10的导电性在第三区域3中反转。因此,在LED 100的第二区域2与第三区域3之间形成P-N结。

[0208] 特别地,在硅植入之后,层10中的GaN-p可以变为在第三区域3中的GaN-n。

[0209] 不同的植入能量可以允许硅被植入在暴露的面部下方的在纵向方向上的不同深度处,以获得在整个植入深度上相对均匀的分布。

[0210] 以已知的方式,植入深度曲线与能量的函数关系可以根据蒙特卡洛类型计算来估计。因此,可以根据所需的植入深度来调节能量变化。

[0211] 该植入深度基本上对应于第三区域3的高度。

[0212] 例如,通过Applied Material的VIISta 3000XP植入机以在10keV与500keV之间逐渐变化的能量进行的硅植入可以形成具有约为350nm的高度的第三N型区域3。

[0213] 植入剂量可以介于 $10^{13}\text{cm}^{-2}$ 与 $10^{16}\text{cm}^{-2}$ 之间。

[0214] LED 100的第一区域1、第二区域2和第三区域3在该离子植入之后形成。

[0215] 可选地,可以进行活化退火和/或恢复退火。活化退火允许例如植入的硅原子被赋予施主性质。恢复退火在减少与植入相关的结构缺陷方面是特别有用的。这些活化退火和/或恢复退火通常在介于 $800^{\circ}\text{C}$ 与 $1,000^{\circ}\text{C}$ 之间的温度下进行并且持续介于15分钟与2小时之间的持续时间。特别地,可以调节这些退火温度和持续时间,以不使量子阱层20的量子阱退化。这种退火对于本领域技术人员是众所周知的。

[0216] 根据图6A中所示的一个实施方式,在暴露的面部处,被称为P接触部的第一金属接触部11a、11b沉积在第一P型区域1a、1b上,并且被称为N接触部的第二金属接触部12沉积在第三N型区域3上。

[0217] 有利地,两个相邻的二极管100a、100b因此至少部分地共享第三区域3和相同的N接触部12。这限制了对二极管阵列 $100^M$ 的二极管100a、100b供电所需的连接器的数目。

[0218] 优选地,N接触部12允许电子从第三区域3朝向第一区域1a、1b横向地注入。

[0219] P接触部11a、11b允许空穴被注入到第一区域1a、1b中。

[0220] 因此,第一区域1、1a、1b中的空穴可以与来自第三区域3的电子在中央区域中形成电子-空穴对。该电子-空穴对然后可以通过在第二区域2、2a、2b的量子阱中、通常且主要在第一区域1、1a、1b紧旁侧延伸的量子阱中辐射性复合而被消除。因此,发射波长为 $\lambda_1$ 的光通量。

[0221] 例如,对于基于GaN的层10、20和基于InGaN的量子阱,波长 $\lambda_1$ 可以介于400nm与650nm之间,优选地介于400nm与470nm之间。

[0222] 光通量优选地在与承载接触部11a、11b、12的面部相反的发射面部处提取。

[0223] 这种LED 100优选地发射蓝光,并且在下文可以被称为蓝光LED。

[0224] 载流子、特别是电子的横向注入是特别高效的并且防止了对电子阻挡层EBL的需要。在图2A至图2C和图3A至图3C中分别示出了根据本发明的还包括EBL的横向注入LED的结果与根据本发明的不具有EBL的横向注入LED的结果之间的比较。

[0225] 图2B示出了用于具有半径为 $R=5\mu\text{m}$ 的EBL的LED的WPE与对应于在LED的P接触部处传递的电流的阳极电流的函数关系。LED的最大效率或最大电光转换效率 $\text{WPE}_{\text{max}}$ 是12%。

[0226] 相比之下,图3B示出了用于不具有任何半径为 $R=5\mu\text{m}$ 的EBL的LED的WPE与阳极电流的函数关系。LED的最大效率 $\text{WPE}_{\text{max}}$ 是52%。该最大效率显著地高于由具有EBL的横向注入LED所实现的最大效率。相对效率差是40%。

[0227] 图2C示出了用于具有半径为 $R=1\mu\text{m}$ 的EBL的LED的WPE与阳极电流的函数关系。LED的最大效率 $\text{WPE}_{\text{max}}$ 是5%。

[0228] 相比之下,图3C示出了用于不具有任何半径为 $R=1\mu\text{m}$ 的EBL的LED的WPE与阳极电流的函数关系。LED的最大效率 $\text{WPE}_{\text{max}}$ 是65%。在这种情况下,相对效率差是60%。

[0229] 因此,根据本发明的横向注入LED有利地使得可以形成 $\mu\text{LED}$ ,特别是在基面中延伸的主要尺寸小于或等于 $12\mu\text{m}$ 的 $\mu\text{LED}$ 。

[0230] 在下文中描述根据本发明的LED 100、100a、100b的其他实施方式。在下文中仅描述与前述实施方式不同的特征;其余未描述的特征被认为与前述实施方式的特征相同。

[0231] 根据图4B、图5B和图6B中所示的一个实施方式,LED 100还具有台面结构。



- [0232] 为了获得该台面结构,优选地在层10、20、30、40的叠置件形成之后且在LED图案限定之前进行光刻和蚀刻。
- [0233] 光刻允许待被蚀刻的区域被限定。
- [0234] 蚀刻可以配置成形成至少部分地穿过层10、20、30的叠置件的围绕每个LED的沟槽(图4B)。这些沟槽优选地在每个LED旁侧、在每个LED图案的边界的周缘处延伸。
- [0235] 在一个可能方案中,沟槽具有大于或等于第一层10的厚度和第二层20的厚度的总和的深度。
- [0236] 各向异性蚀刻、例如RIE(反应性离子蚀刻)或使用氯物质的等离子体蚀刻允许这种沟槽基本上在纵向方向上形成。
- [0237] 两个相邻的LED 100a、100b优选地被相同的沟槽分开。
- [0238] 沟槽优选地具有大于或等于200nm的宽度。这限制或防止了相邻的LED之间的相互光耦合。
- [0239] 已知台面结构光学隔离LED的发射区的至少一部分和/或引导由发射区发射的光通量的传播。
- [0240] 更具体地,光通量通过台面的内部与沟槽之间的折射率对比而被限制至台面的内部。
- [0241] 在蚀刻之后,可以沿着台面的边缘、沿着LED图案的边界进行硅的离子植入(图5B)。
- [0242] 该实现方式既允许每个LED的第三区域3形成而且允许台面的自由边缘被钝化。
- [0243] 植入深度优选地基本上等于蚀刻深度。
- [0244] 在暴露的面部处,第一接触部11a、11b然后可以沉积在LED 100a、100b的第一区域1a、1b上,并且第二接触部12a、12b然后可以沉积在第三区域3a、3b上。
- [0245] 因此,LED 100a优选地包括与相邻的LED 100b的另一第二接触部12b分离的第二接触部12a。
- [0246] LED 100a、100b在电气上彼此独立,并且可以独立地受控制。
- [0247] 因此,横向注入的带台面结构的LED 100a、100b制造而成。
- [0248] 从第一区域1与第三区域3之间的P-N结横向地延伸的空间电荷区域、以及电子朝向中央区域的注入有利地允许电子-空穴对被限制至中央区域。因此,与具有常规台面结构的LED不同,台面的自由边缘不会干扰辐射性复合机制。
- [0249] 因此,根据该实施方式的LED 100a、100b具有光学限制和电子限制,从而分别使LED之间的相互光耦合能够被限制并且使LED的辐射性复合率被优化。
- [0250] 如图7A和图8A中所示,形成在基板50上的多个LED然后被转移至控制电子器件60。
- [0251] LED的第一接触部11和第二接触部12有利地承载在GaN-p层10的同一面部、暴露的面部上,这有利于与控制电子器件60的连接(图7A)。
- [0252] 可以使用本领域技术人员公知的各种转移和连接方法以及微电子工业中的常见实践来将控制电子器件60与所述多个LED连接。
- [0253] 倒装和转移可以例如通过所谓的“倒装芯片”方法进行。
- [0254] 然后可以进行从基板50的背面进行的第一减薄操作,以去除基板50,优选地去除缓冲层40,并且优选地至少部分地去除GaN-n层30(图8A)。

[0255] 该第一减薄操作可以通过第一机械修整、通常用粗糙的磨料来进行,以快速地去  
除所需厚度的至少90%,并且接着进行化学-机械抛光,从而允许残留厚度的去除被精确地  
控制。

[0256] 第一减薄操作使发射面部更靠近发射区。这有利地改善了由二极管发射的光通量  
的提取。

[0257] 第一减薄例如通过减小二极管阵列100<sup>M</sup>的整体尺寸而还促进或改进了该阵列到  
显示屏中的集成。

[0258] 根据图7B和图8B中所示的一个实施方式,可以通过预先集成到叠置件中的蚀刻停  
止层31来精确地控制通过减薄去除的厚度。

[0259] 特别地,基于AlGa<sub>N</sub>或AlN的蚀刻停止层31可以在Ga<sub>N</sub>-n层30的外延期间形成在该  
Ga<sub>N</sub>-n层内。

[0260] 可以有利地精确地控制该蚀刻停止层31在Ga<sub>N</sub>-n层30中的在高度方向上的位置以  
及该蚀刻停止层31的厚度。

[0261] 在倒装之前,优选地蚀刻沟槽,使得沟槽至少部分地穿过蚀刻停止层31。

[0262] 例如,沟槽的蚀刻可以配置成穿过蚀刻停止层31的整个厚度、至少到达该蚀刻停  
止层31与层30之间的第一界面311且优选地到达第二界面312。

[0263] 在倒装之后并且在第一机械减薄之后,可以通过对层30进行蚀刻来有利地进行第  
二减薄。

[0264] 对层30的这种蚀刻优选地选择为相对于蚀刻停止层31具有良好的选择性。

[0265] 特别地,对于基于Ga<sub>N</sub>的层30和基于AlGa<sub>N</sub>的蚀刻停止层31,光电化学蚀刻可以具  
有大于100:1的选择性 $S_{\text{AlGa}_N/\text{Ga}_N}$ 。

[0266] 对于基于Ga<sub>N</sub>的层30和基于AlN的蚀刻停止层31,光电化学蚀刻也可以具有大于  
100:1的选择性 $S_{\text{AlN}/\text{Ga}_N}$ 。

[0267] 为了实现这种蚀刻,例如可以参考文献“Selective Etching of Ga<sub>N</sub> from  
AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> and AlN/Ga<sub>N</sub> Structures (来自AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub>和AlN/Ga<sub>N</sub>结构的Ga<sub>N</sub>的选择性蚀  
刻), Nitride Semiconductor Research, J.A.Grenko, Volume 9 (2004)”。

[0268] 这使得蚀刻停止变得更容易。在该蚀刻结束时,减薄操作在第一界面311处停止。

[0269] 因此,叠置件具有残余厚度 $e$ 。

[0270] 该残余厚度 $e$ 对应于LED阵列100<sup>M</sup>中的LED 100的高度 $e_1$ 。

[0271] 因此,界面311可以对应于二极管的发射面。

[0272] 通过将蚀刻停止层31定位在层30内,可以有利地精确地控制LED的高度 $e_1$ 。

[0273] 特别地,根据一个优选实施方式,LED的高度 $e_1$ 可以选择成使得:

$$[0274] \quad e_1 = M_1 \frac{\lambda_1}{2n_{\text{eff},1}}$$

[0275] 其中, $M_1$ 是整数, $\lambda_1$ 是发射波长,并且 $n_{\text{eff},1}$ 是LED中的有效折射率。因此,可以形成  
也被称为RCLED的谐振腔LED(图8B)。

[0276] 这些RCLED主要在纵向方向上发射波长为 $\lambda_1$ 的光通量。

[0277] 优选地,选择 $M_1=1$ 以形成单模RCLED。这种配置有利地防止在腔的其他谐振模中

光通量沿着RCLED的边界传播。

[0278] 在下文的描述中,蓝色LED可以包括RCLED。

[0279] 为了形成以其他波长发射的LED,例如以波长 $\lambda_2$ 发射的绿色LED和以波长 $\lambda_3$ 发射的红色LED,可以将波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ )添加至蓝色LED中。

[0280] 通常,配置成通过波长为 $\lambda_1$ 的光通量而产生波长为 $\lambda_2$ 的光通量的转换器 $c_2$ 可以与蓝色LED相关联。

[0281] 配置成通过波长为 $\lambda_1$ 的光通量而产生波长为 $\lambda_3$ 的光通量的转换器 $c_3$ 可以与蓝色LED相关联。

[0282] 有利地,因此,可以形成显示屏的彩色像素。

[0283] 因此,绿色LED对应于彩色像素的绿色子像素。

[0284] 因此,红色LED对应于彩色像素的红色子像素。

[0285] 不具有转换器的蓝色LED对应于彩色像素的蓝色子像素。

[0286] 这些波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ )可以包括量子点(QD)。

[0287] 这些QD可以例如是大小和组分变化的纳米颗粒或纳米晶体。由QD重新发射的波长 $\lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ )特别地取决于QD的尺寸和组分。

[0288] 有利地,可以使用加载QD的光致抗蚀剂来在蓝色LED阵列 $100^M$ 上形成绿色子像素阵列和红色子像素阵列。

[0289] 例如,在将第一类型的且具有约几纳米至几十纳米之间、例如介于2nm与100nm之间的尺寸的第一加载QD的光致抗蚀剂、例如基于CdSe/ZnS或基于InP/ZnS或基于CdSe/CsS/ZnS的核/壳纳米颗粒沉积之后,可以进行第一光刻以形成绿色子像素阵列。

[0290] 在将第二类型的且具有约几纳米至几十纳米之间、例如介于2nm与100nm之间的尺寸的第二加载QD的光致抗蚀剂、例如基于CdSe/CdS或基于InP/CdS的核/壳纳米颗粒沉积之后,可以进行第二光刻以形成红色子像素阵列。

[0291] 第二类型的QD可以具有与第一类型的QD相同的性质,而仅在核/壳尺寸比方面不同。

[0292] 替代性地,包括量子阱(QW)的转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ )可以与蓝色LED关联。这种量子阱转换器可以通过沉积和/或外延来制造而成。

[0293] 沉积参数、例如用于旋涂的旋转速度可以有利地允许转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ )以受控厚度的层的形式形成。

[0294] 根据图9A中所示的一个实施方式,这些波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ )可以直接沉积在与LED的发射面接触的蓝色LED阵列 $100^M$ 上。

[0295] 替代性地,根据图9B中所示的一个实施方式,这些波长转换器 $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ )可以与蓝色LED耦合、优选地通过集成在谐振光学腔内而与蓝色LED耦合。

[0296] 特别地,转换器 $c_2$ 、 $c_3$ 的层可以夹置在例如由 $TiO_2$ 或 $ZrO_2$ 制成的两个透明层之间,以形成纵向方向上的与蓝色LED的发射面直接接触的叠置件52、53。

[0297] 叠置件52、53和蓝色LED具有总高度 $\bar{e}$ 。

[0298] 不同的层厚度优选地选择成使得:

$$[0299] \quad \bar{e} = M_1 \frac{\lambda_1}{2n_{eff1}} = M_j \frac{\lambda_j}{2n_{effj}}$$

[0300] 其中,  $M_1$ 、 $M_j$  是整数, 并且其中,  $M_j$  不同于  $M_1$  或等于  $M_1$ ,  $\lambda_1$  和  $\lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 分别是发射波长和转换波长,  $n_{eff1}$ 、 $n_{effj}$  分别是第一有效折射率和第  $j$  有效折射率。

[0301] 因此, 叠置件 52、53 和蓝色 LED 形成用于两个发射波长和转换波长中的每一者的、可选地用于不同的光学谐振模的谐振光学腔。

[0302] 根据一个优选实施方式, 不同的层厚度选择成使得转换器层  $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 的中平面定位在相对于谐振腔的顶端部的高度  $e_j^{top}$  ( $j=2\cdots 3$ ) 处, 其中:

$$[0303] \quad e_j^{top} = (2M_j' + 1) \frac{\lambda_j}{4n_{eff,j}} \quad (j = 2 \dots 3)$$

[0304] 其中,  $M_j'$  是整数。

[0305] 因此, 转换器  $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 有利地定位在光学谐振模的波腹上。因此, 在谐振腔的顶端部处波长为  $\lambda_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 的光通量的提取效率被最大化。

[0306] 无转换器的蓝色 LED 还可以包括例如由  $TiO_2$  或  $ZrO_2$  制成的透明层, 以形成用于波长  $\lambda_1$  的具有高度  $e_1$  的谐振腔。

[0307] 该透明层的厚度优选地选择成使得与第一区域 1 相邻的第二区域 2 的第一量子阱定位在相对于谐振腔的顶端部的高度  $e_1^{top}$  处, 使得:

$$[0308] \quad e_1^{top} = (2M' + 1) \frac{\lambda_1}{4n_{eff,1}}$$

[0309] 因此, 在其中发生大多数辐射性复合的该第一量子阱有利地定位在光学谐振模的波腹上。因此, 在谐振腔的顶端部处波长为  $\lambda_1$  的光通量的提取效率被最大化。

[0310] 替代性地, 根据图 9C 中所示的一个实施方式, 这些波长转换器  $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 可以远离蓝色 LED 或与蓝色 LED 断开耦合。

[0311] 例如, 气隙可以使转换器与蓝色 LED 分开。

[0312] 蓝色 LED 优选地是具有高度  $e_1$  的 RCLED, 以便在 RCLED 的发射面处获得主要在纵向方向上的定向光通量。

[0313] 转换器  $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 可以有利地包括独立于 RCLED 的谐振腔的谐振转换器。

[0314] 例如, 这些转换器  $c_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 可以是包括 QD 的具有厚度  $e_j$  ( $j=2\cdots 3$ ) 的层, 其中:

$$[0315] \quad e_j = M_j \frac{\lambda_j}{2n_{eff,j}}$$

[0316] 因此, 这些转换器层分别是对于波长  $\lambda_j$  谐振的。

[0317] 包括与自身谐振的转换器分离的 RCLED 的这种配置有利地简化了显示屏的彩色像素的红色子像素和绿色子像素的制造。

[0318] 更具体地, 转换器  $c_2$ 、转换器  $c_3$  可以通过加载 QD 的光致抗蚀剂的光刻法形成并且沉积在玻璃基板 70 上, 而与蓝色 LED 阵列 100<sup>M</sup> 的制造无关, 如图 10 中所示。

[0319] 优选地但可选地,分布式布拉格反射器(DBR)的层71可以夹置在玻璃基板70与转换器 $c_2$ 、 $c_3$ 之间。

[0320] 该DBR层71优选地配置成具有包括波长 $\lambda_2$ 和 $\lambda_3$ 的宽反射带。

[0321] 该DBR层71可以由基于交替的 $TiO_2$ 和 $SiO_2$ 的层制成。例如,可以参考文献“Fabrication and characterization of  $TiO_2/SiO_2$  based Bragg reflectors for light trapping applications (用于光捕获应用的基于 $TiO_2/SiO_2$ 的布拉格反射器的制造和表征),R.S.Dubey,Results in Physics,2017年第7卷,第2271-2276页”,以形成该DBR层71。

[0322] 因此,玻璃基板70上形成的转换器 $c_2$ 、 $c_3$ 可以转移成与阵列 $100^M$ 的蓝色LED相对,以形成不同的蓝色子像素、红色子像素和绿色子像素。

[0323] 承载由此与蓝色LED对准的转换器 $c_2$ 、 $c_3$ 的基板70可以例如通过粘合珠或粘合垫80固定至与控制电子器件60连接的阵列 $100^M$ 。

[0324] 如图11中所示,因此可以制造包括彩色像素的显示屏,每个彩色像素包括基于横向注入的RCLED的子像素。

[0325] 本发明不限于前述实施方式,而是包括由权利要求书覆盖的所有实施方式。

[0326] 特别地,各实施方式可以彼此组合以获得LED或光电系统。

[0327] 例如,可以形成包括远程转换器的带台面结构的、基于GaN的横向注入LED或RCLED。

[0328] 可以形成包括集成转换器的带台面结构的、基于GaN的横向注入LED或RCLED。

[0329] 可以形成包括集成转换器的无台面的、基于GaN的横向注入LED或RCLED。

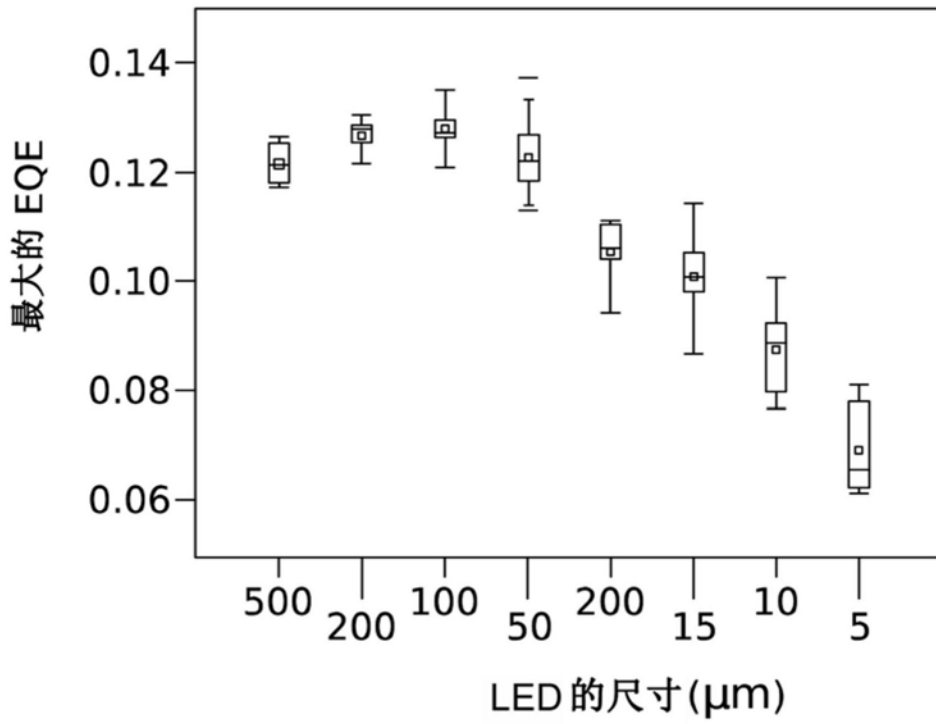


图1

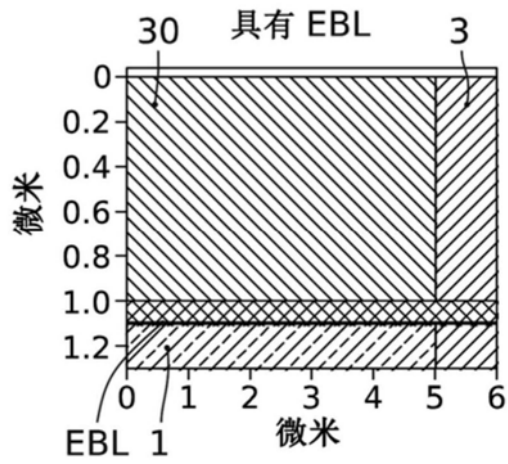


图2A

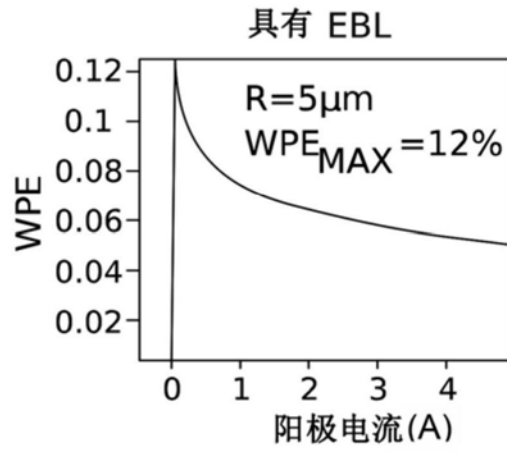


图2B

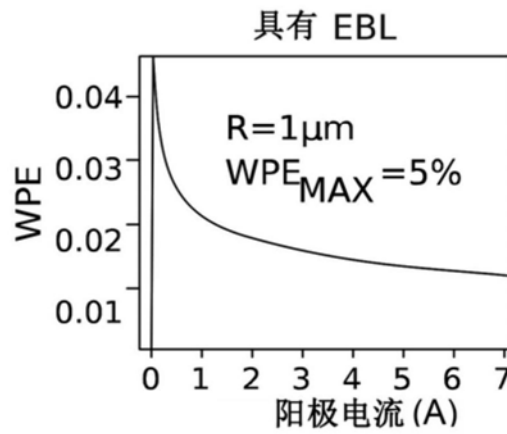


图2C

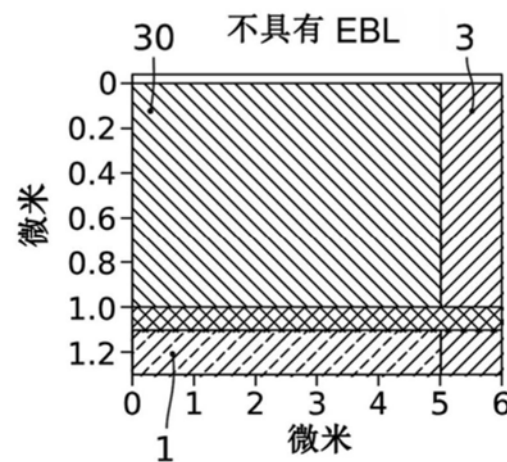


图3A

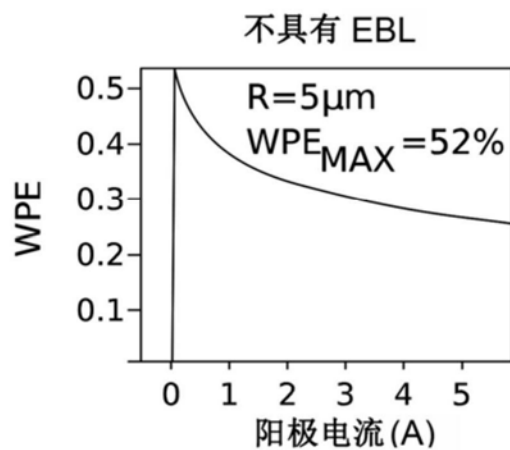


图3B

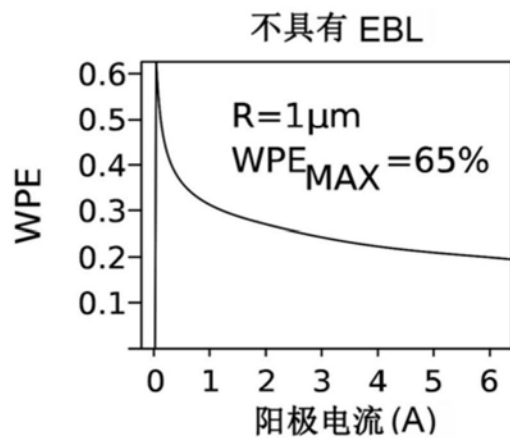


图3C

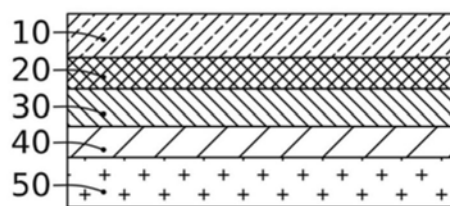


图4A



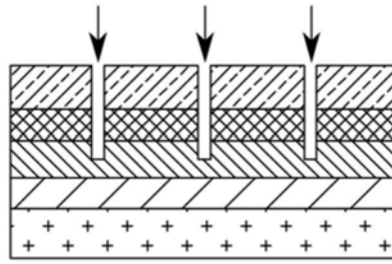


图4B

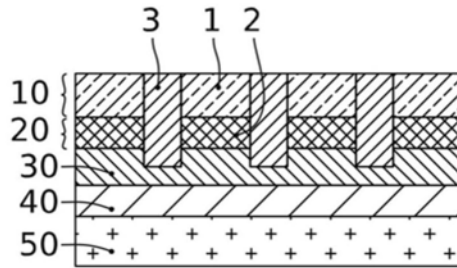


图5A

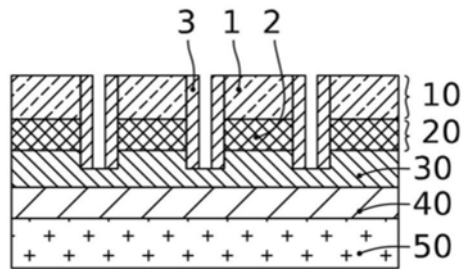


图5B

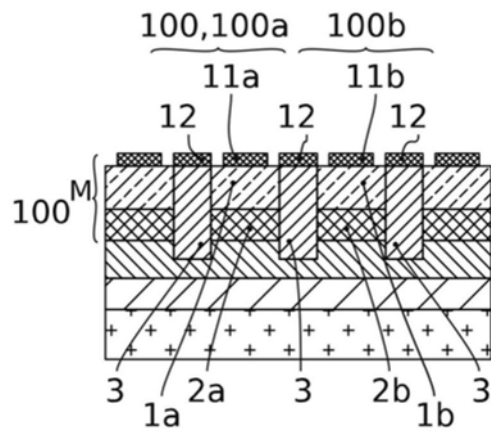


图6A

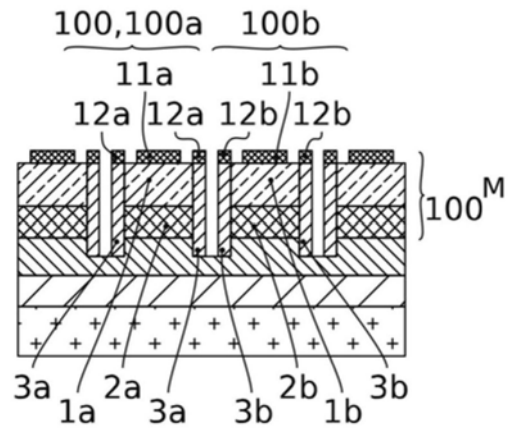


图6B

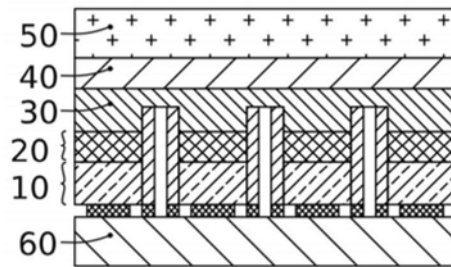


图7A

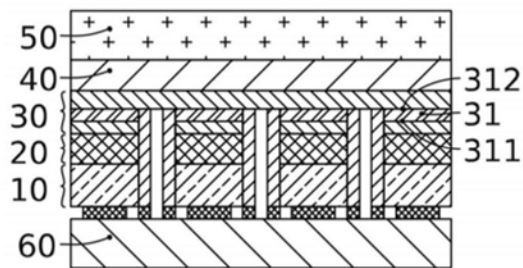


图7B

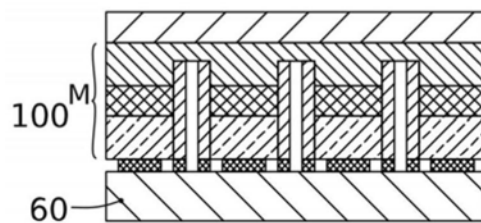


图8A

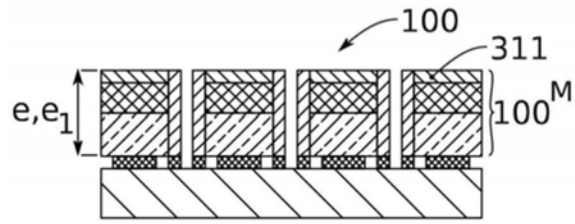


图8B

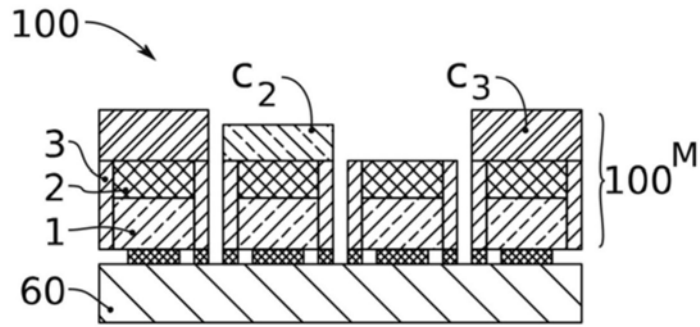


图9A

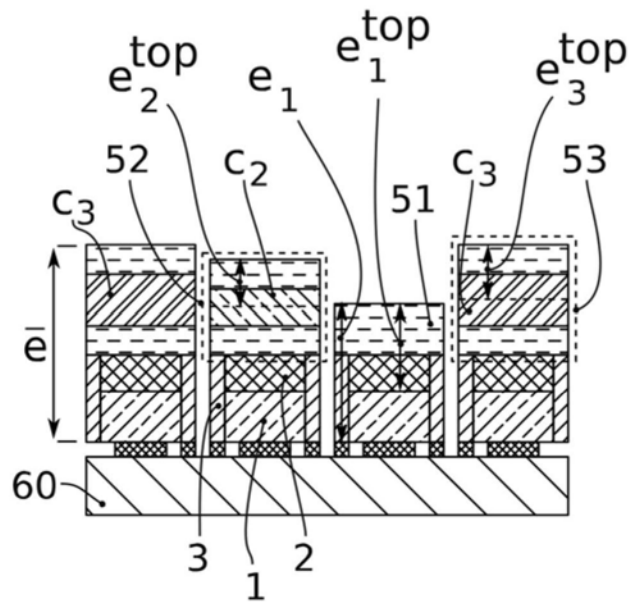


图9B

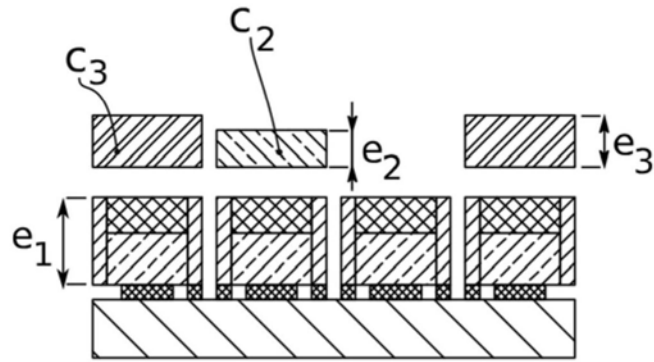


图9C

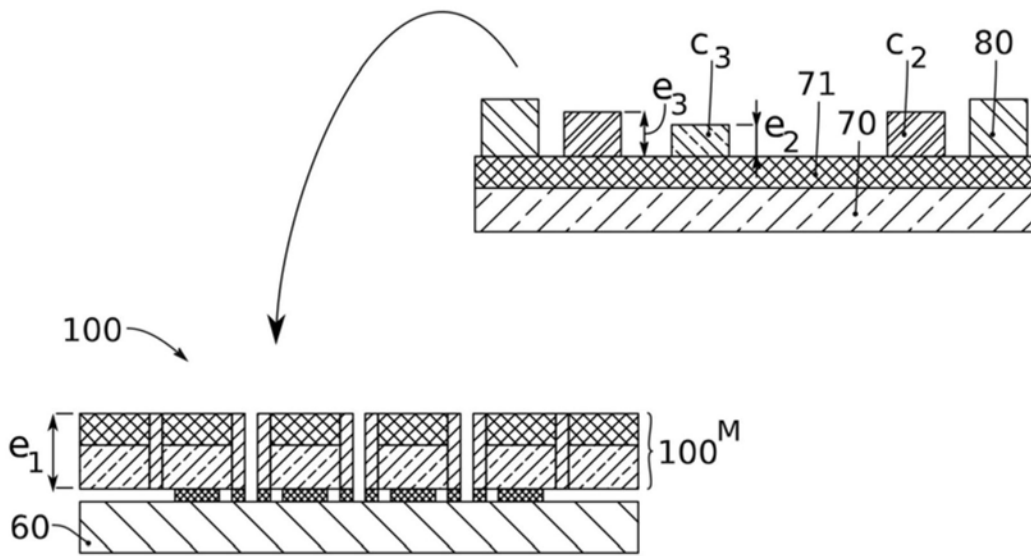


图10

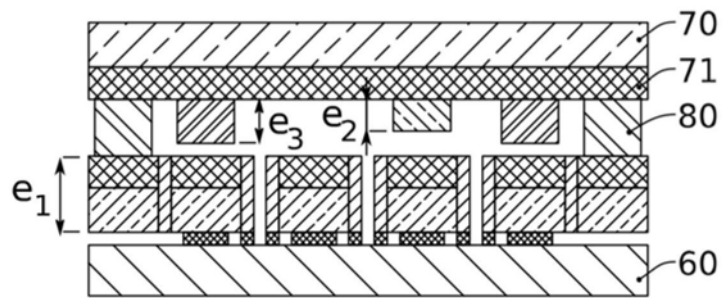


图11