



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102498626 A

(43) 申请公布日 2012. 06. 13

(21) 申请号 201080042606. 1

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

(22) 申请日 2010. 07. 22

代理人 杜荔南 卢江

(30) 优先权数据

102009034588. 4 2009. 07. 24 DE

102009040438. 4 2009. 09. 07 DE

(51) Int. Cl.

H01S 5/34(2006. 01)

H01S 5/347(2006. 01)

H01S 5/343(2006. 01)

H01L 33/06(2006. 01)

H01L 33/32(2006. 01)

H01L 33/00(2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012. 03. 23

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2010/060658 2010. 07. 22

(87) PCT申请的公布数据

W02011/009923 DE 2011. 01. 27

(71) 申请人 奥斯兰姆奥普托半导体有限责任公司

地址 德国雷根斯堡

(72) 发明人 M·彼得 R·布滕戴希 沈哲也  
J·奥夫 A·瓦尔特 T·迈耶

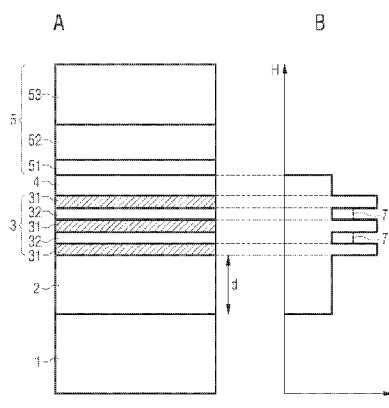
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 3 页

## (54) 发明名称

具有量子阱结构的光电子半导体本体

## (57) 摘要

说明一种光电子半导体本体,其包含由第一成分和与第一成分不同的第二成分组成的半导体材料。该半导体本体具有布置在 n 导通层(1) 和 p 导通层(5) 之间的量子阱结构。该量子阱结构由以下元件构成:单个的量子阱层(31) 或由多个量子阱层(31) 和至少一个阻挡层(32) 构成的层堆叠(3),其中在每两个相继的量子阱层(31) 之间布置有阻挡层(32),该阻挡层与两个量子阱层(31) 接界;与 n 导通层(1) 和与单个的量子阱层(31) 或层堆叠(3) 接界的 n 侧封闭层(2);和布置在 p 导通层(4) 与单个的量子阱层(31) 或层堆叠(3) 之间并且与层堆叠(3) 或单个的量子阱层(31) 接界的 p 侧封闭层(4)。



1. 一种光电子半导体本体,其包含由第一成分和与第一成分不同的第二成分组成的半导体材料并且具有布置在 n 导通层(1)和 p 导通层(5)之间的多重量子阱结构,该多重量子阱结构由以下各项构成

- 由多个量子阱层(31)和至少一个阻挡层(32)构成的层堆叠(3),其中在每两个相继的量子阱层(31)之间布置有阻挡层(32),该阻挡层与两个量子阱层(31)接界;

- 与层堆叠(3)和 n 导通层(1)接界的 n 侧封闭层(2);和

- 布置在层堆叠(3)与 p 导通层(4)之间并且与层堆叠(3)接界的 p 侧封闭层(4),其中半导体材料的第一成分的质量份额(x)

- 在量子阱层(31)的每一个中比在 n 侧封闭层(2)中、在至少一个阻挡层(32)中和在 p 侧封闭层(4)中大;并且

- 在 n 侧封闭层(2)中比在 n 导通层(1)中大,并且在 p 侧封闭层(4)中比在 p 导通层(5)中大。

2. 根据权利要求 1 的光电子半导体本体,其中 n 导通层(1)具有 p 侧边缘区域(11),该 p 侧边缘区域与 n 侧封闭层(2)的 n 侧边缘区域(22)接界,并且 n 导通层(1)的 p 侧边缘区域(11)和 n 侧封闭层(2)的 n 侧边缘区域(22)用 n 掺杂物来掺杂,并且 n 侧封闭层(2)具有 p 侧边缘区域(21),该 p 侧边缘区域与层堆叠(3)尤其是直接接界并且标称上未掺杂。

3. 根据前述权利要求之一的光电子半导体本体,其中半导体材料的第一成分的质量份额(x)在至少一个阻挡层(32)中至少如在 n 侧封闭层(2)中那样大。

4. 根据前述权利要求之一的光电子半导体本体,其中半导体材料的第一成分的质量份额(x)在至少一个阻挡层(32)中至少如在 p 侧封闭层(4)中那样大。

5. 根据前述权利要求之一的光电子半导体本体,其中半导体材料的第一成分的质量份额(x)在 n 侧封闭层(2)中、在至少一个阻挡层(32)中以及在 p 侧封闭层(4)中同样大。

6. 一种光电子半导体本体,其包含由第一成分和与第一成分不同的第二成分组成的半导体材料并且具有布置在 n 导通层(1)和 p 导通层(5)之间的单重量子阱结构,该单重量子阱结构由以下各项构成

- 单个的量子阱层(31);

- 与量子阱层(31)和 n 导通层(1)接界的 n 侧封闭层(2);和

- 布置在量子阱层(31)与 p 导通层(4)之间并且与量子阱层(31)接界的 p 侧封闭层(4),

其中半导体材料的第一成分的质量份额(x)

- 在量子阱层(31)中比在 n 侧封闭层(2)中和在 p 侧封闭层(4)中大;并且

- 在 n 侧封闭层(2)中比在 n 导通层(1)中大,并且在 p 侧封闭层(4)中比在 p 导通层(5)中大。

7. 根据前述权利要求之一的光电子半导体本体,其中 n 导通层(1)具有 p 侧边缘区域(11),该 p 侧边缘区域与 n 侧封闭层(2)的 n 侧边缘区域(22)接界,并且 n 导通层(1)的 p 侧边缘区域(11)和 n 侧封闭层(2)的 n 侧边缘区域(22)用 n 掺杂物来掺杂。

8. 根据前述权利要求之一的光电子半导体本体,其中 n 侧封闭层(2)具有 p 侧边缘区域(21),该 p 侧边缘区域与层堆叠(3)或与单个的量子阱层(31)尤其是直接接界并且标称上未掺杂。

9. 根据前述权利要求之一的光电子半导体本体,其中 n 侧封闭层(2)具有大于或等于 10nm、尤其是大于或等于 50nm 的层厚度(d)。

10. 根据权利要求 7 的光电子半导体本体,其中 n 侧封闭层(2)的 p 侧边缘区域(21)具有大于或等于 10nm 的层厚度。

11. 根据前述权利要求之一的光电子半导体本体,其中半导体材料的第一成分由 In 构成,并且半导体材料的第二成分包含氮和由 Al 和 Ga 构成的组中的至少一种材料。

12. 根据权利要求 11 的光电子半导体本体,其中半导体材料是  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ , 其中  $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$  以及  $x+y \leq 1$ , 并且 n 侧封闭层中的由 In 构成的第一成分具有  $x \geq 0.05$  的份额。

13. 根据前述权利要求之一的光电子半导体本体,其中 n 导通层(1)不具有半导体材料的第一成分。

14. 根据权利要求 2 或权利要求 7 或在引用权利要求 7 情况下的权利要求 8 至 13 之一的光电子半导体本体,其中 n 掺杂物在 n 导通层(1)的 p 侧边缘区域(11)中和在 n 侧封闭层(2)的 n 侧边缘区域(22)中以大于或等于  $5 \times 10^{18}$  原子 /  $\text{cm}^3$  的浓度存在。

15. 根据前述权利要求之一的光电子半导体本体,其中第一成分的质量份额(x)在 n 侧封闭层(2)内、尤其是在 n 侧封闭层(2)的 n 侧边缘区域(22)内在远离 n 导通层(1)的方向上连续地或者分多个级地升高。

## 具有量子阱结构的光电子半导体本体

### 技术领域

[0001] 本申请涉及一种具有量子阱结构的光电子半导体本体。

### 发明内容

[0002] 本申请的任务是说明一种具有特别小的前向电压的光电子半导体本体。

[0003] 该任务通过根据独立权利要求的光电子半导体本体来解决。该半导体本体的有利构造型和扩展在从属权利要求中说明。权利要求的公开内容由此明确地通过回引结合到说明书中。

[0004] 说明一种光电子半导体本体。所述光电子半导体本体例如是发光二极管或激光二极管。半导体本体具有 n 导通层和 p 导通层,在它们之间布置有量子阱结构。该量子阱结构适宜地被设置用于生成辐射和 / 或用于接收电磁辐射,尤其是在紫外、可见和 / 或红外光谱范围中。

[0005] 所述量子阱结构可以是单重量子阱结构或者是多重量子阱结构。单重量子阱结构尤其是由以下元件构成:单个的量子阱层、n 侧封闭层(Abschlusschicht)和 p 侧封闭层。多重量子阱结构尤其是由以下元件构成:由多个量子阱层和至少一个阻挡层构成的层堆叠、n 侧封闭层和 p 侧封闭层。

[0006] 在层堆叠中,在每两个相继的量子阱层之间布置有与两个量子阱层接界的阻挡层。换句话说,层堆叠是量子阱层和阻挡层的交替序列,其中该堆叠在两侧上由量子阱层封闭。该层堆叠因此包含 n 个量子阱层和 n-1 个阻挡层,其中 n 是大于或等于 2 的自然数。在一个扩展中,量子阱层的数量 n 小于或等于 10。

[0007] 各自的阻挡层尤其是具有统一的材料组成。换句话说,各自阻挡层的材料组成在从接界的量子阱层之一至另一接界的量子阱层的过程中尤其是保持不变。具有统一材料组成的阻挡层尤其是不包含不同材料组成的片段序列。

[0008] 如果半导体本体具有多重量子阱结构,则 n 侧封闭层与层堆叠和 n 导通层交界。p 侧封闭层布置在层堆叠和 p 导通层之间并且与层堆叠交界。优选地,p 侧封闭层还与 p 导通层交界。

[0009] 换句话说,在半导体本体具有多重量子阱结构的情况下,层堆叠这样布置在 n 侧封闭层与 p 侧封闭层之间,使得在半导体本体的 n 侧的方向上来看,n 侧封闭层与层堆叠的第一量子阱层交界并且 p 侧封闭层与层堆叠的最后一个量子阱层交界。

[0010] 如果半导体本体具有单重量子阱结构,则 n 侧封闭层与单个的量子阱层和 n 导通层交界。p 侧封闭层布置在单个的量子阱层与 p 导通层之间并且与单个的量子阱层交界。优选地,p 侧封闭层还与 p 导通层交界。

[0011] 光电子半导体本体,尤其是至少量子阱结构、n 导通层和 p 导通层,包含由第一成分和与第一成分不同的第二成分组成的半导体材料。在此,不必半导体本体的所有层都包含半导体材料的第一成分。但是,优选地,该第一成分至少在一个 / 多个量子阱层、必要时在一个 / 多个阻挡层、n 侧封闭层和 p 侧封闭层中包含。第二成分的组成不必在半导体本

体的所有层中都相同。第二成分例如可以包含多种元素,这些元素的质量份额在半导体本体的不同层中的第二成分中是不同的。

[0012] 半导体材料例如是六边形的化合物半导体材料。六边形的化合物半导体材料具有六边形的晶格结构。所述六边形的化合物半导体材料例如是化学元素周期表的第二和第六主族元素的二价、三价和 / 或四价化合物。例如可以涉及以下的化合物之一: ZnO、ZnMgO、CdS、ZnCdS、MgBeO。替代地,六边形的化合物半导体材料可以是第三和第五主族元素的二价、三价和 / 或四价化合物,例如是氮化合物半导体材料。这可以例如是以下的半导体结构之一: Bn、AlGa<sub>x</sub>N、Ga<sub>x</sub>N、InAlGa<sub>x</sub>N。

[0013] 在此,半导体材料不必一定具有按照以上化学式之一的数学上精确的组成。更确切地说,该半导体材料可以具有一个或多个掺杂物以及附加的组分。但是出于简单的考虑,以上化学式仅仅包含晶格的主要组分,即使当这些组分可以部分地由少量其他物质替代时也是如此。

[0014] 半导体材料的第一成分的质量份额在量子阱层的每一个中比在 n 侧封闭层中、p 侧封闭层中以及可能层堆叠的一个或多个阻挡层中多。通过这种方式,尤其是实现了量子阱结构的带结构,其中量子阱层区域中的量子阱结构具有比在 n 侧封闭层、p 侧封闭层以及可能(一个或多个)阻挡层区域中小的带隙。在一个构型中,所有量子阱层中的第一成分的质量份额是同样大的。

[0015] 第一成分的质量份额在 n 侧封闭层中比在 n 导通层中大。在 p 侧封闭层中,第一成分的质量份额优选比在 p 导通层中大。

[0016] 例如在半导体本体包含六边形的化合物半导体材料的情况下——诸如在半导体本体基于 III/V 半导体材料系统 InAlGa<sub>x</sub>N、即 In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N (其中  $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$  以及  $x+y \leq 1$ ) 的情况下,在量子阱结构中出现压电场。该压电场是对于移动到量子阱结构中的载流子的具有能量的(energetisch)势垒。

[0017] 如果在第一成分的质量份额改变时——也就是说在这种情况下在 In 份额改变时——在半导体材料中形成应力,则所述载流子势垒尤其是由于极化的 Wurtzite 晶体结构而产生。

[0018] 发明人已经确定,在根据本申请的半导体本体的情况下,所述势垒是特别小的,从而半导体本体具有特别小的前向电压。例如该前向电压相对于其中 n 侧封闭层和 / 或 p 侧封闭层不包含半导体本体的第一成分的半导体本体而降低。即使相对于如下半导体本体——其中例如在 n 侧封闭层与层堆叠的第一量子阱层或单个的量子阱层之间布置有另一个层,前向电压也有利地降低,其中该另一个层比 n 侧封闭层包含较少质量份额的半导体材料第一成分。

[0019] 所述半导体本体在一个构型中在大于或等于 440nm、优选大于或等于 460nm、特别优选大于或等于 480nm 的波长下具有发射最大值。该发射最大值例如处于绿色光谱范围中。在一个构型中,发射最大值的波长小于或等于 1400nm。

[0020] 随着发射最大值的波长增加,(一个或多个)量子阱层的带隙降低,由此原则上前向电压也应当下降。但是为了使带隙减小,提高量子阱层或单个的量子阱层中半导体材料的第一成分的质量份额。在由 InAlGa<sub>x</sub>N 构成的传统发光二极管中,这导致载流子势垒的这样的提高,即前向电压几乎与发射波长无关。

[0021] 相反,当一个 / 多个量子阱层中的第一成分的质量份额是大的,则载流子势垒到在 n 导通层与 n 侧封闭层之间的过渡和在 n 侧封闭层与单个的量子阱层或第一量子阱层之间的过渡上的分布在根据本申请的半导体本体情况下起到特别有利的作用。用根据本申请的半导体本体可实现的前向电压的降低因此在波长较大的情况下是特别显著的。

[0022] 根据另一构型,一个或多个阻挡层中半导体材料的第一成分的质量份额如在 n 侧封闭层中那样大。根据一个扩展,替代地或附加地,一个或多个阻挡层中半导体材料的第一成分的质量份额至少如在 p 侧封闭层中那样大。

[0023] 第一成分的质量份额可以在 n 侧封闭层中和在 p 侧封闭层中同样大。还可以设想, n 侧封闭层中的第一成分的质量份额具有与在 p 侧封闭层中不同的值。一个 / 多个阻挡层中半导体材料的第一成分的质量份额优选至少如 n 侧封闭层中和 p 侧封闭层中的第一成分的质量份额中的较大质量份额那样大。

[0024] 一个或多个阻挡层中半导体材料的第一成分的质量份额例如具有这样的值,该值处于量子阱层中第一成分的质量份额与 n 侧封闭层中和 p 侧封闭层中第一成分的质量份额中较大质量份额之间。在另一构型中, n 侧封闭层中、一个或多个阻挡层中以及 p 侧封闭层中半导体材料的第一成分的质量份额同样大。

[0025] 在当前的上下文中,两个层中的第一成分的“同样大的质量份额”被理解为,这些层之间的第一成分的质量份额——尤其是在各自层的厚度上被平均的质量份额相差 5% 或更少。换句话说,两个层中第二层中的质量份额处在两个层中第一层中的质量份额的 0.95 倍与第一层中的质量份额的 1.05 倍之间。优选地,该质量份额相差 1% 或更少,特别优选地相差 0.5% 或更少。

[0026] 有利地,可以通过这种方式进一步减小前向电压。例如可以减小相对于以下半导体本体的前向电压,在该半导体本体中(一个或多个)阻挡层不包含半导体本体的第一成分,或者该半导体本体在两个相继的量子阱层之间具有多个阻挡层,这些阻挡层具有不同的第一成分份额。

[0027] 根据一个构型, n 导通层具有 p 侧边缘区域并且 n 侧封闭层具有 n 侧边缘区域。 n 导通层的 p 侧边缘区域和 n 侧封闭层的 n 侧边缘区域彼此接界。它们尤其是具有共同的界面。 n 导通层的 p 侧边缘区域和 n 侧封闭层的 n 侧边缘区域例如用 n 掺杂物来掺杂。所述 n 掺杂物例如是硅。 n 掺杂物在 n 侧封闭层的 n 侧边缘区域下方的 n 导通层的 p 侧边缘区域中例如以大于或等于  $5 \times 10^{18}$  原子 /  $\text{cm}^3$  的浓度存在。 n 掺杂物的浓度例如在  $5 \times 10^{18}$  原子 /  $\text{cm}^3$  与  $5 \times 10^{19}$  原子 /  $\text{cm}^3$  之间,其中这些边界是包含在内的。借助于 n 掺杂物,尤其是在 n 导通层与 n 侧封闭层之间构造的压电势垒有利地降低,从而半导体本体的前向电压进一步减小。

[0028] 在另一构型中, n 侧封闭层具有 p 侧边缘区域,该 p 侧边缘区域与单个的量子阱层或与层堆叠接界——尤其是与第一量子阱层具有共同的界面——并且标称上未掺杂。通过这种方式,减小了 n 掺杂物损害量子阱结构的发射特性和 / 或辐射接收特性的风险。

[0029] 边缘区域“标称上未掺杂”在当前的上下文中被理解为,该边缘区域未被掺杂或者被少量地 n 掺杂。在此,“少量地 n 掺杂”表示, n 掺杂物的浓度是如 n 掺杂区域中、尤其是 n 侧封闭层的 n 掺杂的边缘区域中的 n 掺杂物浓度的最高 0.1 倍那样多、优选最高 0.05 倍那样多并且尤其是最高 0.01 倍那样多。例如,标称上未掺杂区域中的 n 掺杂物浓度小于或

等于  $1 \times 10^{18}$  原子 /  $\text{cm}^3$ 、优选小于或等于  $5 \times 10^{17}$  原子 /  $\text{cm}^3$ 、尤其是小于或等于  $1 \times 10^{17}$  原子 /  $\text{cm}^3$ 。

[0030] 在一个构型中，n 侧封闭层具有大于或等于 10nm、例如大于或等于 50nm 的层厚度。在一个扩展中，p 侧边缘区域具有大于或等于 10nm、优选大于或等于 50nm 的层厚度。这种层厚度对于前向电压的降低是特别有利的。

[0031] 在一个扩展中，n 侧封闭层具有小于或等于 120nm 的层厚度。在 n 侧封闭层的层厚度较大的情况下，提高了在制造量子阱结构时不能实现令人满意的晶体质量的风险。

[0032] 在一个构型中，半导体材料的第一成分由 In 构成。半导体材料的第二成分例如由氮和由 Al 和 Ga 构成的组中的至少一种材料构成。所述半导体材料例如是  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 。由 In 构成的第一成分例如在 n 侧封闭层中具有  $x \geq 0.05$  的份额。份额 x 尤其是对应于 In 的物质质量份额或者是至少与其成比例。

[0033] 在一个构型中，n 导通层不包含半导体材料的第一成分。在另一构型中，p 导通层不包含半导体材料的第一成分。在这些构型中，n 导通层和 / 或 p 导通层尤其是由半导体材料的第二成分构成。

[0034] 在另一构型中，所述半导体材料的第一成分的物质质量份额在 n 侧封闭层的 n 侧边缘区域内在从 n 导通层通向层堆叠——或在单重量子阱结构的情况下通向单个量子阱层——的方向上连续地或者分多个级地升高。所述压电势垒通过这种方式特别弱地构造，从而可实现的前向电压是特别小的。

## 附图说明

[0035] 光电子半导体本体的其他优点以及有利的构型和扩展从下面的、结合附图描述的实施例中得到。

[0036] 图 1A 示出穿过根据第一实施例的光电子半导体本体的示意性横截面图，

图 1B 示出根据图 1A 的实施例的半导体本体中的半导体材料第一成分的份额的示意性表示，

图 2A 示出穿过根据第二实施例的光电子半导体本体的示意性横截面图，

图 2B 示出根据图 2B 的光电子半导体本体中的半导体材料第一成分的份额的示意性表示，以及

图 3 示出根据第一实施例的光电子半导体本体的与 n 侧封闭层的层厚度有关的前向电压。

## 具体实施方式

[0037] 在实施例和附图中，相同或相似的元件以及起相似作用的元件配备有相同的附图标记。附图不应视作是比例正确的。更确切地说，各个元件、例如层可以夸大地、尤其是夸张地厚地示出，以利于理解和 / 或可表示性。

[0038] 图 1A 示出穿过根据第一实施例的光电子半导体本体的示意性横截面图。

[0039] 该光电子半导体本体由半导体材料  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  构成。该光电子半导体本体包含 n 导通层 1，该 n 导通层 1 当前是用硅作为 n 掺杂物来掺杂的 GaN 层。在与 n 导通层 1 相对的侧上，该半导体本体具有 p 导通层 5。

[0040] 该 p 导通层 5 在当前的实施例中具有多层结构。在远离 n 导通层 1 的方向上,该 p 导通层 5 首先具有未掺杂的 GaN 层 51。该未掺杂的 GaN 层 51 与 p 掺杂的 AlGaIn 层 52 交界。在 p 掺杂的 AlGaIn 层 52 的背向 n 导通层 1 的侧上施加有 p 掺杂的 GaN 层 53。p 掺杂的 AlGaIn 层 52 和 / 或 p 掺杂的 GaN 层 53 例如用镁作为 p 掺杂物来掺杂。但是,n 导通层 5 的构造不限于该多层结构。

[0041] 在 n 导通层 1 与 p 导通层 5 之间布置有多重量子阱结构。该多重量子阱结构由 n 侧封闭层 2、层堆叠 3 和 p 侧封闭层 4 构成。

[0042] n 侧封闭层 2 在背向层堆叠 3 的侧与 n 导通层 1 交界。p 侧封闭层 4 在背向层堆叠 3 的侧与 n 导通层 5、当前是 GaN 层 51 交界。

[0043] 层堆叠 3 当前由三个量子阱层 31 和两个阻挡层 32 构成。但是,该层堆叠还可以包含其他数量 n 的量子阱层 31,即  $n=2$  或  $n \geq 4$ 。于是,层堆叠包含  $n-1$  个阻挡层 32。

[0044] 在 n 导通层 1 至 p 导通层 5 的方向上,量子阱层 31 和阻挡层 32 分别交替地相继跟随。层堆叠 3 在通向 n 导通层 1 的方向上和通向 p 导通层 5 的方向上分别由量子阱层 31 封闭。

[0045] 通过这种方式,在每两个相继的量子阱层 31 之间恰好布置有一个阻挡层 32。阻挡层 32 在 n 侧上、即在通向 n 导通层 1 的方向上与两个相继的量子阱层 31 中的第一个交界。阻挡层 32 在 p 侧上、即在通向 p 导通层 5 的方向上与两个相继的量子阱层 31 中的第二个交界。

[0046] n 侧封闭层 2 在 p 侧上与层堆叠 3 的第一个量子阱层 31 交界。P 侧封闭层 4 在 n 侧上与层堆叠 3 的最后一个量子阱层 31 交界。

[0047] 还可以设想,光电子半导体本体替代于层堆叠 3 而包含单个的量子阱层 31。在这种情况下,该单个的量子阱层具有例如 5nm 或更大、优选 10nm 或更大的层厚度。如果半导体本体包含单个的量子阱层 31,则尤其是 n 侧封闭层 2 在 p 侧上并且 p 侧封闭层 4 在 n 侧上与该单个的量子阱层 31 交界。半导体本体在这种情况下尤其是不包含在封闭层 2、4 与单个的量子阱层 31 之间的阻挡层 32。

[0048] 图 1B 示出半导体本体的半导体材料的由 In 构成的第一成分的份额 x 与在半导体本体中的位置 H 的关系。位置 H 在此尤其是说明,在从 n 导通层 1 向 p 导通层 5 看的方向上距 n 导通层 1 的 n 侧主面的距离。图 1A 和 1B 关于位置 H 等比例地绘制,从而图 1B 中 H 轴上的每个位置都对应于图 1A 的层构造中相同高度处的水平面。

[0049] 半导体材料的由 In 构成的第一成分的份额 x 在量子阱层 31 中比在阻挡层 32、n 侧封闭层 2 和 p 侧封闭层 4 中大。n 导通层 1 和 p 导通层 5 当前——至少标称上——不包含 In。

[0050] 半导体材料的由 In 构成的第一成分的份额 x 在 n 侧封闭层 2、阻挡层 32 和 p 侧封闭层 4 中同样高。该成分 x 例如为  $0.05 \leq x \leq 0.25$ ,例如  $x=0.05$ 。

[0051] In 份额 x 在 n 导通层 1 与 n 侧封闭层 2 之间的界面处的变化在那里由于压电场而引起具有第一能量的载流子势垒。通过这种方式,在 n 侧封闭层 2 与第一量子阱层 31 之间的界面处存在具有第二能量的势垒。

[0052] 与本专业常见的光电子半导体本体不同,借助于 n 侧封闭层,In 份额已经在第一量子阱层 31 的 n 侧上有所提高。该 In 份额在 n 侧封闭层 32 与第一量子阱层之间也不会再



次降低。因此,在 n 侧封闭层 2 与层堆叠 3 的第一量子阱层 31 之间,铟份额 x 的跳跃在当前的半导体本体情况下是比较小的。

[0053] 由于在 n 导通层 1 和 n 侧封闭层 2 之间界面处的第一势垒与 n 侧封闭层 2 和第一量子阱层 31 之间界面处的第二势垒之间的空间分隔,要由载流子从 n 导通层 1 直至第一量子阱层 31 克服的整个势垒是特别小的。类似地,这种情况也适用于层堆叠 3 的 p 侧处的、在与 p 侧封闭层 4 接界的最后一个量子阱层 31 与 p 侧封闭层 4 和 p 导通层 5 之间的界面之间的载流子势垒。

[0054] 在该实施例的一个变型中,份额 x 在阻挡层 32 中比在 n 侧封闭层 2 中并且比在 p 侧封闭层 4 中大。这在图 1B 中用虚线 7 表明。通过这种方式,可以在各个量子阱层 31 上实现特别有利的、尤其是特别均匀的载流子分布。尤其是可以实现各个量子阱层 31 之间的特别小的压电势垒。

[0055] 发明人已经确定,当阻挡层 32 中的铟份额 x 至少如在 n 侧封闭层 2 中和在 p 导通封闭层 4 中那样大,例如当铟份额 x 在 n 侧封闭层 2 中、在 p 导通封闭层 4 中和在阻挡层 32 中同样大时,可实现的前向电压是特别小的。在相继的、例如具有较小铟含量或者不具有铟的量子阱层 31 之间的附加阻挡层将会不利地提高半导体本体的前向电压。

[0056] 发明人已经确定,前向电压  $U_f$  随着 n 侧封闭层 2 的厚度 d 增加而降低。这对于在波长为 480nm 时以发射最大值来发射电磁辐射的光电子半导体本体来说在图 3 中示例性示出。

[0057] 前向电压  $U_f$  从在 n 侧封闭层 2 的层厚度 d 为 20nm 时的 2.88V 一直下降到层厚度 d 约为 115nm 时的 2.80V 的前向电压  $U_f$ 。具有发射最大值的相同波长的传统 InAlGaIn 半导体本体具有约为 3.0V 至 3.3V 的前向电压。

[0058] 层厚度 d 优选小于或等于 120nm,优选小于或等于 100nm。发明人已经确定,在 n 侧封闭层 2 的层厚度 d 较大的情况下,多重量子阱结构的晶体质量受到损害的风险升高。

[0059] 与图 1A 和 1B 中的第一实施例的图示类似,图 2A 和 2B 示出穿过根据第二实施例的光电子半导体本体的示意性横截面图以及与在半导体本体中的位置 H 有关的铟份额 x。

[0060] 根据第二实施例的半导体本体与第一实施例的半导体本体的区别在于,n 侧封闭层 2 具有用诸如硅的 n 掺杂物掺杂的 n 侧边缘区域 22 并且具有标称上未掺杂的 p 侧边缘区域 21。

[0061] 该标称上未掺杂的 p 侧边缘区域 21 与层堆叠 3 的第一量子阱层 31 接界。n 侧边缘区域 22 布置在 n 侧封闭层 2 的背向层堆叠 3 的侧上并且与 n 导通层 1 的 p 侧边缘区域 11 接界。

[0062] n 导通层 2 的 p 侧边缘区域 11 同样用 n 掺杂物、例如硅来 n 掺杂。当前,例如在第一实施例中,整个 n 导通层 1 用硅作为 n 掺杂物来掺杂。

[0063] 在 n 导通层 1 的 p 侧边缘区域 11 和 n 侧封闭层 2 的 n 侧边缘区域 22 中,n 掺杂物以  $5 \times 10^{18}$  原子/cm<sup>3</sup> 与  $5 \times 10^{19}$  原子/cm<sup>3</sup> 之间的浓度存在,其中这些边界是包含在内的。

[0064] 发明人已经确定,借助于 n 侧封闭层 2 的 n 侧边缘区域 22 的 n 掺杂,具有能量的载流子势垒可以在 n 导通层 1 与 n 侧封闭层 2 之间的界面处、即当前在 n 导通层 1 的 p 侧边缘区域 11 与 n 侧封闭层 2 的 n 侧边缘区域 22 之间的界面处被有利地进一步减小。例如在这样的光电子半导体本体的情况下——其中 n 侧封闭层 2 具有 d=20nm 的层厚度并且该

光电子半导体本体在 480nm 的波长下具有发射最大值(相应于 2.58 电子伏特的能隙),与第一实施例相比,前向电压  $U_f$  可以从 2.88V 减小到例如 2.83V。

[0065] 在该实施例的一个变型中,在 n 侧封闭层 2 的 n 掺杂的 n 侧边缘区域 22 内,铟份额 x 在从 n 导通层 1 通向层堆叠 3 的方向上连续升高,如在图 2B 中通过点状线 6 表明的那样。通过这种方式,可以进一步减小具有能量的载流子势垒。

[0066] 本专利申请要求德国专利申请 102009034588.4 和 102009040438.4 的优先权,它们的公开内容通过回引结合于此。

[0067] 本发明不由于根据实施例的描述而限制于这些实施例。更确切地说,本发明包括每种新的特征以及特征的每种组合,即使当该特征或该组合未在实施例或权利要求中明确说明时也是如此。

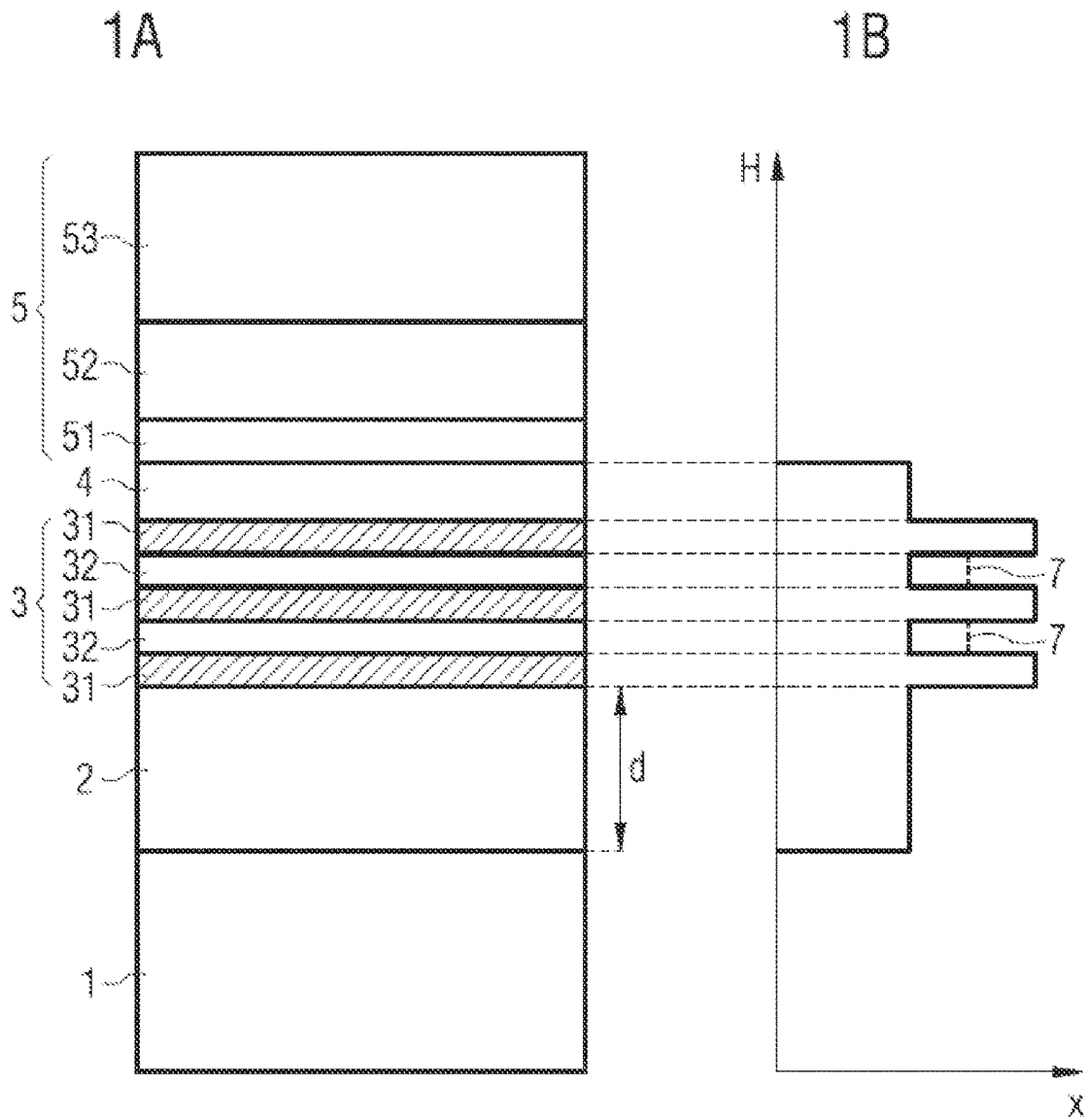


图 1

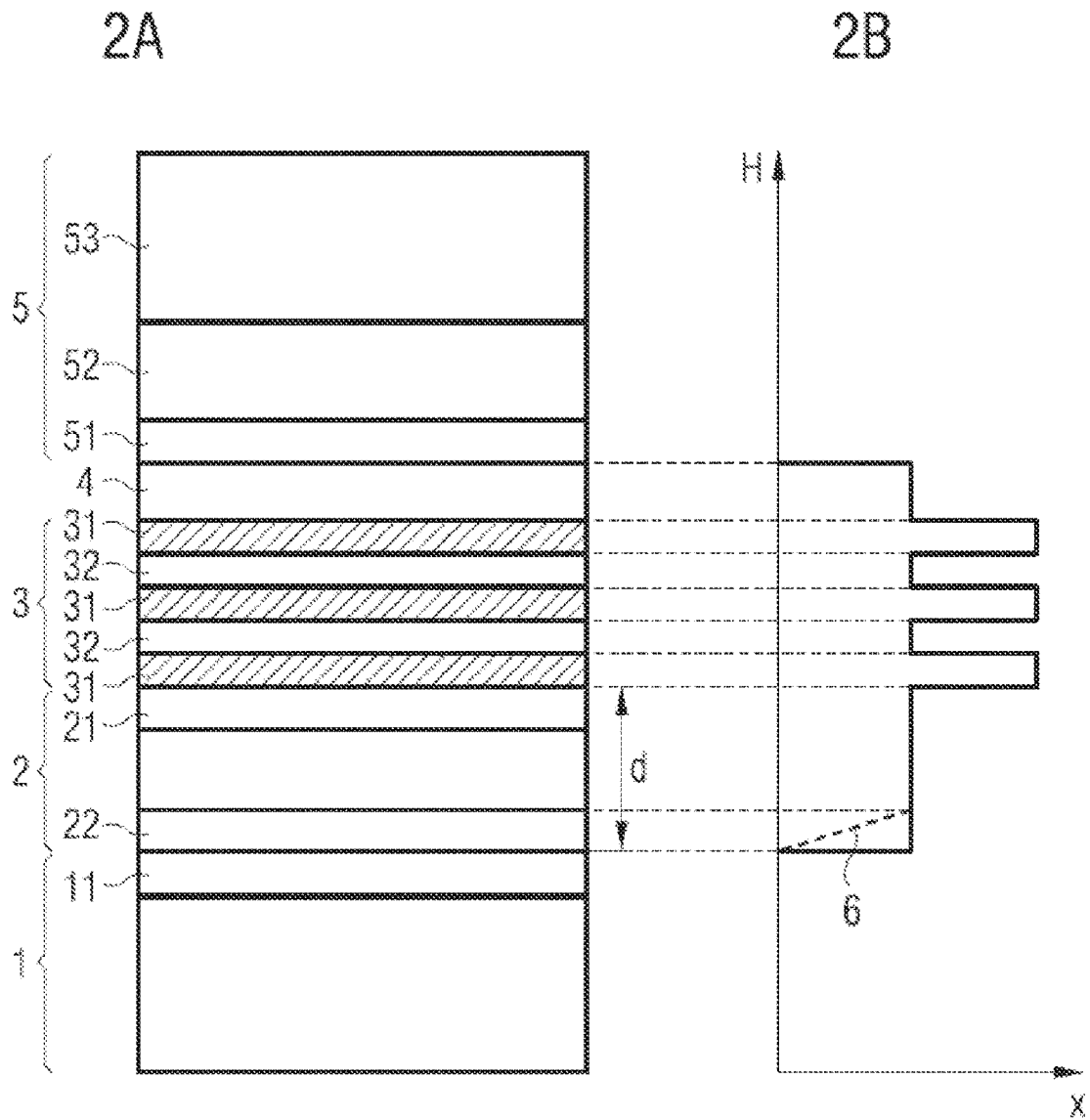


图 2A

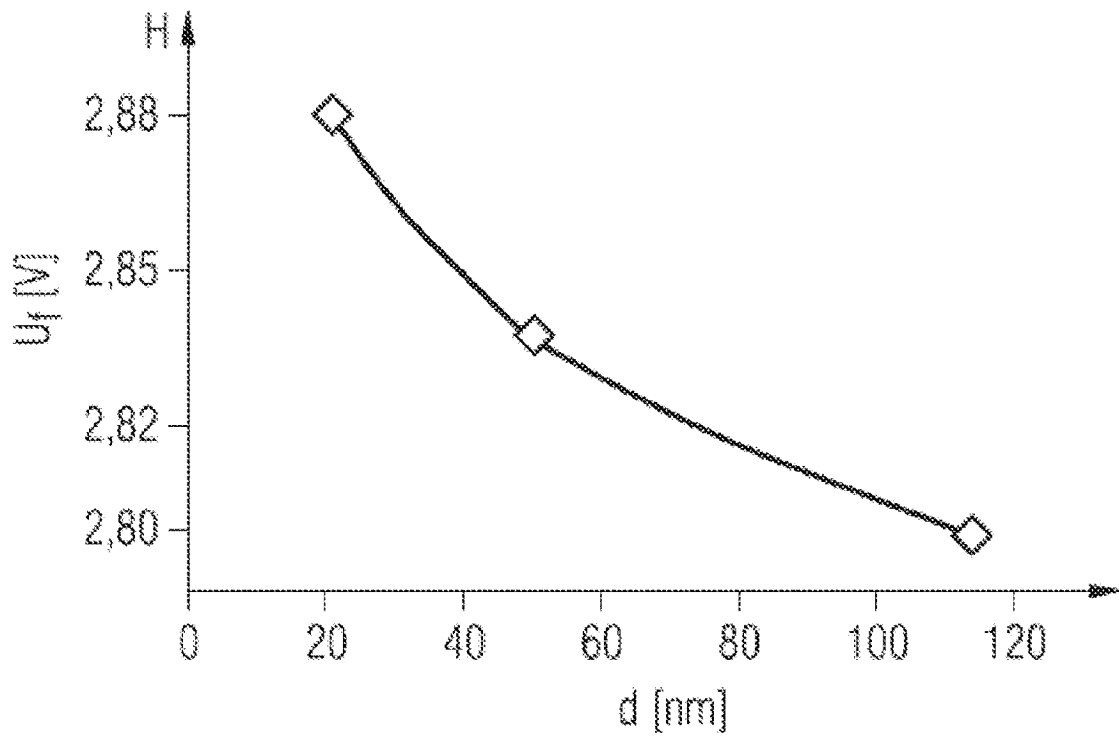


图 3