



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102369606 B

(45) 授权公告日 2014. 10. 01

(21) 申请号 201080014639. 5

代理人 许伟群 郭放

(22) 申请日 2010. 03. 10

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

H01L 33/32 (2006. 01)

102009015569. 4 2009. 03. 30 DE

H01L 33/06 (2006. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

(56) 对比文件

2011. 09. 29

JP 特开 2004-356256 A, 2004. 12. 16,

(86) PCT国际申请的申请数据

JP 特开 2004-356256 A, 2004. 12. 16,

PCT/EP2010/053047 2010. 03. 10

US 2008/0217632 A1, 2008. 09. 11,

(87) PCT国际申请的公布数据

审查员 裴亚芳

W02010/112310 DE 2010. 10. 07

(73) 专利权人 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 阿德里恩·斯蒂芬·阿朗姆梅斯科
迪泽尔·科尤恩
克里斯托夫·艾克勒
马蒂亚斯·扎巴蒂尔
斯蒂芬·鲁特格恩 尤伟·斯特劳斯

(74) 专利代理机构 北京弘权知识产权代理事务
所(普通合伙) 11363

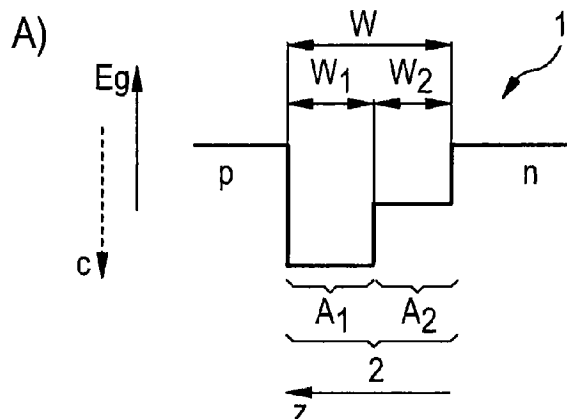
权利要求书2页 说明书8页 附图10页

(54) 发明名称

光电子半导体芯片

(57) 摘要

在光电子半导体芯片 (1) 的至少一个实施形式中, 该光电子半导体芯片基于氮化物材料系并且包括至少一个有源量子阱 (2)。所述至少一个有源量子阱 (2) 构建为在工作中产生电磁辐射。此外, 所述至少一个有源量子阱 (2) 在平行于半导体芯片 (1) 的生长方向 z 的方向上具有 N 个相继的区域 (A), 其中 N 是大于或等于 2 的自然数。区域 (A) 中的至少两个具有彼此不同的平均镝含量 c 。



1. 一种光电子半导体芯片 (1), 其基于氮化物材料系, 所述光电子半导体芯片具有至少一个有源量子阱 (2), 其中

- 在工作中在有源量子阱 (2) 中产生电磁辐射,
- 有源量子阱 (2) 在平行于半导体芯片 (1) 的生长方向 z 的方向上具有 N 个相继的区域 (A), 并且 N 是大于 3 的自然数,
- 所述区域 (A) 中的至少三个具有彼此不同的平均铟含量 c , 并且
- 有源量子阱 (2) 满足如下条件:

$$40 \leq \sum_{i=1}^N c_i w_i - 2.5N - 1.5 \sum_{i=1}^N w_i \leq 80,$$

其中 c_i 是第 i 区域 (A) 的平均铟含量, 而 w_i 是第 i 区域 (A) 的宽度, 并且所述区域 (A) 在平行于生长方向 z 的方向上连续编号;

其中铟含量 c 在所述至少一个有源量子阱 (2) 的区域 (A) 内分别是恒定的, 其中铟含量 c 无量纲地以百分比来说明, w 无量纲地以纳米为单位来说明;

其中在平行于生长方向 z 的方向上并且从半导体芯片 (1) 的 p 连接侧 (p) 到 n 连接侧 (n), 对于所述区域 (A) 的至少一部分的平均铟含量适用:

$$c_i < c_{i+1} \text{ 并且 } c_{i+1} > c_{i+2}, \text{ 并且还有 } c_i < c_{i+2},$$

其中同样在平行于生长方向 z 的方向上并且从半导体芯片 (1) 的 p 连接侧 (p) 到 n 连接侧 (n), 对于所述区域 (A) 的至少一部分的平均铟含量适用:

$$c_j > c_{j+1} \text{ 并且 } c_{j+2} > c_{j+1} \text{ 并且 } c_j > c_{j+2},$$

其中 c_j 是第 j 区域 (A) 的平均铟含量, $j \neq i$, 并且

其中所述区域 (A) 在平行于生长方向 z 的方向上连续地编号。

2. 根据权利要求 1 所述的光电子半导体芯片 (1), 其中 N 在 3 到 10 之间, 包括端值 10, 并且其中有源量子阱 (2) 的总宽度 (W) 在 0.25nm 到 12nm 之间, 包括端值。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的光电子半导体芯片 (1), 所述光电子半导体芯片在平行于生长方向 z 的方向上具有在 2 个到 5 个之间的有源量子阱, 其中包括端值。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的光电子半导体芯片 (1), 所述光电子半导体芯片包括至少两个无源量子阱 (3), 其中无源量子阱 (3) 的铟含量分别小于所述至少一个有源量子阱 (2) 的最高铟含量。

5. 根据权利要求 3 所述的光电子半导体芯片 (1), 其中在至少两个相邻的有源量子阱 (2) 之间存在至少一个无源量子阱 (3)。

6. 根据权利要求 4 所述的光电子半导体芯片 (1), 其中所述光电子半导体芯片在平行于生长方向 z 的方向上具有在 2 个到 5 个之间的有源量子阱 (2), 其中包括端值; 其中在至少两个相邻的有源量子阱 (2) 之间存在至少一个无源量子阱 (3)。

7. 根据权利要求 1 或 2 所述的光电子半导体芯片 (1), 所述光电子半导体芯片包括至少两个波导层 (4), 其中所述至少一个有源量子阱 (2) 在波导层 (4) 之间, 并且其中所述波导层 (4) 中的至少一个包含至少一个载流子势垒层 (5)。

8. 根据权利要求 1 或 2 所述的光电子半导体芯片 (1), 所述光电子半导体芯片构建用于产生激光辐射。

9. 根据权利要求 1 或 2 所述的光电子半导体芯片 (1), 所述光电子半导体芯片构建为

用于产生在 430nm 到 540nm 之间的电磁辐射,其中包括端值。

光电子半导体芯片

[0001] 提出了一种光电子半导体芯片。

[0002] 出版物 US 6,849,881B1 涉及一种带有多量子阱结构的光电子半导体器件。

[0003] 一个要解决的任务在于提出带有量子阱结构的光电子半导体芯片,该半导体芯片在工作中以高效率产生辐射。

[0004] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式,该光电子半导体芯片基于氮化物材料系。换言之,半导体材料的一种组分是氮,半导体芯片借助该半导体材料来制造。材料系于是例如是 III-氮化物半导体材料。例如,半导体芯片基于 AlGa_N、Ga_N、InGa_N 或 InAlGa_N。

[0005] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式,该半导体芯片外延地生长。通过外延生长限定了生长方向 z 。

[0006] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式,该光电子半导体芯片包括至少一个有源量子阱。表述“量子阱”在此并未包含关于量子化维度的含义,量子阱因此可以是零维的量子点、一维的量子线或多维的量子盆或这些结构的任意组合。

[0007] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式,在半导体芯片工作中在至少一个有源量子阱中产生电磁辐射。电磁辐射的波长优选在 200nm 到 3000nm 之间的光谱范围中,尤其是在 360nm 到 540nm 之间的光谱范围中,其中包括端值。

[0008] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式,所述至少一个有源量子阱在平行于半导体芯片的生长方向 z 的方向上具有 N 个相继的区域。 N 在此情况下是大于或等于 2 的自然数。换言之,所述至少一个量子阱包含至少两个相邻设置的、相继生长的区域。

[0009] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式,区域中的至少两个具有彼此不同的平均镉含量 C 。也就是说,在有源量子阱内镉含量有目的地变化。

[0010] 根据半导体芯片的至少一个实施形式,有源量子阱满足如下条件:

$$[0011] \quad 40 \leq \int c(z) dz - 2.5N - 1.5 \int dz \leq 80$$

[0012] 所述至少一个有源量子阱满足上述条件意味着,参数镉含量 c 、区域的数目 N 和区域以及有源量子阱在平行于生长方向 z 的方向上的伸展选择为:使得关于在有源量子阱内沿着生长方向 z 的镉含量 c 的积分减去区域数目 N 的 2.5 倍并且减去有源量子阱在平行于生长方向 z 的方向上的伸展的 1.5 倍在 40 到 80 之间(包括端值)、优选在 50 到 70 之间(包括端值)。

[0013] 镉含量在此情况下表示:非氮晶格位置的一部分通过镉原子替换。镉含量 c 在上述条件的情况下无量纲地以百分比来说明。也就是说, c 具有在 0 到 100 之间(包括端值)的无量纲数值。区域数目 N 同样无量纲地使用在上述条件中, z 同样无量纲并且对应于沿着平行于生长方向 z 的方向以纳米为单位的坐标。

[0014] 在光电子半导体芯片的至少一个实施形式中,该光电子半导体芯片基于氮化物材料系并且包括至少一个有源量子阱。所述至少一个有源量子阱为此构建为在工作中产生电磁辐射。此外,所述至少一个有源量子阱在平行于半导体芯片的生长方向 z 的方向上具有 N 个相继的区域,其中 N 是大于或等于 2 的自然数。有源量子阱的区域中的至少两个具有彼此不同的平均镉含量 c 。此外,所述至少一个有源量子阱满足条件:

[0015] $40 \leq \int c(z) dz - 2.5N - 1.5 \int dz \leq 80$,

[0016] 尤其是

[0017] $50 \leq \int c(z) dz - 2.5N - 1.5 \int dz \leq 70$ 。

[0018] 这种有源量子阱关于沿着生长方向的铟含量方面至少分区段地具有阶梯状的和 / 或斜坡状的形式。通过有源量子阱的该斜坡状和 / 或阶梯状的结构, 可以提高在价带和导带中的波函数的交叠。提高的波函数的交叠会导致半导体芯片的效率提高。

[0019] 此外, 可以提高载流子俘获率。换言之, 载流子 (例如电子) 在有源量子阱中被以高概率俘获并且可以用于复合以发射辐射。通过借助在带边缘的区域中的一个或多个阶梯形成异质边界, 可以产生局部的边界面电荷。通过这些局部的边界面电荷, 可以附加地降低压电场, 由此同样可以提高半导体芯片产生辐射的效率。

[0020] 上述关于量子阱的参数条件尤其在区域的厚度方面和在其铟含量方面说明了用于构建有源量子阱的参数范围, 通过该参数范围可以实现半导体芯片产生辐射时的令人惊讶的高效率并且由此特别高的性能。

[0021] 项 $\int c(z) dz - 2.5N - 1.5 \int dz$ 可以取的值域在该情况下没有原则上的限制。例如, 该项对于传统的有源量子阱而言可以超过 200 或小于 0。

[0022] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式, 所述至少一个有源量子阱满足如下条件:

[0023] $40 \leq \sum_{i=1}^N c_i w_i - 2.5N - 1.5 \sum_{i=1}^N w_i \leq 80$,

[0024] 优选地

[0025] $50 \leq \sum_{i=1}^N c_i w_i - 2.5N - 1.5 \sum_{i=1}^N w_i \leq 70$ 。

[0026] c_i 在此情况下是所述至少一个有源量子阱的第 i 区域的平均铟含量而 w_i 是所述至少一个有源量子阱的第 i 区域的宽度。量子阱的区域在此情况下在平行于半导体芯片的生长方向 z 的方向上连续地编号。区域的编号于是可以顺着生长方向或逆着生长方向变化。

[0027] 例如, 有源量子阱的区域是如下区域: 在该区域中铟含量沿着生长方向 z 局部地与关于整个区域平均的铟含量偏差最多 30%、优选最多 15%。换言之, 例如铟含量的明显的阶梯状的升高或下降形成在相邻区域之间的边界或边界区域。

[0028] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式, 在考虑到制造公差的情况下, 铟含量 c 在所述至少一个有源量子阱的区域内分别是恒定的。例如, 恒定可以表示: 在区域内的铟含量 c 表现出与平均值偏差最多 2 个百分点、尤其是最多 1 个百分点。表述“恒定”例如并不排除的是, 在铟含量的沿着平行于生长方向的方向上的变化曲线中, 阶梯边可以具有倒圆的形状。换言之, 铟含量的变化曲线可以通过阶梯函数来近似。

[0029] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式, 所述至少一个有源量子阱具有至少三个区域。换言之, N 大于或等于 3。尤其是, 至少三个区域、优选所有区域分别具有不同的平均铟含量。

[0030] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式, 该半导体芯片具有 p 连接侧和 n 连接侧。在半导体芯片的 p 连接侧上例如存在 p 掺杂的半导体材料, 而在 n 连接侧上存在 n 掺杂的半导体材料。半导体芯片可以通过连接侧优选电接触。

[0031] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式,对于这些区域中的至少一部分的平均镓含量 c 适用:

[0032] $c_i < c_{i+1}$ 且 $c_{i+1} > c_{i+2}$ 。

[0033] 这些区域在此情况下平行于生长方向尤其是从 p 连接侧朝着 n 连接侧连续地编号。优选地, $i = 1$ 。换言之,有源量子阱具有带有高镓含量的中央区域,该区域在两侧被具有降低的镓含量的区域围绕。

[0034] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式,还适用的是, $c_i < c_{i+2}$ 。换言之,有源量子阱具有带有高镓含量的中央区域。比中央区域更靠近 p 连接侧的区域具有比更靠近 n 连接侧的区域更小的镓含量。

[0035] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式,在从 p 连接侧朝着 n 连接侧的方向上,对于区域的至少一部分的平均镓含量适用于:

[0036] $c_i > c_{i+1}$ 且 $c_{i+2} > c_{i+1}$ 且 $c_i > c_{i+2}$ 。

[0037] 换言之,区域 $i+1$ 被具有更高的镓含量的两个区域围绕。区域 $i+1$ 例如是量子阱轮廓中的中间势垒。优选的是, $i = 1$ 或者 $i = 2$ 。

[0038] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式,镓含量 c 在平行于生长方向 z 的方向上单调地增加。换言之,有源量子阱具有带有最高镓含量的区域,尤其是 $i = 1$,并且从该区域出发,镓含量在平行于生长方向 z 的方向上在制造公差的范围范围内单调增大。也就是说,例如针对每个区域 i (其中 1 小于等于 i 小于等于 $N-1$) 适用: $c_i \geq c_{i+1}$,优选 $c_i > c_{i+1}$ 。尤其是,这种半导体芯片不具有中间势垒。

[0039] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式,所述至少一个有源量子阱包括三个到十个之间的区域,其中包括端值。换言之,适用: $3 \leq N \leq 10$,优选 $3 \leq N \leq 6$ 。

[0040] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式,有源量子阱的总宽度在 0.25nm 到 12nm 之间 (包括端值)、尤其是在 0.5nm 到 10nm 之间 (包括端值)、优选在 3.5nm 到 8nm 之间 (包括端值)。

[0041] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式,所述至少一个有源量子阱的区域的的一部分或全部,对于宽度 w 适用:

[0042] $w_i > w_{i+1}$ 且 $w_{i+2} > w_{i+1}$ 。

[0043] 换言之,具有较小的宽度的区域处于较大宽度的两个区域之间。尤其是,在此情况下,区域 w_i 是具有有源量子阱的最高平均镓含量的区域。优选为 $i = 1$ 或 $i = 2$ 。

[0044] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式,关于有源量子阱的区域的至少一部分的宽度 w 方面适用:

[0045] $w_i < w_{i+1}$ 且 $w_i < w_{i+2}$ 。

[0046] 优选地,在此情况下区域 $i+1$ 是具有最高的镓含量的区域。也就是说优选 $i = 1$ 。此外,尤其是可以适用的是 $w_{i+1} > w_{i+2}$ 。

[0047] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式,在平行于有源量子阱的所述至少一个中间势垒的生长方向 z 的方向上的宽度小于所述至少一个有源量子阱的其他区域的最小宽度。换言之,中间势垒薄地构建。尤其是,中间势垒具有在 0.25nm 到 1.25nm 之间 (包括端值) 的沿着生长方向的厚度。

[0048] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式,这些区域的厚度除了可能存在的中

间势垒的厚度之外在 1.5nm 到 4nm 之间（包括端值）、尤其是在 1.75nm 到 3nm 之间（包括端值）。

[0049] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式，具有最高铟含量的区域的铟含量在 15% 到 50% 之间（包括端值）。

[0050] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式，与具有最高铟含量的区域相邻的至少一个区域的铟含量为所述具有最高铟含量的区域的平均铟含量的 30% 到 80% 之间（包括端值）、尤其是在 40% 到 60% 之间（包括端值）。

[0051] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式，对于至少一个第 i 区域（其中优选 $i = 2$ 或 $i > 2$ ）的平均铟含量适用：

$$[0052] \quad 0.35c_{i-1} \leq c_i \leq 0.65c_{i-1},$$

[0053] 尤其是

$$[0054] \quad 0.4c_{i-1} \leq c_i \leq 0.60c_{i-1},$$

[0055] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式，该半导体芯片在平行于生长方向 z 的方向上包括在 2 个到 5 个之间（包括端值）的有源量子阱。换言之，半导体芯片具有多量子阱结构。

[0056] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式，该光电子半导体芯片包括至少一个无源量子阱。无源量子阱的平均铟含量在此情况下小于所述至少一个有源量子阱的具有最高平均铟含量的区域的平均铟含量。

[0057] 无源在此情况下尤其是表示：无源量子阱并不构建用于产生辐射。在半导体芯片工作中，于是在所述至少一个无源量子阱中没有产生发射辐射或者仅仅产生少得可忽略的量的发射辐射。优选地，在无源量子阱中产生的辐射比例小于 10%，尤其是小于 2%。

[0058] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式，沿着平行于生长方向 z 的方向，无源量子阱的厚度小于有源量子阱的厚度。优选地，无源量子阱的厚度最大为有源量子阱的厚度的 75%。

[0059] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式，该光电子半导体芯片包括至少两个无源量子阱，其包围所述至少一个有源量子阱。

[0060] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式，在两个相邻的有源量子阱之间存在至少一个无源量子阱，尤其是一个到五个之间（包括端值）的无源量子阱。优选地，在 p 连接侧与最靠近 p 连接侧的有源量子阱之间存在至少一个无源量子阱、尤其是一个到五个之间（包括端值）的无源量子阱。相应地也适用于最靠近 n 连接侧的有源量子阱。

[0061] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式，该光电子半导体芯片具有至少两个波导层，其中至少一个有源量子阱、尤其是所有有源量子阱在波导层之间。换言之，所述至少一个有源量子阱被波导层包围。

[0062] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式，波导层中的至少一个包含一个或多个载流子势垒层。载流子势垒层例如是电子势垒层，其引入在 p 连接侧的波导层中。载流子势垒层可以具有提高的 Al 含量以及在 0.25nm 到 20nm 之间（包括端值）的小厚度。

[0063] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式，该光电子半导体芯片构建用于产生激光辐射。换言之，半导体芯片是激光器芯片。

[0064] 根据光电子半导体芯片的至少一个实施形式，该光电子半导体芯片构建用于产生

在 430nm 到 540nm 之间（包括端值）的电磁辐射。换言之，半导体芯片在蓝色光谱范围中和 / 或在绿色光谱范围中发光。

[0065] 此外，提出了一种光电子半导体芯片，其中铝含量在至少一个有源量子阱中变化。

[0066] 在光电子半导体芯片的至少一个实施形式中，该光电子半导体芯片基于氮化物材料系并且具有至少一个有源量子阱，其中在有源量子阱在工作中产生电磁辐射。在平行于半导体芯片的生长方向 z 的方向上，该半导体芯片具有 N 个相继的区域，其中这些区域中的至少两个具有彼此不同的平均镓含量 k ，并且 N 是大于或等于 2 的自然数。所述至少一个有源量子阱在此情况下满足如下条件：

[0067] $70 \leq \int (35-k(z))dz - 2.5N - 1.5 \int dz \leq 120$

[0068] 针对波长大于 285nm 并且尤其小于或等于 360nm 的辐射，或

[0069] $50 \leq \int k(z)dz - 2.5N - 1.5 \int dz \leq 100$

[0070] 针对波长小于或等于 285nm 并且尤其是大于或等于 210nm 的辐射。

[0071] 其中有源量子阱的区域的平均镓含量变化的半导体芯片的特征也对于这里所描述的具有变化的铝含量的半导体芯片而公开，反之亦然。由于带隙随着镓含量增加而减小并且带隙随着铝含量增加而增加，所以关于镓含量的关系符号对于有源量子阱的区域的变化的平均铝含量的情况而言应当相反。

[0072] 可以使用这里所描述的光电子半导体芯片的一些应用领域例如是显示设备或显示器的背光照明。此外，这里所描述的半导体芯片也可以使用在用于投影目的的照明设备、大灯或光辐射器中或使用在一般照明中。

[0073] 以下参照附图借助实施例更为详细地阐述了这里所描述的光电子半导体芯片。在此，相同的附图标记说明各附图中的相同元件。在此并未示出符合比例的关系，更确切地说，为了更好的理解可以夸大地示出各元件。

[0074] 其中：

[0075] 图 1 示出了这里所描述的半导体芯片 (A) 的一个实施例的示意性截面图和其带结构 (B) 的示意图，

[0076] 图 2 示出了这里所描述的光电子半导体芯片的另一实施例的示意图，

[0077] 图 3 示出了半导体器件的示意图，

[0078] 图 4 至 15 示出了这里所描述的光电子半导体芯片的另外的实施例的示意图，

[0079] 图 16 和 17 示出了半导体芯片的参数变化的示意图，以及

[0080] 图 18 示出了带有具有不同铝含量的区域的、这里所描述的半导体芯片的一个实施例的示意图。

[0081] 在图 1A 中示意性地参照镓含量 c 和带隙 E_g 沿着生长方向 z 的变化曲线示出了光电子半导体芯片 1 的一个实施例。与半导体芯片 1 的围绕量子阱 2 的区域相比，有源量子阱 2 具有更高的镓含量 c 。量子阱 2 包括两个区域 A_1 、 A_2 。在量子阱 2 的第一区域 A_1 中，镓含量 c 与第二区域 A_2 相比提高。在半导体芯片 1 工作中，优选近似仅仅在第一区域 A_1 中进行辐射产生。

[0082] 半导体芯片 1 例如基于 InGaN 材料系。带隙 E_g 针对镓含量（单位为百分比）可以近似如下地说明，也参见出版物 Applied Physics Letters（第 80 卷，第 25 期，2002 年，第 4741 至 4743 页）：

[0083] $E_g(x) = x \cdot 3.42 + (1-x) \cdot 0.77 - x \cdot (1-x) \cdot 1.43$ 。

[0084] 带隙 E_g 在此情况下以 eV 为单位来说明。随着铟含量增加,带隙 E_g 降低。针对带隙 E_g ,对应于大约 450nm 的波长,铟含量优选在 17% 到 22% 之间(包括端值),对应于大约 490nm 的波长,优选在 24% 到 29% 之间(包括端值)。

[0085] 近似地,铟含量 c 在区域 A_1 、 A_2 中分别是恒定的。例如,第一区域 A_1 的铟含量 c_1 为 22% 而第二区域 A_2 的铟含量 c_2 为大约 12%。第一区域 A_1 的宽度 w_1 在大约 2.5nm 左右,第二区域 A_2 的宽度 w_2 在大约 2nm 左右。因此,有源量子阱 2 的总宽度 W 为大约 4.5nm。区域 A_1 、 A_2 逆着半导体芯片 1 的生长方向 z 连续地编号。编号于是在从半导体芯片 1 的 p 连接侧 p 朝着 n 连接侧 n 的方向上进行。

[0086] 由于在区域 A_1 、 A_2 中恒定的铟含量 c ,项 $\int c(z) dz - 2.5N - 1.5 \int dz$ 可以通过项 $\sum_{i=1}^N c_i w_i - 2.5N - 1.5 \sum_{i=1}^N w_i$ 来表达。第 i 区的铟含量 c_i 在此情况下无量纲地以百分比为单位来说明,并且宽度 w_i 无量纲地以纳米为单位来说明。 N 对应于区域 A_1 、 A_2 的数目。对于根据图 1A 的有源量子阱 2,针对该项得到值:

[0087] $[22 \cdot 2.5 + 12 \cdot 2] - [2.5 \cdot 2] - [1.5 \cdot (2.5 + 2)] \approx 67$ 。

[0088] 可能的是,有源量子阱 2 的项的值通过例如借助电子显微镜、尤其是透射电子显微镜测量量子阱 2 来确定。

[0089] 在图 1B 中示意性地描绘了根据图 1A 的半导体芯片 1 的沿着生长方向 z 的、价带和导带的能量 E 的变化曲线。带隙 E_g 对应于分别沿着生长方向 z 的价带与导带的能量 E 的差。价带和导带的波函数分别作为粗线来象征性地表示,相关的能量水平通过细水平线来象征性地表示。价带和导带的基态波函数的交叠区域比较大。由此,尤其能够实现载流子、即电子和空穴在量子阱 2 中的高复合率。载流子在有源量子阱 2 中的俘获率也可以提高。

[0090] 在图 2 中示意性地示出了半导体芯片 1 的另一实施例。铟含量 c 沿着生长方向 z 的变化曲线具有三个区域 A_1 、 A_2 、 A_3 。通过这三个区域形成有源量子阱 2。区域 A_1 、 A_2 、 A_3 的近似的平均铟含量作为虚线示出。铟含量 c 的实际变化曲线与此有偏差,尤其是在理想化的变化曲线的表示为虚线的阶梯的边缘区域中。然而,各区域 A_1 、 A_2 、 A_3 通过铟含量 c 的强烈升高或降低的区域而彼此明显区分。

[0091] 在以下所描述的实施例中,分别示出了沿着生长方向 z 的通过阶梯而近似的理想化的铟含量 c 。于是可能的是,类似图 2 出现铟含量 c 与所示的变化曲线的偏差。

[0092] 在图 3A 中示出了一种半导体器件,其中有源量子阱 2 具有大约 6nm 的宽度 W 和大约 22% 的平均铟含量 c 。项

$$[0093] \quad \sum_{i=1}^N c_i w_i - 2.5N - 1.5 \sum_{i=1}^N w_i$$

[0094] 因此具有大约 120 的值。由此,参照图 3B 和 3C,在价带和导带中的基态波函数彼此间仅仅具有比较小的交叠。此外,在量子阱 2 的区域中价带和导带的能量梯度由于压电场而比较大,通过图 3C 中的倾斜的虚线来象征性表示。

[0095] 可能的是,量子阱 2 的边缘展现出斜坡状的变化曲线并且形成了修改后的量子阱 2',其通过虚点线象征性地表示。

[0096] 半导体芯片 1 的另一实施例在图 4 中示出。具有有源量子阱 2 的最高铟含量 c_2 的

区域 A_2 在朝着 p 连接侧 p 的方向上与区域 A_1 相邻, 该区域具有最低的平均镓含量 c_1 。区域 A_1 也可以斜坡状地成形, 其通过虚点线来表示。

[0097] 如在图 4B 中可看到的那样, 与图 3C 相比, 由于区域 A_1 , 沿着生长方向 z 的能量 E 的梯度在具有最高镓含量 c_2 的区域 A_2 的范围中显著减小, 在图 4B 中通过粗实线来表示。为了直接比较, 在图 4B 中还将根据图 3C 的量子阱 2 的能量 E 的坡度作为虚线绘出。换言之, 通过区域 A_1 降低了电势变化曲线中的梯度。梯度的降低导致在有源量子阱 2 中的辐射产生方面的效率提高。

[0098] 在根据图 5 的半导体芯片 1 的实施例中, 有源量子阱 2 具有三个区域 A_1 、 A_2 、 A_3 。具有最高镓含量 c_2 的区域 A_2 具有最大宽度 w_2 。p 连接侧的区域 A_1 的镓含量 c_1 小于 n 连接侧的区域 A_3 的镓含量 c_3 。相应地适用于区域 A_1 、 A_3 的宽度 w_1 、 w_3 。

[0099] 如在图 5B 中可看到的那样, 量子阱 2 具有比较大的有效宽度并且由此具有高的载流子俘获率。同样, 降低了在电势变化曲线中的梯度。通过在有源量子阱 2 之外的周围的半导体材料与区域 A_1 、 A_3 之间的异质边界上的局部电荷, 减小了压电场。由此, 可以实现在量子阱 2 中产生辐射时的特别高的效率。

[0100] 在根据图 6 的实施例中, 有源量子阱 2 具有三个区域 A_1 、 A_2 、 A_3 。镓含量 c_1 逆着生长方向 z 从区域 A_1 出发单调地升高。在区域 A_2 、 A_3 之间的阶梯边缘 (通过点线表示) 例如也可不同于图 6 中所示的那样倒圆地成形。不同于图 6 中所示的那样, 有源量子阱 2 同样可以具有明显多于三个的区域 A_1 、 A_2 、 A_3 。

[0101] 在根据图 7 的实施例中, 有源量子阱 2 不仅具有 p 连接侧区域 A_1 而且具有多个 n 连接侧区域 A_3 、 A_4 , 其包围具有最高平均镓含量 c_2 的区域 A_2 。

[0102] 在根据图 8 的半导体芯片 1 的实施例中, 有源量子阱 2 具有两个中间势垒, 其通过区域 A_2 、 A_4 形成。区域 A_2 、 A_4 的镓含量 c_2 、 c_4 与相应相邻的区域相比降低和 / 或这些区域 A_2 、 A_4 的铝含量提高。根据图 9 还附加地存在具有较低的镓含量 c_1 的 p 连接侧的区域 A_1 。

[0103] 根据图 10, 半导体芯片 1 具有两个有源量子阱 2a、2b。量子阱 2a、2b 的每个都包括两个区域 A_1 、 A_2 。与图 10 中所示不同, 通过在有源量子阱 2a、2b 之间的点线来表示半导体芯片 1 例如也可以具有三个、四个、五个或更多个的有源量子阱。

[0104] 根据图 11, 半导体芯片 1 除了有源量子阱 2a、2b 之外也包括无源量子阱 3。无源量子阱 3 的镓含量例如在有源量子阱 2a、2b 的区域 A_1 、 A_2 的镓含量之间。无源量子阱 3 处于半导体芯片 1 的 p 连接侧 p 上。不同于图 11 中所示, 同样可能的是, 无源量子阱 3 也包括多个具有不同镓含量和 / 或铝含量的区域。

[0105] 在图 12 中示出了, 无源量子阱 3 也可以处于 n 连接侧 n 上。也可能的是, 具有五个以下的无源量子阱 3 的组形成在 n 连接侧 n 和 / 或 p 连接侧 p 上。在此情况下不必要的是, 无源量子阱 3 的不同的组各具有相同数目的无源量子阱 3。相应内容适用于一个无源量子阱 3 或具有多个无源量子阱 3 的组, 参见图 13, 该无源量子阱或该组处于有源量子阱 2a、2b 之间。

[0106] 根据图 14, 光电子半导体芯片 1 还包括两个外壳层 4a、4b, 其包围或者围绕有源量子阱 2a、2b。

[0107] 在根据图 15 的实施例中, 半导体芯片 1 在有源量子阱 2 与波导层 4a、4b 之间还分别具有势垒层 6。此外, p 连接侧的波导层 4a 包括载流子势垒层 5。载流子势垒层 5 例如

通过具有提高的铝含量的薄层形成。

[0108] 不同于图 15 所示, 半导体芯片 1 也可以具有多个有源量子阱 2 并且可选地同样可以具有一个或多个无源量子阱 3。

[0109] 在根据图 1、2 和 4 至 15 的半导体芯片 1 的实施例中, 所述至少一个有源量子阱 2 关于区域 A 的数目 N 、区域 A 的宽度 w 和铟含量 c 方面分别构建为, 使得项 $\int c(z) dz - 2.5N - 1.5 \int dz$ 或者 $\sum_{i=1}^N c_i w_i - 2.5N - 1.5 \sum_{i=1}^N w_i$

[0110] 具有在 40 到 80 之间、尤其是在 50 到 70 之间的大小, 其中包括端值。

[0111] 在图 16 和 17 中示意性地示出了关于半导体芯片的有源量子阱 2 的区域 A 的铟含量 c 和宽度 w 的参数变化。针对参数的相应变化, 项 $\int c(z) dz - 2.5N - 1.5 \int dz$ 的值 (缩写为 FoM) 沿着横坐标绘制。根据图 16, 有源量子阱分别具有两个区域 A。在 40 到 80、尤其是 50 到 70 的 FoM 值之间, 半导体芯片展现出高效率, 该效率例如以激光器活动来表现。相应地适用于根据图 17 的半导体芯片, 其中有源量子阱分别具有三个区域 A。

[0112] 例如, 半导体芯片的效率在所说明的 FoM 值域内比在该值域之外更大, 其中效率是所发射的光学输出功率与半导体芯片被以其驱动的电输入功率之商。在所发射辐射的波长为大约 440nm 并且光学输出功率为 30mW 的情况下, 针对在所说明的范围之外的 FoM 值, 效率会小于 6%, 而针对例如尤其是在 50 到 70 之间 (包括端值) 的 FoM 值, 效率会大于或等于 8%。针对大约 480nm 的波长和 5mW 的输出功率可能的是, 针对在所说明的范围外的 FoM 值, 效率在 0.5% 以下, 而针对尤其在 50 到 70 之间 (包括端值) 的 FoM 值, 效率为至少 0.6%、优选至少 0.8%。

[0113] 在图 18 中示出了半导体芯片 1 的一个实施例, 其中铝含量 k 沿着有源量子阱 2 的生长方向 z 在两个区域 A_1 、 A_2 中不同地设置。区域 A_1 、 A_2 的铝含量 k 和厚度选择为使得有源量子阱 2 满足条件:

$$[0114] \quad 50 \leq \int (35 - k(z)) dz - 2.5N - 1.5 \int dz \leq 120$$

[0115] 根据图 18 的实施例也可以具有无源量子阱、多个有源量子阱和 / 或外壳层和势垒层, 例如类似于根据图 15 的实施例。

[0116] 也可能的是, 有源量子阱 2 的区域 A 的铝含量 k 的设置与铟含量 c 的设置 (如根据图 1、2 和 4 至 15 那样) 组合。

[0117] 这里描述的发明并不通过借助实施例的描述而受限于此。更确切而言, 本发明包括任意新特征以及特征的任意组合, 尤其包含权利要求中的特征的任意组合, 即使该特征或者组合本身并未在权利要求或者实施例中明确说明。

[0118] 本专利申请要求德国专利申请 102009015569.4 的优先权, 其公开内容通过引用结合于此。

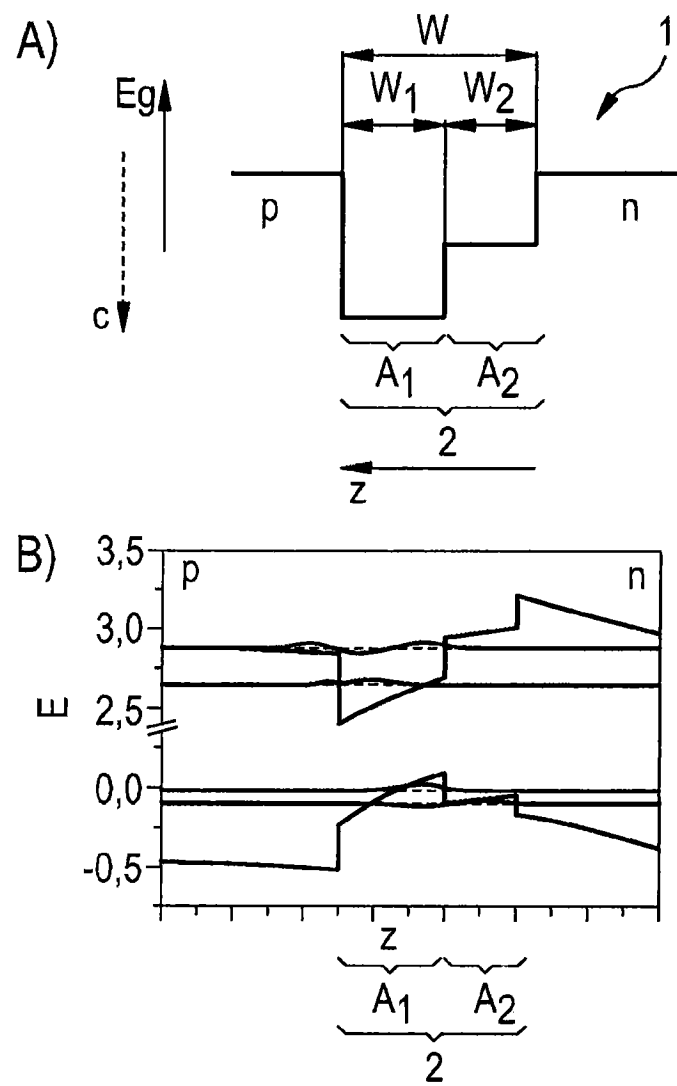


图 1

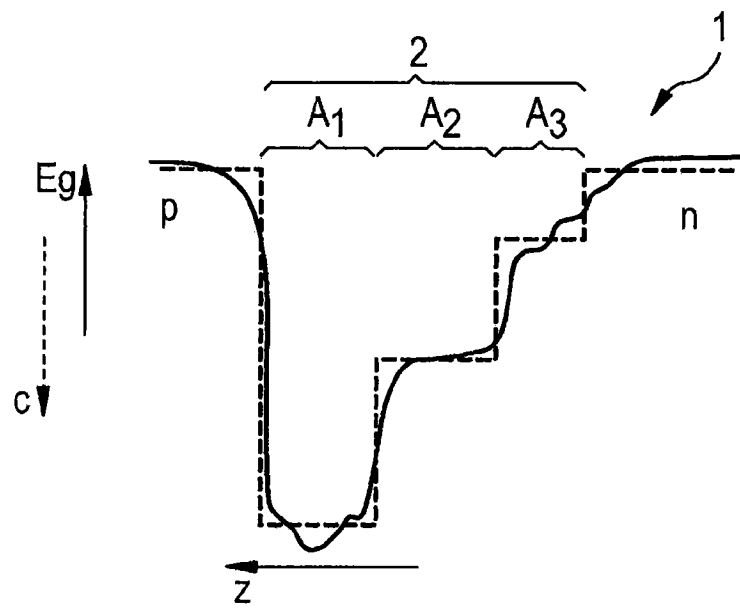


图 2

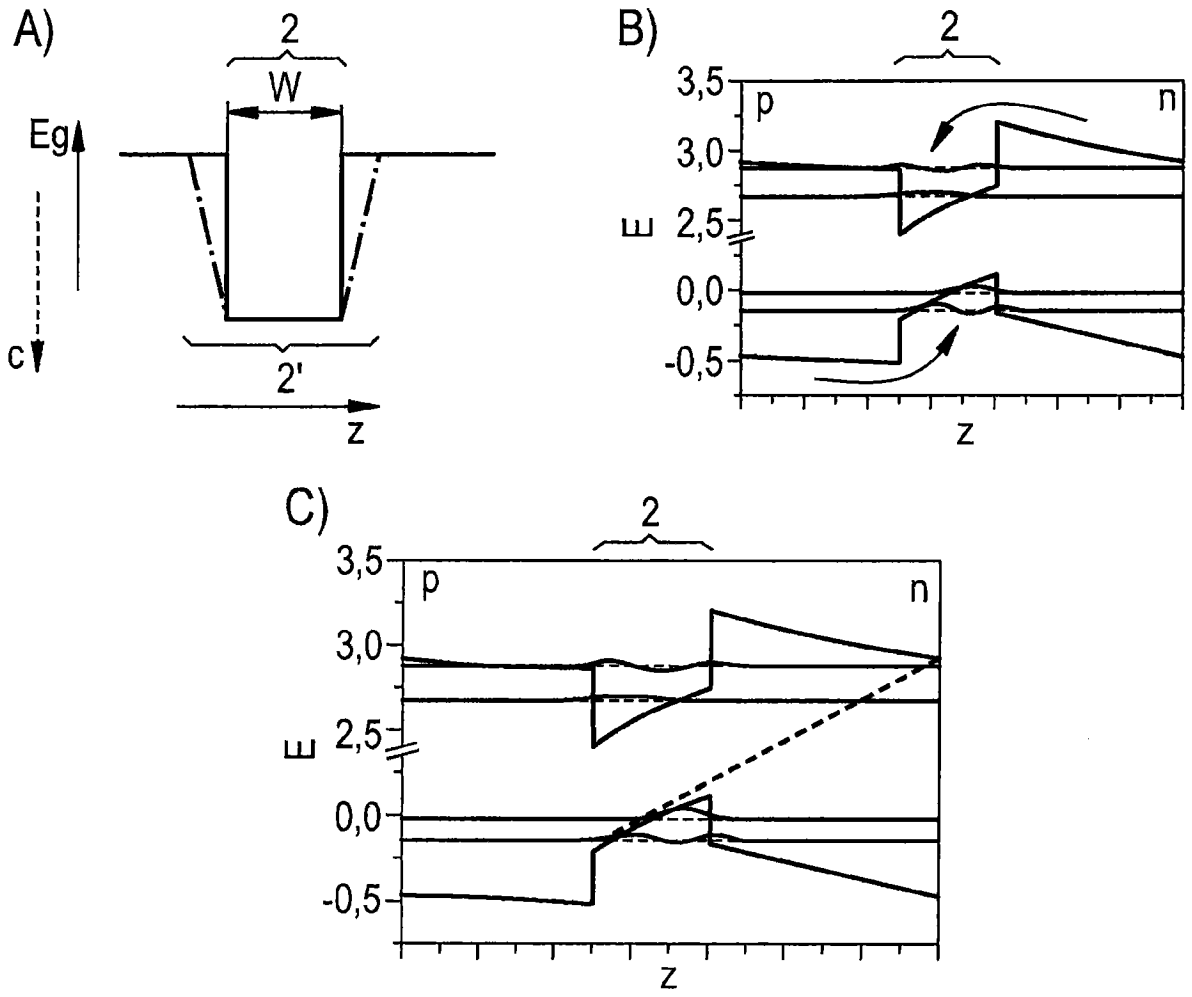


图 3

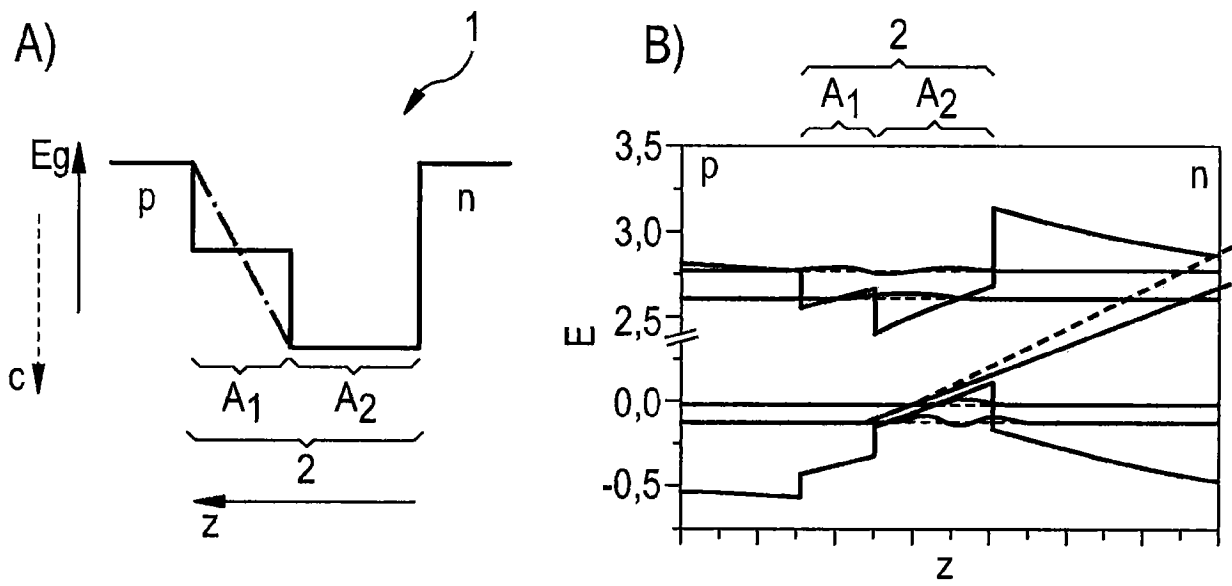


图 4

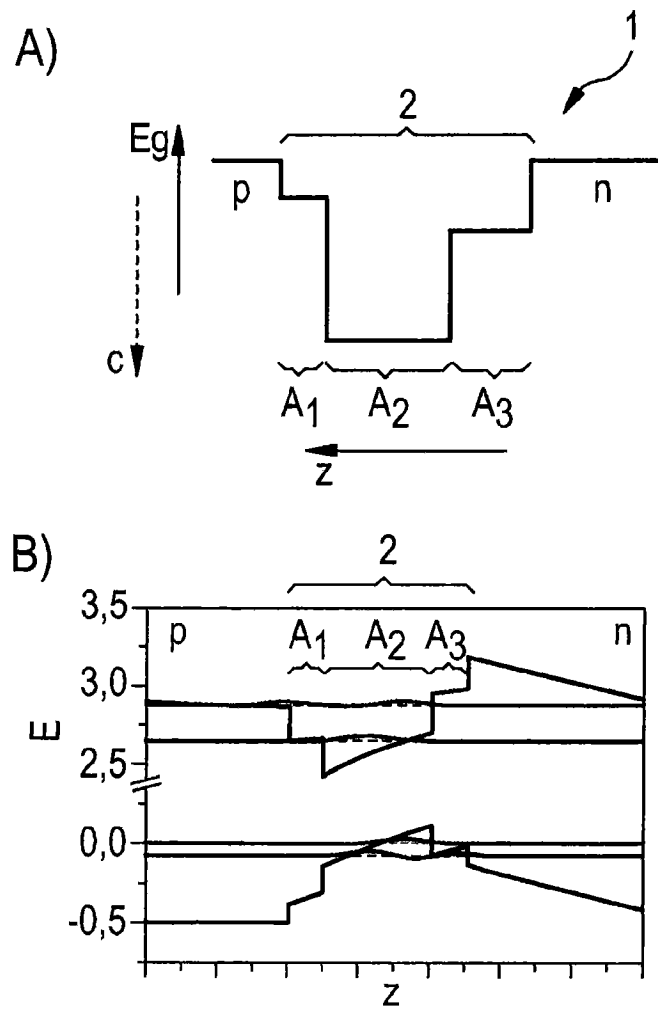


图 5

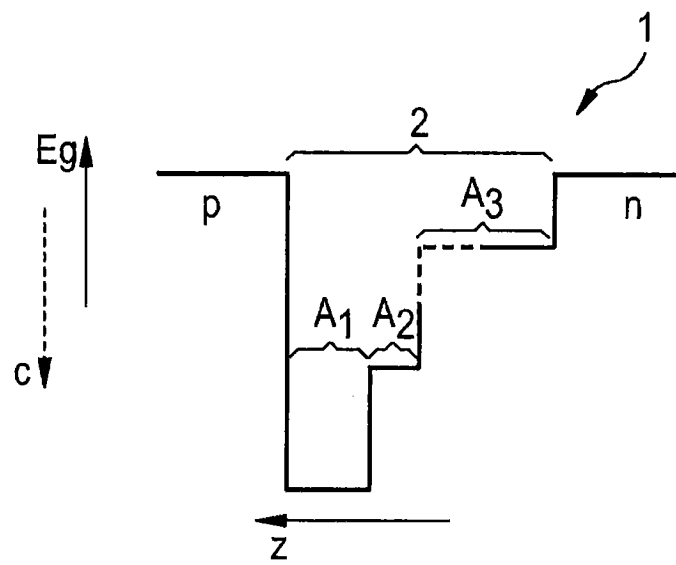


图 6

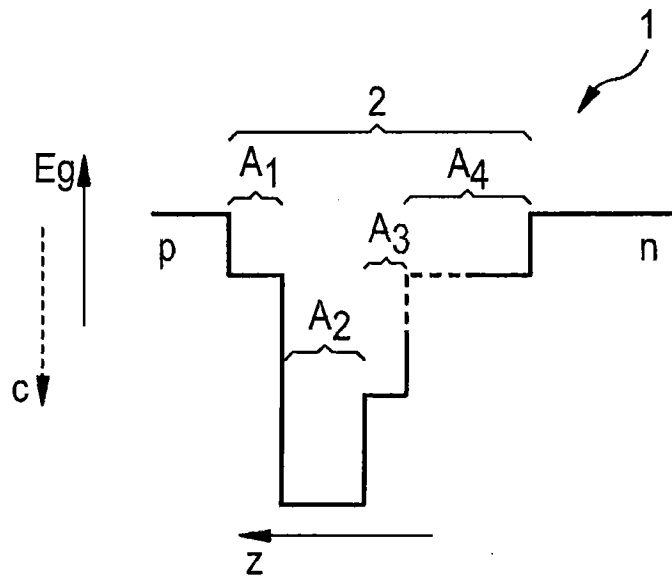


图 7

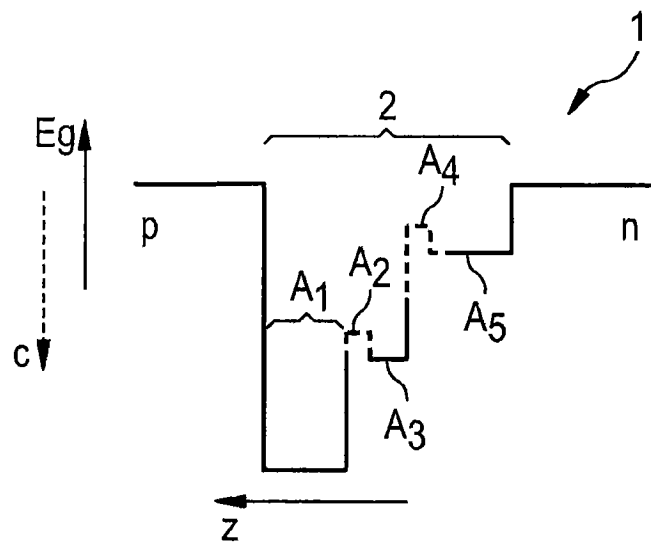


图 8

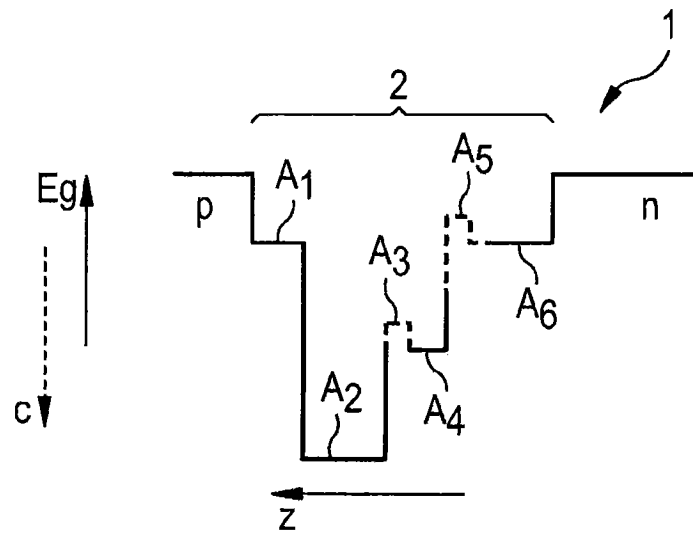


图 9

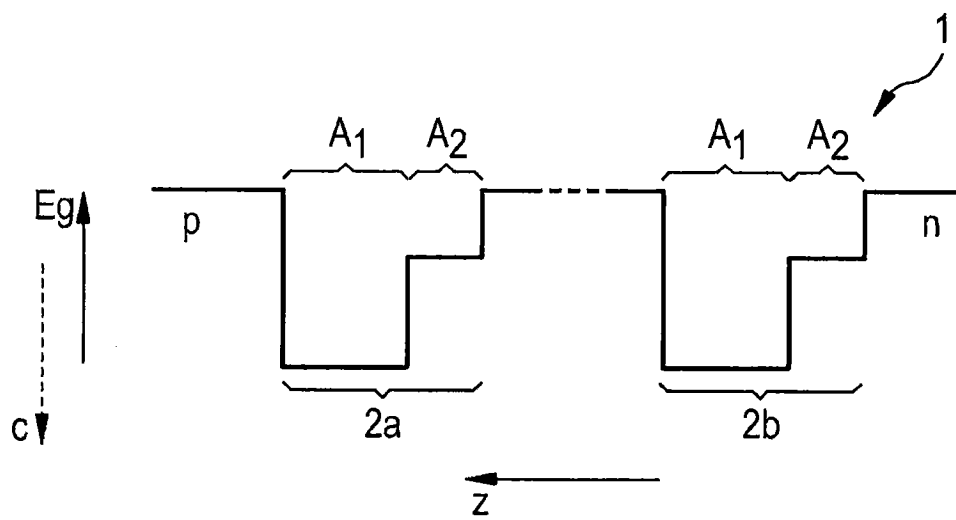


图 10

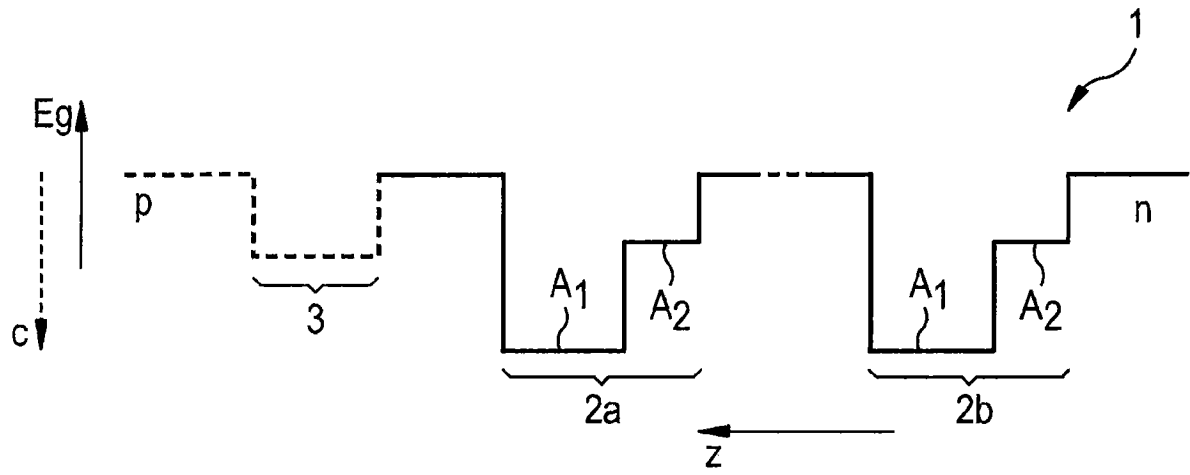


图 11

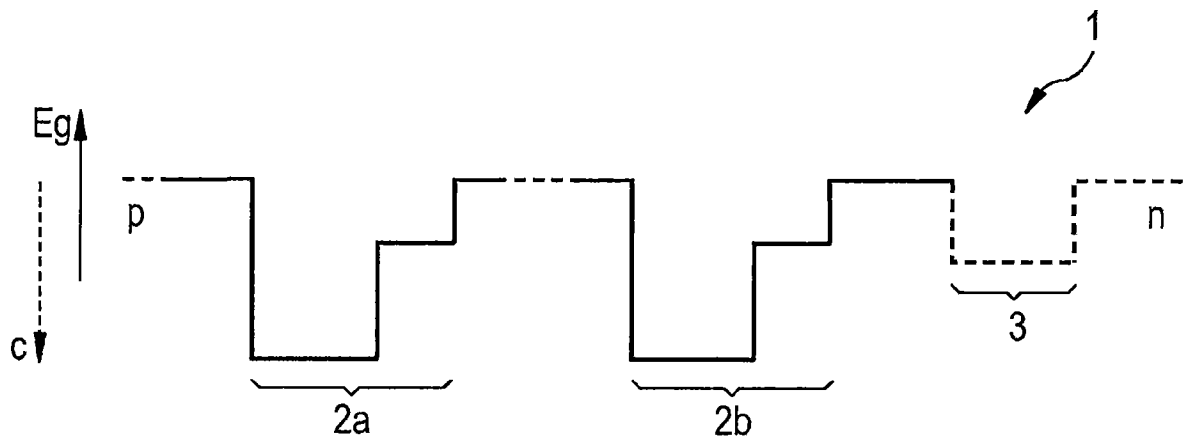


图 12

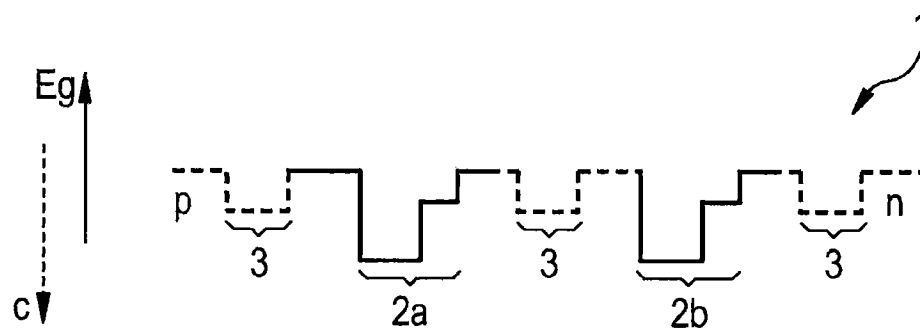


图 13

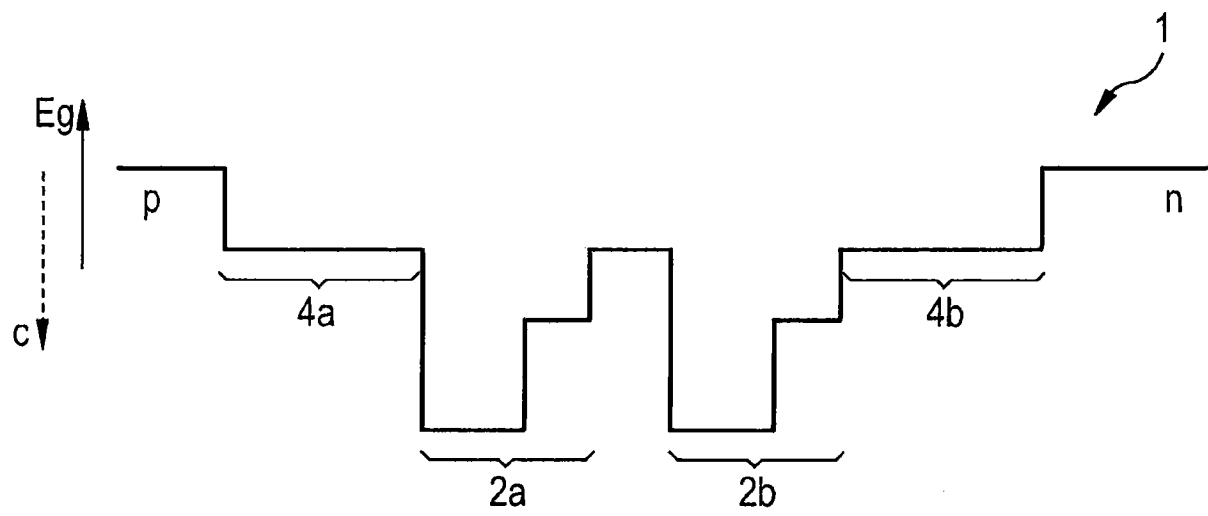


图 14

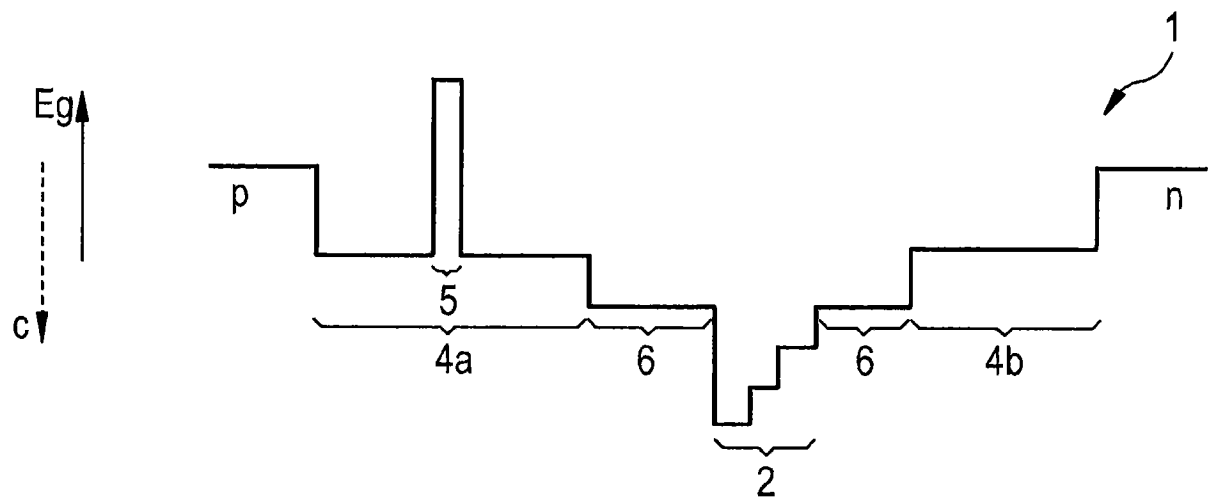


图 15

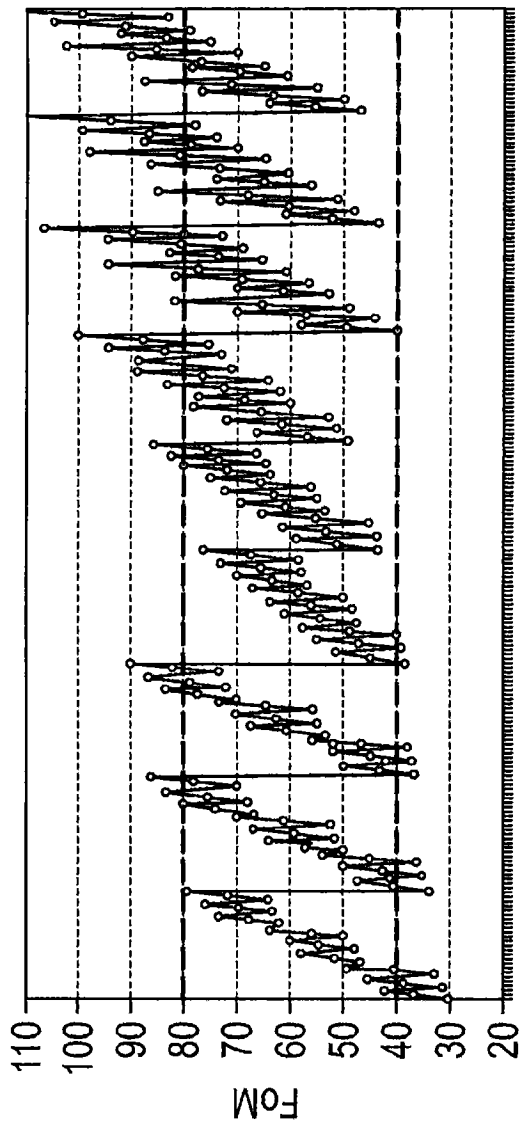


图 16

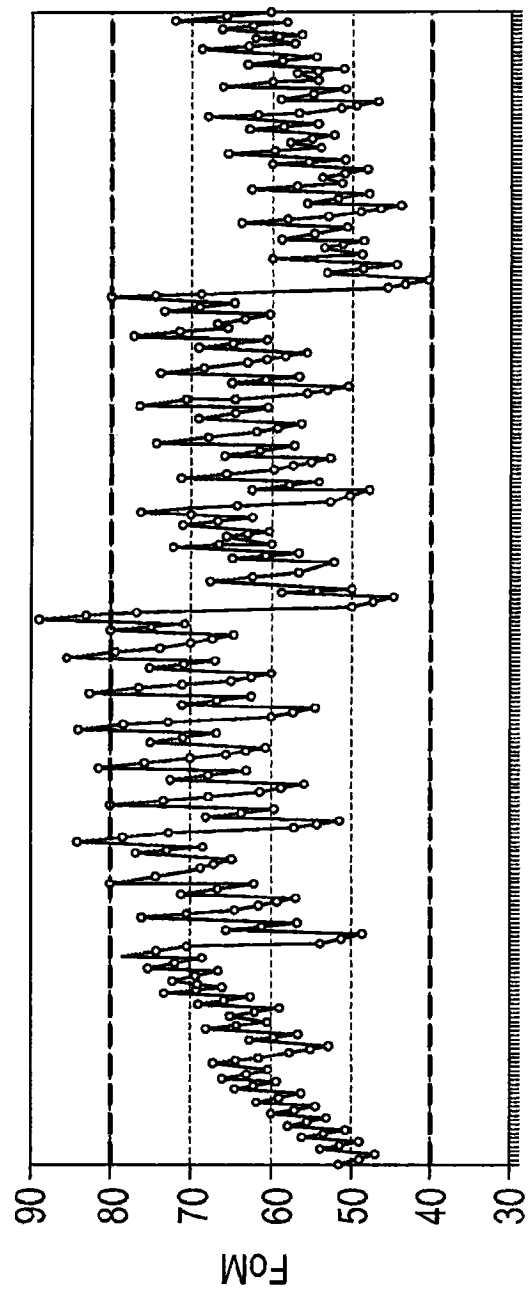


图 17

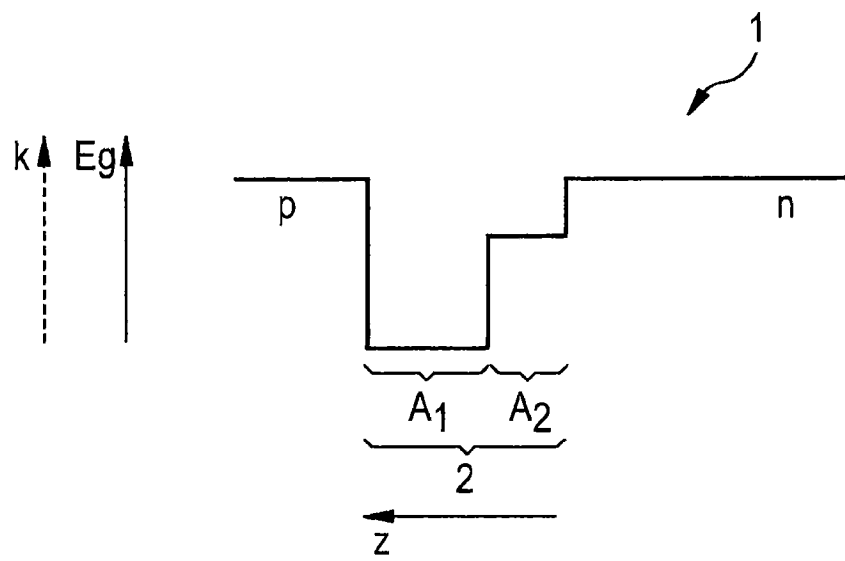


图 18