



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118679654 A

(43) 申请公布日 2024. 09. 20

(21) 申请号 202280091379.4

(22) 申请日 2022.11.10

(30) 优先权数据

2022-020111 2022.02.14 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.08.09

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/041910 2022.11.10

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/153035 JA 2023.08.17

(71) 申请人 新唐科技日本株式会社

地址 日本

(72) 发明人 畑雅幸 高山彻 吉田真治

川口靖利

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

专利代理师 吕文卓

(51) Int.Cl.

H01S 5/343 (2006.01)

H01L 33/32 (2006.01)

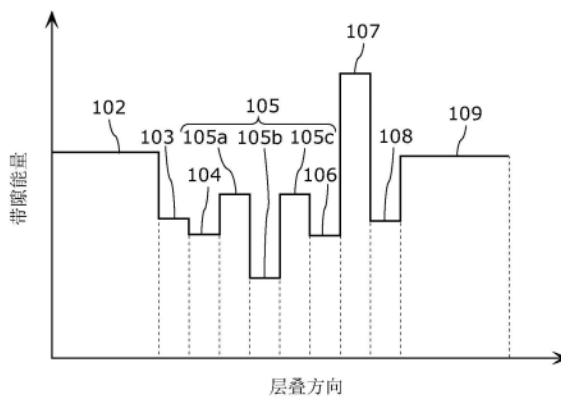
权利要求书3页 说明书25页 附图9页

(54) 发明名称

氮化物系半导体发光元件

(57) 摘要

一种氮化物系半导体发光元件(100),其具备:由GaN构成的衬底(101)、被配置在衬底(101)的上方的由AlGaN构成的第一包覆层、被配置在衬底(101)的上方的活性层(105)、以及被配置在第一包覆层与活性层(105)之间的第一半导体层,活性层(105)具有由氮化物系半导体构成的阱层(105b)以及含有Al的由氮化物系半导体构成的势垒层(105a)和(105c),第一半导体层的平均带隙能量比第一包覆层的平均带隙能量小,第一半导体层由AlGaInN构成。



1. 一种氮化物系半导体发光元件，
所述氮化物系半导体发光元件具备：
由GaN构成的衬底；
配置在所述衬底的上方且由AlGaInN构成的第一包覆层；
配置在所述衬底的上方的活性层；以及
配置在所述第一包覆层与所述活性层之间的第一半导体层，
所述活性层具有由氮化物系半导体构成的阱层以及由含有Al的氮化物系半导体构成的势垒层，
所述第一半导体层的平均带隙能量比所述第一包覆层的平均带隙能量小，
所述第一半导体层由AlGaInN构成。
2. 如权利要求1所述的氮化物系半导体发光元件，
所述第一半导体层的平均带隙能量比所述势垒层的带隙能量小。
3. 如权利要求1或2所述的氮化物系半导体发光元件，
所述第一半导体层为光引导层。
4. 如权利要求1或2所述的氮化物系半导体发光元件，
所述第一半导体层为包覆层。
5. 如权利要求1至4的任一项所述的氮化物系半导体发光元件，
所述第一半导体层的Al组分比高于所述第一包覆层的Al组分比。
6. 如权利要求1至5的任一项所述的氮化物系半导体发光元件，
所述第一半导体层具有压缩应变，
所述第一半导体层的平均带隙能量比GaN的带隙能量大。
7. 如权利要求6所述的氮化物系半导体发光元件，
所述第一半导体层的Al组分比高于所述势垒层的Al组分比。
8. 如权利要求1至7的任一项所述的氮化物系半导体发光元件，
所述氮化物系半导体发光元件进一步具备第一引导层，该第一引导层是配置在所述第一包覆层与所述活性层之间的光引导层，
所述第一引导层由氮化物系半导体构成。
9. 如权利要求8所述的氮化物系半导体发光元件，
所述第一引导层由AlGaInN构成。
10. 如权利要求1至9的任一项所述的氮化物系半导体发光元件，
所述第一半导体层的Al组分比低于所述势垒层的Al组分比。
11. 如权利要求1至10的任一项所述的氮化物系半导体发光元件，
所述势垒层由AlGaInN构成。
12. 如权利要求11所述的氮化物系半导体发光元件，
所述第一半导体层的In组分比高于所述势垒层的In组分比。
13. 如权利要求11或12所述的氮化物系半导体发光元件，
所述第一半导体层的Al组分比在所述势垒层的Al组分比以下。
14. 如权利要求1至13的任一项所述的氮化物系半导体发光元件，
所述阱层由AlGaInN构成。

15. 如权利要求1至14的任一项所述的氮化物系半导体发光元件，所述第一包覆层的导电型为N型。
16. 如权利要求15所述的氮化物系半导体发光元件，所述第一半导体层配置在所述第一包覆层的上方，所述活性层配置在所述第一半导体层的上方。
17. 如权利要求1至14的任一项所述的氮化物系半导体发光元件，所述第一包覆层的导电型为P型。
18. 如权利要求17所述的氮化物系半导体发光元件，所述第一半导体层配置在所述活性层的上方，所述第一包覆层配置在所述第一半导体层的上方。
19. 如权利要求17或18所述的氮化物系半导体发光元件，所述氮化物系半导体发光元件进一步具备：
配置在所述第一半导体层与所述第一包覆层之间的电子阻挡层；以及
配置在所述电子阻挡层与所述第一包覆层之间的作为光引导层的第二引导层。
20. 如权利要求17至19的任一项所述的氮化物系半导体发光元件，所述氮化物系半导体发光元件进一步具备由AlGaIn构成的上侧第一P侧引导层，该上侧第一P侧引导层配置在所述第一半导体层与所述第一包覆层之间，所述第一包覆层的导电型为P型。
21. 一种氮化物系半导体发光元件，所述氮化物系半导体发光元件具备：
由GaN构成的衬底；
配置在所述衬底的上方且由AlGaIn构成的N型包覆层；
配置在所述N型包覆层的上方且由氮化物系半导体构成的N侧半导体层；
配置在所述N侧半导体层的上方的活性层；
配置在所述活性层的上方且由氮化物系半导体构成的P侧半导体层；以及
配置在所述P侧半导体层的上方且由AlGaIn构成的P型包覆层，
所述活性层具有由氮化物系半导体构成的阱层以及由含有Al的氮化物系半导体构成的势垒层，
所述N侧半导体层的平均带隙能量比所述N型包覆层的平均带隙能量小，
所述P侧半导体层的平均带隙能量比所述P型包覆层的平均带隙能量小，
所述N侧半导体层以及所述P侧半导体层的至少其中一方由AlGaInN构成。
22. 如权利要求21所述的氮化物系半导体发光元件，所述N侧半导体层的平均带隙能量比所述势垒层的带隙能量小，所述P侧半导体层的平均带隙能量比所述势垒层的带隙能量小。
23. 如权利要求21或22所述的氮化物系半导体发光元件，所述N侧半导体层以及所述P侧半导体层各自为光引导层。
24. 如权利要求21至23的任一项所述的氮化物系半导体发光元件，所述氮化物系半导体发光元件进一步具备配置在所述P侧半导体层与所述P型包覆层之间的上侧第一P侧引导层，

所述P侧半导体层为由AlGaInN构成的光引导层，

所述上侧第一P侧引导层由AlGaInN构成。

25. 如权利要求21至24的任一项所述的氮化物系半导体发光元件，
所述N侧半导体层的Al组分量高于所述N型包覆层的Al组分量。

26. 如权利要求21至25的任一项所述的氮化物系半导体发光元件，
所述P侧半导体层的Al组分量高于所述P型包覆层的Al组分量。

27. 如权利要求21至26的任一项所述的氮化物系半导体发光元件，
所述AlGaInN的晶格常数比GaN的晶格常数大，

所述AlGaInN的带隙能量比GaN的带隙能量大。

28. 如权利要求21至27的任一项所述的氮化物系半导体发光元件，
所述P侧半导体层的平均带隙能量比所述N侧半导体层的平均带隙能量小。

29. 如权利要求28所述的氮化物系半导体发光元件，
所述P侧半导体层的In组分量高于所述N侧半导体层的In组分量。

氮化物系半导体发光元件

技术领域

[0001] 本公开涉及氮化物系半导体发光元件。

背景技术

[0002] 以往就知道有射出蓝色光的氮化物系半导体发光元件,但是出现了要求射出更短波长的紫外光的高输出的氮化物系半导体发光元件的需求(例如,参照专利文献1等)。例如,如果能够通过氮化物系半导体发光元件来实现瓦级的紫外激光光源,就能够应用到曝光用光源、加工用光源等。

[0003] (现有技术文献)

[0004] (专利文献)

[0005] 专利文献1日本特开2010-258363号公报

发明内容

[0006] 发明要解决的课题

[0007] 作为射出紫外光的氮化物系半导体发光元件的发光层,例如采用具有量子阱结构的活性层。这样的活性层包括一个以上的阱层和多个势垒层。由于紫外光比可见光的波长短(即能量大),因此射出紫外光的阱层的带隙能量比射出可见光的阱层的带隙能量大。因此,为了确保量子阱结构中的量子效果,就需要增大势垒层的带隙能量。例如,作为氮化物系半导体发光元件,在采用了GaN衬底、由含有Al的氮化物系半导体构成的势垒层以及由AlGaIn构成的包覆层的情况下,要想增大势垒层的带隙能量,就需要增高Al组分比。相应地,由于势垒层的折射率变小,因此为了使包覆层的折射率比势垒层的折射率小,则需要提高包覆层的Al组分比。

[0008] 这样,由于氮化物系半导体发光元件的势垒层以及包覆层的Al组分比增高,因此相对于GaN衬底而言,包覆层等半导体层叠体中的拉伸应变增大。为此,半导体层叠体中的结晶性变差、或者半导体层叠体中容易出现龟裂。

[0009] 本公开为了解决上述这种课题,目的在于提供一种能够减少半导体层叠体相对于衬底的拉伸应变的氮化物系半导体发光元件。

[0010] 用于解决课题的手段

[0011] 为了解决上述课题,本公开所涉及的氮化物系半导体发光元件的一个方式为,所述氮化物系半导体发光元件具备:由GaN构成的衬底;配置在所述衬底的上方的AlGaIn构成的第一包覆层;配置在所述衬底的上方的活性层;以及配置在所述第一包覆层与所述活性层之间的第一半导体层,所述活性层具有由氮化物系半导体构成的阱层以及由含有Al的氮化物系半导体构成的势垒层,所述第一半导体层的平均带隙能量比所述第一包覆层的平均带隙能量小,所述第一半导体层由AlGaInN构成。

[0012] 为了解决上述课题,本公开所涉及的氮化物系半导体发光元件的另一个方式为,所述氮化物系半导体发光元件具备:由GaN构成的衬底;配置在所述衬底的上方的AlGaIn

构成的N型包覆层;配置在所述N型包覆层的上方且由氮化物系半导体构成的N侧半导体层;配置在所述N侧半导体层的上方的活性层;配置在所述活性层的上方且由氮化物系半导体构成的P侧半导体层;以及配置在所述P侧半导体层的上方且由AlGaN构成的P型包覆层,所述活性层具有由氮化物系半导体构成的阱层以及由含有Al的氮化物系半导体构成的势垒层,所述N侧半导体层的平均带隙能量比所述N型包覆层的平均带隙能量小,所述P侧半导体层的平均带隙能量比所述P型包覆层的平均带隙能量小,所述N侧半导体层以及所述P侧半导体层的至少其中一方由AlGaInN构成。

[0013] 发明效果

[0014] 通过本公开,能够提供一种能够减少半导体层叠体相对于衬底的拉伸应变的氮化物系半导体发光元件。

附图说明

[0015] 图1是示出实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件的全体构成的示意性平面图。

[0016] 图2A是示出实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件的全体构成的示意性截面图。

[0017] 图2B是示出实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件所具备的活性层的构成的示意性截面图。

[0018] 图3是示出实施方式1所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0019] 图4是示出 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$ 层中的带隙能量与 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层中的带隙能量的关系的线状图。

[0020] 图5是示出实施方式2所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0021] 图6是示出实施方式3所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0022] 图7是示出实施方式4所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0023] 图8是示出实施方式5所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0024] 图9是示出实施方式6所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0025] 图10是示出实施方式7所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0026] 图11是示出实施方式8所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0027] 图12是示出实施方式9所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0028] 图13是示出实施方式10所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布

的线状图。

[0029] 图14是示出实施方式11所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0030] 图15是示出实施方式12所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0031] 图16是示出实施方式13所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

具体实施方式

[0032] 以下参照附图对本公开的实施例进行说明。另外,以下将要说明的实施例均为示出本公开的一个具体例子。因此,以下的实施例所示的数值、形状、材料、构成要素、以及构成要素的配置位置、连接方式等均为一个例子,其主旨并非是对本公开进行限定。

[0033] 并且,各个图为示意图,并非严谨的图示。因此,各个图中的比例尺等并非一致。另外在各个图中,对于实质上相同的构成赋予相同的符号,并省略或简化重复的说明。

[0034] 并且,本说明书中的“上方”以及“下方”这种表述并非是指绝对空间上所认知的铅垂上方以及铅垂下方,而是基于层叠构成中的层叠顺序,由相对的位置关系来规定的。并且,“上方”以及“下方”这种表述不仅适用于两个构成要素彼此空出间隔来配置且在两个构成要素之间存在其他的构成要素的情况,而且还适用于两个构成要素以彼此相接触的状态来配置的情况。

[0035] (实施方式1)

[0036] 对实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。

[0037] [1-1.全体构成]

[0038] 首先利用图1、图2A以及图2B对本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件的全体构成进行说明。图1以及图2A分别是示出本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件100的全体构成的示意性平面图以及截面图。在图2A中示出了图1的II-II线处的截面。图2B是示出本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件100所具备的活性层105的构成的示意性截面图。并且,在各个图中示出彼此正交的X轴、Y轴、以及Z轴。X轴、Y轴、以及Z轴是右手正交坐标系。氮化物系半导体发光元件100的层叠方向与Z轴方向平行,光(激光)的主要射出方向与Y轴方向平行。

[0039] 氮化物系半导体发光元件100如图2A所示,具备包括氮化物系半导体层的半导体层叠体100S,光从与半导体层叠体100S的层叠方向(即Z轴方向)垂直的方向上的端面100F(参照图1)射出。在本实施方式中,氮化物系半导体发光元件100是具有形成谐振器的两个端面100F以及100R的半导体激光元件。端面100F是射出激光的前端面,端面100R是反射率比端面100F高的后端面。并且,氮化物系半导体发光元件100具有在端面100F与端面100R之间形成的波导。在本实施方式中,端面100F以及100R的反射率分别为16%以及95%。本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件100的谐振器长(即端面100F与端面100R之间的距离)为1200 μm 左右。氮化物系半导体发光元件100例如射出在375nm波段具有峰值波长的紫外光。另外,氮化物系半导体发光元件100也可以射出在375nm以外的波段具有峰值波长的紫外光,还可以射出在紫外光以外的波段具有峰值波长的光。

[0040] 如图2A所示,氮化物系半导体发光元件100具备:衬底101、半导体层叠体100S、电流阻挡层111、P侧电极112、以及N侧电极113。半导体层叠体100S具有:N型包覆层102、第一N侧引导层103、第二N侧引导层104、活性层105、第一P侧引导层106、电子阻挡层107、第二P侧引导层108、P型包覆层109、以及接触层110。

[0041] 衬底101是成为氮化物系半导体发光元件100的基底的板状部件。在本实施方式中,衬底101被配置在N型包覆层102的下方,由N型GaN构成。更具体而言,衬底101是掺杂了浓度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的Si的GaN衬底。

[0042] N型包覆层102被配置在衬底101的上方,是由AlGaN构成的第一包覆层的一个例子。在此,包覆层是能够将针对层叠方向的层内的光强分布的变化样式用指数函数来近似的层。N型包覆层102的导电型为N型。N型包覆层102与活性层105相比,折射率小且平均带隙能量大。在本实施方式中,N型包覆层102是掺杂了浓度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 的Si的膜厚为800nm的N型 $\text{Al}_{0.065}\text{Ga}_{0.935}\text{N}$ 层。

[0043] 在此,在本公开中,某个层的平均带隙能量是指,将该层在层叠方向上的某个位置的带隙能量的大小,在从该层的层叠方向上的衬底侧的界面的位置到离衬底远的一侧的界面的位置的层叠方向上进行积分,并除以该层的膜厚(衬底侧界面与离衬底远的一侧的界面间的距离)而得到的带隙能量的值。

[0044] 某个层的平均折射率是指,将该层在层叠方向上的某个位置的折射率的大小,在从该层的层叠方向上的衬底侧的界面的位置到离衬底远的一侧的界面的位置的层叠方向上进行积分,并除以该层的膜厚(衬底侧界面与离衬底远的一侧的界面间的距离)而得到的折射率的值。

[0045] 某个层的平均Al组分量是指,将该层在层叠方向上的某个位置的Al组分量的大小,在从该层的层叠方向上的衬底侧的界面的位置到离衬底远的一侧的界面的位置的层叠方向上进行积分,并除以该层的膜厚(衬底侧界面与离衬底远的一侧的界面间的距离)而得到的Al组分量的值。

[0046] 某个层的平均杂质浓度是指,将该层在层叠方向上的某个位置的杂质浓度的大小,在从该层的层叠方向上的衬底侧的界面的位置到离衬底远的一侧的界面的位置的层叠方向上进行积分,并除以该层的膜厚(衬底侧界面与离衬底远的一侧的界面间的距离)而得到的杂质浓度的值。杂质是指,在N型半导体层中是为了得到N型的导电型而掺杂的杂质,在P型半导体层中是为了得到P型的导电型而掺杂的杂质。

[0047] 第一N侧引导层103是被配置在N型包覆层102与活性层105之间的光引导层即第一引导层的一个例子,由氮化物系半导体构成。在此,光引导层是能够将针对层叠方向的层内的光强分布的变化样式,以三角函数来近似的层。第一N侧引导层103与N型包覆层102相比,折射率大且带隙能量小。第一N侧引导层103的平均带隙能量在第二N侧引导层104的平均带隙能量以上。第一N侧引导层103含有Al。并且,第一N侧引导层103是N型的氮化物系半导体层。换言之,第一N侧引导层103的平均杂质浓度在 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上。在本实施方式中,第一N侧引导层103被配置在N型包覆层102与第二N侧引导层104之间,是掺杂了浓度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 的Si的膜厚为70nm的N型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 层。

[0048] 第二N侧引导层104被配置在N型包覆层102的上方,是由氮化物系半导体构成的N侧半导体层的一个例子。在本实施方式中,第二N侧引导层104被配置在N型包覆层102与活

性层105之间,是由AlGaInN构成的第一半导体层的一个例子。在本实施方式中,第二N侧引导层104是光引导层。第二N侧引导层104的平均带隙能量比N型包覆层102的平均带隙能量小。第二N侧引导层104是未掺杂AlGaInN层。换言之,第二N侧引导层104的平均杂质浓度小于 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 。在本实施方式中,第二N侧引导层104是被配置在第一N侧引导层103与活性层105之间的膜厚为70nm的未掺杂 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.94}\text{In}_{0.01}\text{N}$ 层。

[0049] 活性层105是被配置在衬底101的上方的发光层。在本实施方式中,活性层105被配置在第二N侧引导层104的上方。活性层105具有量子阱结构,射出紫外光。具体而言,如图2B所示,活性层105是具有由氮化物系半导体构成的阱层105b、由含有Al的氮化物系半导体构成的两个势垒层105a以及105c的单量子阱结构。阱层105b被配置在两个势垒层105a以及105c之间。另外,活性层105的构成并非受此所限。例如,活性层105也可以具有多量子阱结构。具体而言,活性层105可以具有三个以上的势垒层和两个以上的阱层。

[0050] 势垒层105a以及105c各自被配置在第一N侧引导层103的上方,是作为量子阱结构的势垒来发挥功能的氮化物系半导体层。势垒层105c被配置在势垒层105a的上方。在本实施方式中,势垒层105a以及105c各自的带隙能量比阱层105b的带隙能量、第一P侧引导层106的平均带隙能量、以及第一N侧引导层103的平均带隙能量大,并且比电子阻挡层107的平均带隙能量小。势垒层105a以及105c各自是膜厚为10nm的未掺杂 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.92}\text{In}_{0.01}\text{N}$ 层,势垒层105a的平均带隙能量、Al组分量、In组分量分别与势垒层105c的平均带隙能量、Al组分量、In组分量相等。

[0051] 阱层105b被配置在势垒层105a的上方,是作为量子阱结构的阱来发挥作用的氮化物系半导体层。在本实施方式中,阱层105b是膜厚为17.5nm的未掺杂 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 层。

[0052] 第一P侧引导层106被配置在活性层105的上方,是由氮化物系半导体构成的P侧半导体层的一个例子。在本实施方式中,第一P侧引导层106被配置在P型包覆层109与活性层105之间,是由AlGaInN构成的第一半导体层的一个例子。即在氮化物系半导体发光元件100中,第二N侧引导层104(即N侧半导体层)以及第一P侧引导层106(即P侧半导体层)这双方由AlGaInN构成。在本实施方式中,第一P侧引导层106是光引导层。第一P侧引导层106的平均带隙能量、Al组分量、以及In组分量分别与第二N侧引导层104的平均带隙能量、Al组分量、以及In组分量相等。第一P侧引导层106的平均带隙能量比P型包覆层109的平均带隙能量小。第一P侧引导层106是未掺杂AlGaInN层。换言之,第一P侧引导层106的平均杂质浓度小于 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。在本实施方式中,第一P侧引导层106是膜厚为72nm的未掺杂 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.94}\text{In}_{0.01}\text{N}$ 层。

[0053] 电子阻挡层107是配置在第一P侧引导层106与P型包覆层109之间的氮化物系半导体层。电子阻挡层107的带隙能量比势垒层105c的带隙能量大。据此,能够抑制电子从活性层105向P型包覆层109的泄漏。在本实施方式中,电子阻挡层107的带隙能量比P型包覆层109的带隙能量大。电子阻挡层107是掺杂了浓度 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 的Mg的膜厚为5nm的P型 $\text{Al}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 层。

[0054] 第二P侧引导层108是配置在P型包覆层109与活性层105之间的光引导层即第一引导层的一个例子,其由氮化物系半导体构成。第二P侧引导层108也是配置在电子阻挡层107与P型包覆层109之间的第二引导层的一个例子。第二P侧引导层108的平均带隙能量以及Al组分量与第一N侧引导层103的平均带隙能量以及Al组分量分别相等。第二P侧引导层108与

P型包覆层109相比,折射率大且带隙能量小。第二P侧引导层108的平均带隙能量在第一P侧引导层106的平均带隙能量以上。第二P侧引导层108含有Al。并且,第二P侧引导层108是P型的氮化物系半导体层。换言之,第二P侧引导层108的平均杂质浓度在 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上。在本实施方式中,第二P侧引导层108是配置在电子阻挡层107与P型包覆层109之间的掺杂了浓度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的Mg的膜厚为148nm的P型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 层。

[0055] P型包覆层109是配置在衬底101的上方的由AlGaN构成的第一包覆层的一个例子。P型包覆层109的导电型为P型。在本实施方式中,P型包覆层109配置在第一P侧引导层106的上方。P型包覆层109与活性层105相比,折射率小且平均带隙能量大。P型包覆层109的平均带隙能量比电子阻挡层107的平均带隙能量小。P型包覆层109的平均带隙能量以及Al组分比与N型包覆层102的平均带隙能量以及Al组分比分别相等。在本实施方式中,在P型包覆层109中作为杂质掺杂了Mg。P型包覆层109的离活性层105近的一侧的端部中的杂质浓度,比离活性层105远的一侧的端部中的杂质浓度低。具体而言,P型包覆层109是膜厚为450nm的AlGaN层,具有配置在离活性层105近的一侧的掺杂了浓度 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的Mg的膜厚为150nm的P型 $\text{Al}_{0.065}\text{Ga}_{0.935}\text{N}$ 层、以及配置在离活性层105远的一侧的掺杂了浓度 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的Mg的膜厚为300nm的P型 $\text{Al}_{0.065}\text{Ga}_{0.935}\text{N}$ 层。

[0056] 在P型包覆层109形成有脊部109R。并且在P型包覆层109形成有沿着脊部109R而配置的在Y轴方向上延伸的两个槽部109T。在本实施方式中,脊部宽度W为30 μm 左右。

[0057] 接触层110是配置在P型包覆层109的上方的与P侧电极112欧姆接触的氮化物系半导体层。在本实施方式中,接触层110是膜厚为60nm的P型GaN层。在接触层110中作为杂质而掺杂了浓度 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 的Mg。

[0058] 电流阻挡层111是被配置在P型包覆层109的上方且针对来自活性层105的光具有透过性的绝缘层。电流阻挡层111被配置在P型包覆层109以及接触层110的上表面中除脊部109R的上表面以外的区域。另外,电流阻挡层111也可以配置在脊部109R的上表面的一部分的区域中。例如,电流阻挡层111可以配置在脊部109R的上表面的端缘区域。在本实施方式中,电流阻挡层111是 SiO_2 层。

[0059] P侧电极112是配置在接触层110的上方的导电层。在本实施方式中,P侧电极112配置在接触层110以及电流阻挡层111的上方。P侧电极112例如是由Cr、Ti、Ni、Pd、Pt以及Au中的至少一个来形成的单层膜或多层膜。

[0060] N侧电极113是配置在衬底101的下方(即与衬底101的配置了N型包覆层102等的主面相反一侧的主面)的导电层。N侧电极113例如是由Cr、Ti、Ni、Pd、Pt以及Au中的至少一个来形成的单层膜或多层膜。

[0061] 氮化物系半导体发光元件100通过具有上述这种构成,从而在脊部109R的下方的部分与槽部109T的下方的部分之间产生有效折射率差 ΔN 。据此,能够将在活性层105的脊部109R的下方的部分发生的光限制在水平方向(即X轴方向)。

[0062] [1-2.效果]

[0063] 利用图3对本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件100的效果进行说明。图3是示出本实施方式所涉及的半导体层叠体100S的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。图3的横轴表示层叠方向中的位置,横轴的右侧与半导体层叠体100S的上方对应。另外在图3中省略了接触层110。

[0064] 像本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件100的阱层105b这种射出紫外光的阱层的带隙能量,比射出可见光的阱层的带隙能量大。因此,需要增大势垒层的带隙能量。例如作为氮化物系半导体发光元件,在采用了GaN衬底、由AlGaInN构成的势垒层以及由AlGaN构成的包覆层的情况下,为了增大势垒层的带隙能量,则需要增高Al组分比。同时,由于势垒层的折射率变小,为了使包覆层的折射率小于势垒层的折射率,则需要提高包覆层的Al组分比。这样,通过氮化物系半导体发光元件的势垒层以及包覆层的Al组分比被提高,因此相对于GaN衬底的包覆层等半导体层叠体中的拉伸应变增大。为此,半导体层叠体中的结晶性变差,半导体层叠体中容易出现龟裂。

[0065] 对此,在本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件100中,如图3所示,由于第二N侧引导层104以及第一P侧引导层106由AlGaInN构成,与第二N侧引导层104以及第一P侧引导层106由AlGaN构成的情况相比,能够在维持带隙能量以及折射率等同的状态下来减少相对于衬底101的拉伸应变。因此,能够实现能够使相对于衬底101的半导体层叠体100S的拉伸应变减少的氮化物系半导体发光元件100。据此,能够抑制半导体层叠体100S中的结晶性变差以及半导体层叠体100S中出现龟裂。

[0066] 并且,通过减少相对于衬底101的半导体层叠体100S的拉伸应变,从而能够降低从活性层105向电子阻挡层107的压电电场。由于该压电电场会成为针对空穴的势垒,因此通过降低压电电场则能够提高空穴注入效率。

[0067] 如以上所述,在本实施方式中,既能够确保光学限制因子,又能够降低压电电场。

[0068] 并且,在本实施方式中,通过使位于电子阻挡层107上的第二P侧引导层108的带隙能量大于第一P侧引导层106的带隙能量,从而能够使第二P侧引导层108的折射率比第一P侧引导层106的折射率小。据此,能够使光强分布的层叠方向上的峰值位置靠近活性层105的层叠方向的中央。即能够提高氮化物系半导体发光元件100的光学限制因子。

[0069] 在此,利用图4对AlGaInN的组分决定方法进行说明。图4是示出 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$ 层中的带隙能量与 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层中的带隙能量的关系的线状图。在图4中,横轴表示 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$ 层中的In组分比 y ,纵轴表示 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$ 层中的Al组分比 x 。图4示出了,在 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$ 层中,为了得到与 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层相同的带隙能量的In组分比 y 与Al组分比 x 的关系。另外,在图4中示出了 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层的Al组分比 z 为0、0.05、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30、0.35、以及0.40的各个情况下的关系。并且,在图4中以虚线来表示为了使 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$ 层的晶格常数与GaN层的晶格常数相等的In组分比 y 与Al组分比 x 的关系。因此,图4的线状图中的比虚线靠左上的区域表示 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$ 层的晶格常数比GaN层的晶格常数小的组分比,比虚线靠右下的区域表示 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$ 层的晶格常数比GaN层的晶格常数大的组分比。另外,在晶格常数的计算中,作为AlN、GaN、以及InN的晶格常数而分别采用0.311nm、0.3182nm、以及0.354nm。

[0070] 在 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$ 层中,为了得到与 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层相同的带隙能量,如图4所示,需要以下的式(1)成立。

$$x = (-0.1727z + 2.595)y + z \quad (1)$$

[0072] 这样,无需改变带隙能量,就能够将AlGaN层替换为AlGaInN层。

[0073] 在本实施方式中,势垒层105a以及105c由AlGaInN构成。据此,如以上所述,能够减少相对于衬底101的势垒层105a以及105c中的拉伸应变。因此,能够减少相对于衬底101的

半导体层叠体100S的拉伸应变,并且内部量子效率的增大以及振荡波长的长波长偏移的减少也成为可能。并且,位于阱层105b的下方的势垒层105a包括In,因此能够提高在该层上层叠的阱层105b的结晶性。

[0074] 并且,在本实施方式中,与第二N侧引导层104相比,在势垒层105a中的In组分的比相对于Al组分的比(y/x)小。据此,与势垒层105a相比,在第二N侧引导层104中,带隙能量小且折射率增高。这样,通过增大势垒层105c的带隙能量,从而能够提高量子阱结构中的量子效果。并且,通过使折射率高的第二N侧引导层104与活性层105邻接,从而能够使光强分布在层叠方向上的峰值位置接近于活性层105的层叠方向的中央。即能够提高氮化物系半导体发光元件100的光学限制因子。

[0075] 同样,与第一P侧引导层106相比,在势垒层105c中的In组分的比相对于Al组分的比(y/x)小。据此,第一P侧引导层106与势垒层105c相比,带隙能量减小且折射率增高。这样,通过增大势垒层105c的带隙能量,从而能够提高量子阱结构中的量子效果。并且,通过使折射率高的第一P侧引导层106与活性层105邻接,从而能够使光强分布在层叠方向上的峰值位置接近于活性层105的层叠方向的中央。即能够提高氮化物系半导体发光元件100的光学限制因子。

[0076] 并且,在本实施方式中,由于相对于阱层105b在下方配置了由AlGaInN构成的第二N侧引导层104,因此容易产生阱层105b的In组分的波动。据此,在阱层105b局部性地产生载流子,因此发光效率提高。

[0077] 并且,在本实施方式中,由于第一P侧引导层106是未掺杂层,因此能够抑制Mg向活性层105的扩散。进一步,由于第一P侧引导层106由AlGaInN构成,因此能够抑制从Mg浓度大电子阻挡层107向活性层105的Mg的扩散。因此,能够减少由于活性层105及其附近的Mg造成的光吸收损失。据此,能够抑制氮化物系半导体发光元件100中的激光振荡的阈值电流的增加以及发光效率的降低。

[0078] 并且,通过抑制Mg从电子阻挡层107向活性层105的扩散,从而能够抑制电子阻挡层107中的电阻增大,并能够抑制氮化物系半导体发光元件100的工作电压的增大。

[0079] 进一步而言,由于还能够抑制伴随着Mg的扩散的氢的扩散,因此能够提高氮化物系半导体发光元件100的可靠性。

[0080] 并且,在本实施方式中,由于作为光引导层的第二N侧引导层104以及第一P侧引导层106由AlGaInN构成,因此,即使增加光引导层的膜厚,也能够减少相对于衬底101的半导体层叠体100S的拉伸应变。或者,即使降低作为光引导层的第二N侧引导层104以及第一P侧引导层106的折射率,也能够减少相对于衬底101的半导体层叠体100S的拉伸应变。

[0081] 并且,本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件100除了具备第二N侧引导层104以及第一P侧引导层106以外,还具备第一N侧引导层103以及第二P侧引导层108。这样,即使在光引导层的总膜厚大的构成中,由于第二N侧引导层104以及第一P侧引导层106由AlGaInN构成,因此也能够减少相对于衬底101的半导体层叠体100S的拉伸应变。

[0082] 并且,通过本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件100具备位于第一P侧引导层106与第二P侧引导层108之间的电子阻挡层107,因此,与将电子阻挡层107配置在第二P侧引导层108的上方的情况相比,能够将电子限制在活性层105附近的窄的区域中。并且,由于本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件100具备配置在电子阻挡层107的上方

的第二P侧引导层108,因此,与不具备第二P侧引导层108的情况相比,能够使光强分布在层叠方向上的峰值位置接近于活性层105的层叠方向的中央。

[0083] [1-3.制造方法]

[0084] 对本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件100的制造方法进行说明。

[0085] 本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件100是通过如下的顺序而被制造的,即在衬底101上依次形成半导体层叠体100S、电流阻挡层111、以及P侧电极112,并在衬底101的形成有半导体层叠体100S的主面的背面的主面上形成N侧电极113。

[0086] 半导体层叠体100S通过基于有机金属化学气相沉积(MOCVD)法的外延生长技术而被层叠在衬底101上。在本实施方式所涉及的半导体层叠体100S之中,由AlGaInN构成的各个层(N型包覆层102、第一N侧引导层103、电子阻挡层107、第二P侧引导层108、P型包覆层109、以及接触层110)例如以1150°C来结晶生长。另外,含有In的各个层(第二N侧引导层104、活性层105、以及第一P侧引导层106)例如以850°C来结晶生长。含有In的各个层与由AlGaInN构成的各个层相比,以低生长速度来结晶生长。另外,即使在以下的各实施方式所涉及的半导体层叠体中也是同样,由AlGaInN构成的各个层以1150°C来结晶生长,含有In的各个层以850°C来结晶生长。

[0087] 并且,半导体层叠体100S的P型包覆层109等采用光刻技术以及蚀刻等而适宜地被图案化。

[0088] 电流阻挡层111例如采用等离子体CVD法等来形成,通过光刻技术以及蚀刻等而适宜地被图案化。

[0089] P侧电极112以及N侧电极113采用光刻技术以及蒸镀法来形成。

[0090] 通过以上所述的制造方法,能够制造本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件100。

[0091] (实施方式2)

[0092] 对实施方式2所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件在第一N侧引导层的构成上与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件100不同。以下,以与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件100的不同之处为中心,利用图5对本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。图5是示出本实施方式所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0093] 本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件100同样,具备衬底101、半导体层叠体、电流阻挡层111、P侧电极112、以及N侧电极113。本实施方式所涉及的半导体层叠体如图5所示,具有:N型包覆层102、第一N侧引导层203、第二N侧引导层104、活性层105、第一P侧引导层106、电子阻挡层107、第二P侧引导层108、P型包覆层109、以及接触层110(参照图2A)。

[0094] 本实施方式所涉及的第一N侧引导层203是被配置在N型包覆层102与活性层105之间的光引导层即第一引导层的一个例子,由AlGaInN构成。即第一N侧引导层203是第一半导体层的一个例子,也是N侧半导体层的一个例子。第一N侧引导层203与N型包覆层102相比,折射率大且带隙能量小。并且,第一N侧引导层203是N型的氮化物系半导体层。第一N侧引导层203的平均带隙能量比第二P侧引导层108的平均带隙能量大。在本实施方式中,第一N侧引导层203被配置在N型包覆层102与第二N侧引导层104之间,是掺杂了浓度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的

Si的膜厚为70nm的N型 $\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.93}\text{In}_{0.01}\text{N}$ 层。

[0095] 通过本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件,通过第一N侧引导层203由AlGaInN构成,从而能够进一步减少相对于衬底101的半导体层叠体的拉伸应变。

[0096] 本实施方式所涉及的半导体层叠体与实施方式1所涉及的半导体层叠体100S同样,采用基于MOCVD法的外延生长技术而被层叠在衬底101上。本实施方式所涉及的半导体层叠体100S之中的由AlGaN构成的各个层(N型包覆层102、电子阻挡层107、第二P侧引导层108、P型包覆层109、以及接触层110)例如以1150°C来结晶生长。另外,含有In的各个层(第一N侧引导层203、第二N侧引导层104、活性层105、以及第一P侧引导层106)例如以850°C并且与由AlGaN构成的各个层相比以低生长速度来结晶生长。

[0097] (实施方式3)

[0098] 对实施方式3所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件在N型包覆层、光引导层以及阱层的构成上与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件100不同。以下,以与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件100的不同之处为中心,利用图6对本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。图6是示出本实施方式所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0099] 本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件100同样,具备衬底101、半导体层叠体、电流阻挡层111、P侧电极112、以及N侧电极113。本实施方式所涉及的半导体层叠体如图6所示,具有第一N型包覆层302a、第二N型包覆层302b、第三N型包覆层302c、第一N侧引导层303、第二N侧引导层304、活性层305、第一P侧引导层306、电子阻挡层107、第二P侧引导层108、P型包覆层109、以及接触层110(参照图2A)。活性层305具有两个势垒层105a以及105c和阱层305b。

[0100] 本实施方式所涉及的第一N型包覆层302a被配置在衬底101的上方,是由AlGaN构成的第一包覆层的一个例子,也是N型包覆层的一个例子。第一N型包覆层302a的导电型为N型。第一N型包覆层302a与活性层305相比,折射率小且平均带隙能量大。在本实施方式中,第一N型包覆层302a被配置在衬底101与第二N型包覆层302b之间,是掺杂了浓度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的Si的膜厚为350nm的N型 $\text{Al}_{0.065}\text{Ga}_{0.935}\text{N}$ 层。

[0101] 第二N型包覆层302b被配置在第一N型包覆层302a与活性层305之间,是由AlGaInN构成的第一半导体层的一个例子,也是N侧半导体层的一个例子。第二N型包覆层302b是N型的包覆层。第二N型包覆层302b的平均带隙能量比第一N型包覆层302a的平均带隙能量以及势垒层105a的带隙能量小。第二N型包覆层302b的Al组分量高于第一N型包覆层302a的Al组分量。在本实施方式中,第二N型包覆层302b被配置在第一N型包覆层302a与第三N型包覆层302c之间,是掺杂了浓度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的Si的膜厚为100nm的N型 $\text{Al}_{0.17}\text{Ga}_{0.78}\text{In}_{0.05}\text{N}$ 层。

[0102] 第三N型包覆层302c被配置在衬底101的上方,是由AlGaN构成的第一包覆层的一个例子,也是N型包覆层的一个例子。第三N型包覆层302c与活性层305相比,折射率小且平均带隙能量大。在本实施方式中,第三N型包覆层302c被配置在第二N型包覆层302b与第一N侧引导层303之间,是掺杂了浓度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的Si的膜厚为350nm的N型 $\text{Al}_{0.065}\text{Ga}_{0.935}\text{N}$ 层。

[0103] 第一N侧引导层303是被配置在第一N型包覆层302a与活性层305之间的光引导层即第一引导层的一个例子,由AlGaInN构成。即第一N侧引导层303是第一半导体层的一个例

子,也是N侧半导体层的一个例子。第一N侧引导层303与第一N型包覆层302a相比,折射率大且带隙能量小。并且,第一N侧引导层303是N型的氮化物系半导体层。在本实施方式中,第一N侧引导层303被配置在第三N型包覆层302c与第二N侧引导层304之间,是掺杂了浓度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的Si的膜厚为70nm的N型 $\text{Al}_{0.159}\text{Ga}_{0.791}\text{In}_{0.05}$ N层。

[0104] 第二N侧引导层304被配置在第一N型包覆层302a的上方,是由氮化物系半导体构成的N侧半导体层的一个例子。在本实施方式中,第二N侧引导层304被配置在第一N型包覆层302a与活性层305之间,也是由 AlGaInN 构成的第一半导体层的一个例子。在本实施方式中,第二N侧引导层304是光引导层。第二N侧引导层304的平均带隙能量比第一N型包覆层302a的平均带隙能量小。第二N侧引导层304是未掺杂 AlGaInN 层。第一N侧引导层303的平均带隙能量、Al组分比、以及In组分比,与第二N侧引导层304的平均带隙能量、Al组分比、以及In组分比分别相等。在本实施方式中,第二N侧引导层304是被配置在第一N侧引导层303与活性层305之间的膜厚为70nm的未掺杂 $\text{Al}_{0.159}\text{Ga}_{0.791}\text{In}_{0.05}$ N层。

[0105] 阱层305b被配置在势垒层105a的上方,是作为量子阱结构的阱来发挥功能的氮化物系半导体层。在本实施方式中,阱层305b是膜厚为17.5nm的未掺杂 $\text{Al}_{0.02}\text{Ga}_{0.96}\text{In}_{0.02}$ N层。

[0106] 第一P侧引导层306被配置在活性层305的上方,是由氮化物系半导体构成的P侧半导体层的一个例子。在本实施方式中,第一P侧引导层306被配置在P型包覆层109与活性层305之间,也是由 AlGaInN 构成的第一半导体层的一个例子。在本实施方式中,第一P侧引导层306是光引导层。第一P侧引导层306的平均带隙能量比P型包覆层109的平均带隙能量小。第一P侧引导层306是未掺杂 AlGaInN 层。在本实施方式中,第一P侧引导层306是被配置在活性层305与电子阻挡层107之间的膜厚为72nm的未掺杂 $\text{Al}_{0.159}\text{Ga}_{0.791}\text{In}_{0.05}$ N层。第二N侧引导层304的平均带隙能量、Al组分比、以及In组分比,与第一P侧引导层306的平均带隙能量、Al组分比、以及In组分比分别相等。第一P侧引导层306的平均带隙能量与第二P侧引导层108的平均带隙能量相等。

[0107] 根据本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件,由于第一N侧引导层303由 AlGaInN 构成,因此能够进一步减少相对于衬底101的半导体层叠体的拉伸应变。

[0108] 并且,在本实施方式中,通过N型包覆层的一部分由 AlGaInN 构成,从而能够进一步减少相对于衬底101的半导体层叠体的拉伸应变。并且,以 850°C 来使由 AlGaInN 构成的第二N型包覆层302b结晶生长。因此,例如与实施方式1所涉及的半导体层叠体100S等相比,结晶生长需要花费时间。然而,在本实施方式中,不是整个的包覆层,而仅是包覆层的一部分的第二N型包覆层302b由 AlGaInN 构成,因此能够抑制结晶生长所需要的时间的增加。

[0109] 并且,在本实施方式中,分别作为第一半导体层的一个例子的第二N型包覆层302b、第一N侧引导层303、第二N侧引导层304、以及第一P侧引导层306的各Al组分比,高于第一N型包覆层302a以及P型包覆层109的Al组分比。为了抑制在活性层305发生的光的吸收,需要增大势垒层105a以及105c的带隙能量,伴随于此,也需要增大光引导层以及包覆层的带隙能量。在本实施方式中,由于第一半导体层的Al组分比高于第一N型包覆层302a以及P型包覆层109的Al组分比,因此能够增高第一半导体层的In组分比。据此,能够减少相对于衬底101的半导体层叠体的拉伸应变。

[0110] 并且,在本实施方式中,分别作为第一半导体层的一个例子的第二N型包覆层302b、第一N侧引导层303、第二N侧引导层304、以及第一P侧引导层306相对于衬底101具有

压缩应变。换言之,分别作为N侧半导体层的一个例子的第二N型包覆层302b、第一N侧引导层303、以及第二N侧引导层304、还有作为P侧半导体层的一个例子的第一P侧引导层306中的AlGaInN的晶格常数,比衬底101中的GaN的晶格常数大。并且,第一半导体层的带隙能量比构成衬底101的GaN的带隙能量大。另外,半导体层叠体的其他的层相对于衬底101具有拉伸应变。因此,通过上述各个层具有压缩应变,从而能够进一步减少相对于衬底101的半导体层叠体的拉伸应变,并且能够抑制在活性层305发生的光的吸收。

[0111] 并且,在本实施方式中,分别作为第一半导体层的一个例子的第二N型包覆层302b、第一N侧引导层303、第二N侧引导层304、以及第一P侧引导层306的各Al组分比,高于势垒层105a以及105c的Al组分比。如以上所述,为了抑制在活性层305发生的光的吸收,因此需要增大引导层以及包覆层的带隙能量。在本实施方式中,由于第一半导体层的Al组分比高于势垒层105a以及105c的Al组分比,因此能够增高第一半导体层的In组分比。据此,能够减少相对于衬底101的半导体层叠体的拉伸应变。

[0112] 并且,通过被配置在电子阻挡层107与活性层305之间的第一P侧引导层306具有压缩应变,从而能够形成从电子阻挡层107向活性层305的压电电场。据此,能够提高向活性层305的空穴注入效率。

[0113] 并且,在本实施方式中,分别作为第一半导体层的一个例子的第二N型包覆层302b、第一N侧引导层303、第二N侧引导层304、以及第一P侧引导层306的各In组分比高于势垒层105a以及105c的In组分比。并且,分别作为第一半导体层的一个例子的第二N型包覆层302b、第一N侧引导层303、第二N侧引导层304、以及第一P侧引导层306的各Al组分比在势垒层105a以及105c的Al组分比以下。据此,能够减少相对于衬底101的半导体层叠体的拉伸应变。

[0114] 并且,在本实施方式中,通过阱层305b由AlGaInN构成,从而阱层305b内的In组分比波动,据此引起局部性地存在载流子,发光效率提高。并且,与阱层由InGaInN构成的情况相比,由于通过压缩应变的减少能够减少压电电场,因此内部量子效率的增大以及振荡波长的长波长偏移的减少成为可能。

[0115] (实施方式4)

[0116] 对实施方式4所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件在第一P侧引导层的构成上与实施方式3所涉及的氮化物系半导体发光元件不同。以下,以与实施方式3所涉及的氮化物系半导体发光元件的不同之处为中心,利用图7对本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。图7是示出本实施方式所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0117] 本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件与实施方式3所涉及的氮化物系半导体发光元件同样,具备衬底101、半导体层叠体、电流阻挡层111、P侧电极112、以及N侧电极113。本实施方式所涉及的半导体层叠体如图7所示,具有第一N型包覆层302a、第二N型包覆层302b、第三N型包覆层302c、第一N侧引导层303、第二N侧引导层304、活性层305、第一P侧引导层406、电子阻挡层107、第二P侧引导层108、P型包覆层109、以及接触层110(参照图2A)。

[0118] 本实施方式所涉及的第一P侧引导层406被配置在活性层305的上方,是由氮化物系半导体构成的P侧半导体层的一个例子。第一P侧引导层406也是被配置在P型包覆层109

与活性层305之间的由AlGaInN构成的第一半导体层的一个例子。在本实施方式中,第一P侧引导层406是被配置在活性层305与电子阻挡层107之间的膜厚为72nm的未掺杂 $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.76}\text{In}_{0.06}\text{N}$ 层。

[0119] 如以上所述,在本实施方式中,第一P侧引导层406的带隙能量比第一N侧引导层303以及第二N侧引导层304的带隙能量小。并且,第一P侧引导层406的In组分量高于第一N侧引导层303以及第二N侧引导层304的In组分量。

[0120] 据此,第一P侧引导层406的压缩应变比第一N侧引导层303以及第二N侧引导层304的压缩应变大。伴随于此,从电子阻挡层107向活性层305的压电电场,比从活性层305向第一N型包覆层302a等的N型包覆层的压电电场大。因此,能够提高向活性层305的空穴注入效率。由于与电子相比空穴的有效质量大,因此一般而言,与电子相比空穴的注入效率呈现变低的倾向。在本实施方式中,由于N侧的各光引导层的压缩应变,来使第一P侧引导层406的压缩应变增大,因此能够使从电子阻挡层107向活性层305的压电电场,比从活性层305向第一N型包覆层302a等的N型包覆层的压电电场大。因此,能够提高注入效率具有比电子低的倾向的空穴的注入效率。

[0121] (实施方式5)

[0122] 对实施方式5所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件在P侧的光引导层的构成上与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件不同。以下,以与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件100的不同之处为中心,利用图8对本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。图8是示出本实施方式所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0123] 本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件同样,具备衬底101、半导体层叠体、电流阻挡层111、P侧电极112、以及N侧电极113。本实施方式所涉及的半导体层叠体如图8所示,具有N型包覆层102、第一N侧引导层103、第二N侧引导层104、活性层105、第一P侧引导层106、第三P侧引导层506、电子阻挡层107、第二P侧引导层108、P型包覆层109、以及接触层110(参照图2A)。

[0124] 本实施方式所涉及的半导体层叠体在具备第三P侧引导层506之处与实施方式1所涉及的半导体层叠体100S不同。

[0125] 第三P侧引导层506是配置在P型包覆层109与活性层105之间的光引导层即第一引导层的一个例子,由氮化物系半导体构成。第三P侧引导层506与P型包覆层109相比,折射率大且带隙能量小。第三P侧引导层506的平均带隙能量在第一P侧引导层106的平均带隙能量以上。第三P侧引导层506含有Al。并且,第三P侧引导层506是P型的氮化物系半导体层。在本实施方式中,第三P侧引导层506被配置在第一P侧引导层106与电子阻挡层107之间,是掺杂了浓度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的Mg的膜厚为70nm的P型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 层。另外,在本实施方式中,第三P侧引导层506的折射率以及平均带隙能量与第二P侧引导层108的折射率以及平均带隙能量分别相等。

[0126] 即使在具有这种构成的氮化物系半导体发光元件中,也能够实现与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件100同样的效果。

[0127] (实施方式6)

[0128] 对实施方式6所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。本实施方式所涉及的

氮化物系半导体发光元件在第一P侧引导层的构成上与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件不同。以下,以与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件100的不同之处为中心,利用图9对本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。图9是示出本实施方式所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0129] 本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件同样,具备衬底101、半导体层叠体、电流阻挡层111、P侧电极112、以及N侧电极113。本实施方式所涉及的半导体层叠体如图9所示,具有N型包覆层102、第一N侧引导层103、第二N侧引导层104、活性层105、第一P侧引导层606、电子阻挡层107、第二P侧引导层108、P型包覆层109、以及接触层110(参照图2A)。

[0130] 本实施方式所涉及的半导体层叠体在包括第一P侧引导层606的Al组分比随着远离活性层105而单调增加的Al组分倾斜区域之处,与实施方式1所涉及的半导体层叠体100S不同。

[0131] 本实施方式所涉及的第一P侧引导层606被配置在活性层105的上方,是由氮化物系半导体构成的P侧半导体层的一个例子。在本实施方式中,第一P侧引导层606被配置在P型包覆层109与活性层105之间,也是由AlGaInN构成的第一半导体层的一个例子。第一P侧引导层606的平均带隙能量比P型包覆层109的平均带隙能量小。第一P侧引导层606是膜厚为72nm的未掺杂AlGaInN层。在本实施方式中,第一P侧引导层606的Al组分比由 X_{pg1} 来表示。第一P侧引导层606的离活性层105近的一侧的界面附近以及离活性层105远的一侧的界面附近的Al组分比 X_{pg1} 分别为5.0%以及5.6%。第一P侧引导层606中的In组分比为1.0%,在层内是均一的。即,第一P侧引导层606的组分在离活性层105近的一侧的界面为 $Al_{0.05}Ga_{0.94}In_{0.01}N$,在离活性层105远的一侧的界面为 $Al_{0.056}Ga_{0.934}In_{0.01}N$ 。第一P侧引导层606在离活性层105近的一侧的界面具有与第二N侧引导层104相同的带隙能量,在离活性层105远的一侧的界面具有与第二P侧引导层108相同的带隙能量。

[0132] 即使在具有这种构成的氮化物系半导体发光元件中,也能够实现与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件100同样的效果。

[0133] 并且,在第一P侧引导层606中,随着远离活性层105而使Al组分比单调增加,使折射率随着接近于活性层105而逐渐增大。因此,由于能够提高第一P侧引导层606中的离活性层105近的区域折射率,因此能够使层叠方向上的光强分布的峰值位置接近于活性层105的层叠方向的中央。据此,能够提高光学限制因子。

[0134] 另外,在本实施方式中,虽然第一P侧引导层606全体都是Al组分倾斜区域,不过也可以是,第一P侧引导层606中的仅层叠方向中的一部分的区域为Al组分倾斜区域。

[0135] (实施方式7)

[0136] 对实施方式7所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件在第一N侧引导层、阱层、以及第一P侧引导层的构成上与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件100的不同之处为中心,利用图10对本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。图10是示出本实施方式所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0137] 本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件与实施方式1所涉及的氮化物系半

导体发光元件同样,具备衬底101、半导体层叠体、电流阻挡层111、P侧电极112、以及N侧电极113。本实施方式所涉及的半导体层叠体如图10所示,具有N型包覆层102、第一N侧引导层703、第二N侧引导层104、活性层305、第一P侧引导层706、电子阻挡层107、第二P侧引导层108、P型包覆层109、以及接触层110(参照图2A)。

[0138] 本实施方式所涉及的活性层305的构成与实施方式3所涉及的活性层305的构成相同。

[0139] 本实施方式所涉及的第一N侧引导层703是被配置在N型包覆层102与活性层305之间的光引导层即第一引导层的一个例子,由AlGaInN构成。即第一N侧引导层703既是第一半导体层的一个例子,也是N侧半导体层的一个例子。第一N侧引导层703与N型包覆层102相比,折射率大且带隙能量小。并且,第一N侧引导层703是N型的氮化物系半导体层。在本实施方式中,第一N侧引导层703被配置在N型包覆层102与第二N侧引导层104之间,是掺杂了浓度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 的Si的膜厚为70nm的N型 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.94}\text{In}_{0.01}\text{N}$ 层。第一N侧引导层703的平均带隙能量、Al组分比、以及In组分比,与第二N侧引导层104的平均带隙能量、Al组分比、以及In组分比分别相等。

[0140] 第一P侧引导层706是未掺杂的 $\text{Al}_{0.154}\text{Ga}_{0.796}\text{In}_{0.05}\text{N}$ 层。第一N侧引导层703以及第二N侧引导层104各自的平均带隙能量与第一P侧引导层706的平均带隙能量相等。并且,第一N侧引导层703、第二N侧引导层104、以及第一P侧引导层706各自的平均带隙能量比第二P侧引导层108的平均带隙能量小。

[0141] 本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件通过具备以上这种构成,从而势垒层105a到第一P侧引导层706相对于衬底101具有压缩应变,而其他的层具有拉伸应变。这样,通过第一P侧引导层706相对于衬底101具有压缩应变,从而能够形成从电子阻挡层107向活性层305的压电电场,因此能够提高空穴注入效率。

[0142] (实施方式8)

[0143] 对实施方式8所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件在阱层以及第一P侧引导层的构成上与实施方式6所涉及的氮化物系半导体发光元件不同。以下,以与实施方式6所涉及的氮化物系半导体发光元件100的不同之中为中心,利用图11对本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。图11是示出本实施方式所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0144] 本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件与实施方式6所涉及的氮化物系半导体发光元件同样,具备衬底101、半导体层叠体、电流阻挡层111、P侧电极112、以及N侧电极113。本实施方式所涉及的半导体层叠体如图11所示,具有N型包覆层102、第一N侧引导层103、第二N侧引导层104、活性层305、第一P侧引导层806、电子阻挡层107、第二P侧引导层108、P型包覆层109、以及接触层110(参照图2A)。

[0145] 本实施方式所涉及的活性层305的构成与实施方式3所涉及的活性层305的构成相同。

[0146] 本实施方式所涉及的第一P侧引导层806被配置在活性层305的上方,是由氮化物系半导体构成的P侧半导体层的一个例子。在本实施方式中,第一P侧引导层806被配置在P型包覆层109与活性层305之间,也是由AlGaInN构成的第一半导体层的一个例子。第一P侧引导层806的平均带隙能量比P型包覆层109的平均带隙能量小。第一P侧引导层806是膜厚

为72nm的未掺杂AlGaInN层。在本实施方式中,第一P侧引导层806包括随着远离活性层305而组分发生变化的组分倾斜区域。第一P侧引导层806的Al组分比以及In组分比分别由 X_{pg1} 以及 Y_{pg1} 来表示。第一P侧引导层806的离活性层305近的一侧的界面附近以及远的一侧的界面附近中的Al组分比 X_{pg1} 分别为15.4%以及5.6%。第一P侧引导层806的离活性层305近的一侧的界面附近以及远的一侧的界面附近中的In组分比 Y_{pg1} 分别为5.0%以及1.0%。即第一P侧引导层806的组分在离活性层305近的一侧的界面为 $Al_{0.154}Ga_{0.796}In_{0.05}N$,在离活性层305远的一侧的界面为 $Al_{0.056}Ga_{0.934}In_{0.01}N$ 。

[0147] 在这样的第一P侧引导层806中,在与活性层305的界面附近具有压缩应变,在与电子阻挡层107的界面附近具有拉伸应变。

[0148] 另外,在本实施方式中,虽然第一P侧引导层806的全体都是组分倾斜区域,不过也可以是,第一P侧引导层806之中的仅层叠方向中的一部分的区域为组分倾斜区域。

[0149] (实施方式9)

[0150] 对实施方式9所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件的不同之处是,不具备第二N侧引导层,以及势垒层、第一P侧引导层、电子阻挡层和第二P侧引导层的构成不同。以下利用图12,以与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件100的不同之处为中心,对本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。图12是示出本实施方式所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0151] 本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件同样,具备衬底101、半导体层叠体、电流阻挡层111、P侧电极112、以及N侧电极113。本实施方式所涉及的半导体层叠体如图12所示,具有N型包覆层102、第一N侧引导层103、活性层905、第一P侧引导层906、电子阻挡层907、第二P侧引导层908、P型包覆层109、以及接触层110(参照图2A)。

[0152] 本实施方式所涉及的第一N侧引导层103与实施方式1所涉及的第一N侧引导层103同样是 $Al_{0.03}Ga_{0.97}N$ 层,但是膜厚和杂质浓度不同。本实施方式所涉及的第一N侧引导层103是膜厚为140nm的未掺杂 $Al_{0.03}Ga_{0.97}N$ 层。

[0153] 活性层905被配置在第一N侧引导层103的上方,与第一N侧引导层103接触。另外,活性层905具有两个势垒层905a以及905c、和阱层105b。在本实施方式中,阱层105b是膜厚为17.5nm的未掺杂 $Ga_{0.99}In_{0.01}N$ 层。

[0154] 势垒层905a以及905c分别被配置在第一N侧引导层103的上方,是作为量子阱结构的势垒来发挥功能的氮化物系半导体层。势垒层905c被配置在势垒层905a的上方。在本实施方式中,势垒层905a以及905c各自的带隙能量,比阱层105b的带隙能量、第一P侧引导层906的平均带隙能量、以及第一N侧引导层103的平均带隙能量大、且比电子阻挡层907的平均带隙能量小。势垒层905a以及905c分别是膜厚为10nm的未掺杂 $Al_{0.04}Ga_{0.96}N$ 层。

[0155] 第一P侧引导层906被配置在活性层905的上方,是由氮化物系半导体构成的P侧半导体层的一个例子。在本实施方式中,第一P侧引导层906被配置在P型包覆层109与活性层905之间,也是由AlGaInN构成的第一半导体层的一个例子。也就是说,在氮化物系半导体发光元件100中,只有第一N侧引导层103(即N侧半导体层)以及第一P侧引导层906(即P侧半导体层)中的第一P侧引导层906由AlGaInN构成。在本实施方式中,第一P侧引导层906是光引

导层。第一P侧引导层906的平均带隙能量比P型包覆层109的平均带隙能量小。第一P侧引导层906是未掺杂AlGaInN层。在本实施方式中,第一P侧引导层906是膜厚为72nm的未掺杂 $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.9516}\text{In}_{0.0084}\text{N}$ 层。

[0156] 电子阻挡层907是被配置在第一P侧引导层906与P型包覆层109之间的氮化物系半导体层。电子阻挡层907的带隙能量比势垒层905c的带隙能量大。据此,能够抑制电子从活性层905向P型包覆层109的泄漏。在本实施方式中,电子阻挡层907的带隙能量比P型包覆层109的带隙能量大。电子阻挡层907是掺杂了浓度 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的Mg的膜厚为5nm的P型 $\text{Al}_{0.36}\text{Ga}_{0.64}\text{N}$ 层。

[0157] 第二P侧引导层908是被配置在P型包覆层109与活性层905之间的光引导层即第一引导层的一个例子,由氮化物系半导体构成。第二P侧引导层908也是被配置在电子阻挡层907与P型包覆层109之间的第二引导层的一个例子。第二P侧引导层908与P型包覆层109相比,折射率大且带隙能量小。第二P侧引导层908的平均带隙能量在第一P侧引导层906的平均带隙能量以上。第二P侧引导层908含有Al。并且,第二P侧引导层908是P型的氮化物系半导体层。在本实施方式中,第二P侧引导层908被配置在电子阻挡层907与P型包覆层109之间,是掺杂了浓度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的Mg的膜厚为148nm的P型 $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 层。第二P侧引导层908的平均带隙能量与势垒层905a以及905c各自的平均带隙能量相等。

[0158] 如本实施方式所示,即使在第一N侧引导层103以及第一P侧引导层906之中只有第一P侧引导层906是由AlGaInN构成的氮化物系半导体发光元件中,也能够减少相对于衬底101的半导体层叠体的拉伸应变。另外,也可以是在第一N侧引导层103以及第一P侧引导层906之中,仅第一N侧引导层103由AlGaInN构成。即使在具有这种构成的氮化物系半导体发光元件中,由于第一P侧引导层906由AlGaInN构成,因此也能够减少相对于衬底101的半导体层叠体的拉伸应变。

[0159] 并且如本实施方式所示,势垒层905a以及905c也可以由AlGaN构成。即使在具有这种构成的氮化物系半导体发光元件中,由于第一P侧引导层906由AlGaInN构成,因此也能够减少相对于衬底101的半导体层叠体的拉伸应变。

[0160] 并且在本实施方式中,第一P侧引导层906由AlGaInN构成,第一N侧引导层103由AlGaN构成。因此,第一P侧引导层906的In组比分高于第一N侧引导层103的In组比分。据此,能够使第一P侧引导层906的平均带隙能量比第一N侧引导层的平均带隙能量小。在本实施方式中,相对于衬底101而言,第一P侧引导层906的拉伸应变比第一N侧引导层103的拉伸应变小。因此,从活性层905向电子阻挡层907的压电电场比从N型包覆层102向活性层905的压电电场小。因此与实施方式4同样,能够提高注入效率具有比电子低的倾向的空穴的注入效率。

[0161] (实施方式10)

[0162] 对实施方式10所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件的半导体层叠体在阱层、电子阻挡层、以及接触层以外的构成上与实施方式9所涉及的半导体层叠体不同。在本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件中,与实施方式9所涉及的氮化物系半导体发光元件相比,包覆层等中的Al组比分大。以下利用图13,以与实施方式9所涉及的氮化物系半导体发光元件的不同之处为中心,对本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。图13是示出本实施方式所涉及的半导

体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0163] 本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件与实施方式9所涉及的氮化物系半导体发光元件同样,具备衬底101、半导体层叠体、电流阻挡层111、P侧电极112、以及N侧电极113。本实施方式所涉及的半导体层叠体如图13所示,具有N型包覆层1002、第一N侧引导层1003、活性层1005、第一P侧引导层1006、电子阻挡层907、第二P侧引导层1008、P型包覆层1009、以及接触层110(参照图2A)。

[0164] N型包覆层1002被配置在衬底101的上方,是由AlGa_N构成的第一包覆层的一个例子。N型包覆层1002的导电型为N型。N型包覆层1002与活性层1005相比,折射率小且平均带隙能量大。在本实施方式中,N型包覆层1002是掺杂了浓度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 的Si的膜厚为800nm的N型Al_{0.10}Ga_{0.90}N层。

[0165] 第一N侧引导层1003是被配置在N型包覆层1002与活性层1005之间的光引导层即第一引导层的一个例子,由氮化物系半导体构成。第一N侧引导层1003与N型包覆层1002相比,折射率大且带隙能量小。第一N侧引导层1003含有Al。并且,第一N侧引导层1003是未掺杂的氮化物系半导体层。在本实施方式中,第一N侧引导层1003是被配置在N型包覆层1002与活性层1005之间的膜厚为70nm的未掺杂Al_{0.05}Ga_{0.95}N层。

[0166] 活性层1005具有阱层105b和两个势垒层1005a以及1005c。

[0167] 势垒层1005a以及1005c分别被配置在第一N侧引导层1003的上方,是作为量子阱结构的势垒来发挥功能的氮化物系半导体层。势垒层1005c被配置在势垒层1005a的上方。在本实施方式中,势垒层1005a以及1005c各自的带隙能量,比阱层105b的带隙能量、第一P侧引导层1006的平均带隙能量、以及第一N侧引导层1003的平均带隙能量大,比电子阻挡层907的平均带隙能量小。势垒层1005a以及1005c分别是膜厚为10nm的未掺杂Al_{0.07}Ga_{0.93}N层。

[0168] 第一P侧引导层1006被配置在活性层1005的上方,是由氮化物系半导体构成的P侧半导体层的一个例子。在本实施方式中,第一P侧引导层1006也是被配置在P型包覆层1009与活性层1005之间的由AlGaInN构成的第一半导体层的一个例子。在本实施方式中,第一P侧引导层1006是光引导层。第一P侧引导层1006的平均带隙能量比P型包覆层1009的平均带隙能量小。第一P侧引导层1006是未掺杂AlGaInN层。在本实施方式中,第一P侧引导层1006是膜厚72nm的未掺杂Al_{0.07}Ga_{0.917}In_{0.013}N层。

[0169] 第二P侧引导层1008是被配置在P型包覆层1009与活性层1005之间的光引导层即第一引导层的一个例子,由氮化物系半导体构成。第二P侧引导层1008也是被配置在电子阻挡层907与P型包覆层1009之间的第二引导层的一个例子。第二P侧引导层1008与P型包覆层1009相比,折射率大且带隙能量小。第二P侧引导层1008的平均带隙能量在第一P侧引导层1006的平均带隙能量以上。第二P侧引导层1008含有Al。并且,第二P侧引导层1008是P型的氮化物系半导体层。在本实施方式中,第二P侧引导层1008被配置在电子阻挡层907与P型包覆层1009之间,是掺杂了浓度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 的Mg的膜厚为148nm的P型Al_{0.06}Ga_{0.94}N层。

[0170] P型包覆层1009被配置在衬底101的上方,是由AlGa_N构成的第一包覆层的一个例子。P型包覆层1009的导电型为P型。在本实施方式中,P型包覆层1009被配置在第一P侧引导层1006的上方。P型包覆层1009与活性层1005相比,折射率小且平均带隙能量大。P型包覆层1009的平均带隙能量比电子阻挡层907的平均带隙能量小。在本实施方式中,在P型包覆层1009中作为杂质而掺杂了Mg。P型包覆层1009的离活性层1005近的一侧的端部中的杂质浓

度,比离活性层1005远的一侧的端部中的杂质浓度低。具体而言,P型包覆层1009是膜厚为450nm的AlGaInN层,具有被配置在离活性层1005近的一侧的掺杂了浓度 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的Mg的膜厚为150nm的P型 $\text{Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ 层、以及被配置在离活性层1005远的一侧的掺杂了浓度 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的Mg的膜厚为300nm的P型 $\text{Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ 层。

[0171] 如本实施方式所涉及的半导体层叠体所示,即使在各包覆层等的Al组分量大的情况下,由于半导体层叠体具备由AlGaInN构成的第一P侧引导层1006,因此也能够减少相对于衬底101的半导体层叠体的拉伸应变。

[0172] (实施方式11)

[0173] 对实施方式11所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件的半导体层叠体在活性层的构成上与实施方式9所涉及的半导体层叠体不同。在本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件中,活性层的各个层由AlGaInN构成。以下利用图14,以与实施方式9所涉及的氮化物系半导体发光元件不同之处为中心,对本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。图14是示出本实施方式所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0174] 本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件与实施方式9所涉及的氮化物系半导体发光元件同样,具备衬底101、半导体层叠体、电流阻挡层111、P侧电极112、以及N侧电极113。本实施方式所涉及的半导体层叠体如图14所示,具有N型包覆层102、第一N侧引导层103、活性层1105、第一P侧引导层906、电子阻挡层907、第二P侧引导层908、P型包覆层109、以及接触层110(参照图2A)。

[0175] 活性层1105具有阱层305b、和两个势垒层1105a以及1105c。在本实施方式中,阱层305b是膜厚为17.5nm的未掺杂 $\text{Al}_{0.02}\text{Ga}_{0.96}\text{In}_{0.02}\text{N}$ 层。

[0176] 势垒层1105a以及1105c分别被配置在第一N侧引导层103的上方,是作为量子阱结构的势垒来发挥功能的氮化物系半导体层。势垒层1105c被配置在势垒层1105a的上方。在本实施方式中,势垒层1105a以及1105c各自的带隙能量,比阱层305b的带隙能量、第一P侧引导层906的平均带隙能量、以及第一N侧引导层103的平均带隙能量大,且比电子阻挡层907的平均带隙能量小。势垒层1105a以及1105c各自是膜厚为10nm的未掺杂 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.92}\text{In}_{0.02}\text{N}$ 层。

[0177] 即使在本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件,也能够实现与实施方式9所涉及的氮化物系半导体发光元件同样的效果。进一步如本实施方式所涉及的半导体层叠体所示,通过活性层1105的各个层由AlGaIn构成,因此能够使作为第一半导体层的一个例子的第一P侧引导层906的Al组分量低于势垒层1105a以及1105c的Al组分量。据此,能够更进一步减少相对于衬底101的半导体层叠体的拉伸应变。

[0178] (实施方式12)

[0179] 对实施方式12所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件的半导体层叠体主要在活性层以及第一P侧引导层的构成上与实施方式1所涉及的半导体层叠体不同。以下利用图15,以与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件不同之处为中心,对本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。图15是示出本实施方式所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0180] 本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件同样,具备衬底101、半导体层叠体、电流阻挡层111、P侧电极112、以及N侧电极113。本实施方式所涉及的半导体层叠体如图15所示,具有N型包覆层1202、第一N侧引导层1203、第二N侧引导层1204、活性层1205、第一P侧引导层1206、电子阻挡层1207、第二P侧引导层1208、P型包覆层1209、以及接触层110(参照图2A)。

[0181] N型包覆层1202被配置在衬底101的上方,是由AlGa_N构成的第一包覆层的一个例子。N型包覆层1202的导电型为N型。N型包覆层1202与活性层1205相比,折射率小且平均带隙能量大。在本实施方式中,N型包覆层1202是掺杂了浓度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的Si的膜厚为900nm的N型Al_{0.065}Ga_{0.935}N层。

[0182] 第一N侧引导层1203是被配置在N型包覆层1202与活性层1205之间的光引导层即第一引导层的一个例子,由氮化物系半导体构成。第一N侧引导层1203与N型包覆层1202相比,折射率大且带隙能量小。第一N侧引导层1203含有Al。在本实施方式中,第一N侧引导层1203被配置在N型包覆层1202与第二N侧引导层1204之间,是掺杂了浓度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的Si的膜厚为127nm的N型Al_{0.03}Ga_{0.97}N层。

[0183] 第二N侧引导层1204是被配置在N型包覆层1202的上方的由氮化物系半导体构成的N侧半导体层的一个例子。在本实施方式中,第二N侧引导层1204是被配置在N型包覆层1202与活性层1205之间的由AlGa_N构成的半导体层。在本实施方式中,第二N侧引导层1204是光引导层。第二N侧引导层1204的平均带隙能量比N型包覆层1202的平均带隙能量小。第二N侧引导层1204是未掺杂AlGa_N层。第一N侧引导层1203的平均带隙能量以及Al组分比与第二N侧引导层1204的平均带隙能量以及Al组分比分别相等。在本实施方式中,第二N侧引导层1204是被配置在第一N侧引导层1203与活性层1205之间的膜厚为80nm的未掺杂Al_{0.03}Ga_{0.97}N层。

[0184] 活性层1205具有阱层1205b和两个势垒层1205a以及1205c。在本实施方式中,以来自氮化物系半导体发光元件的光致发光的峰值波长成为366nm的方式来决定阱层1205b的构成。阱层1205b是膜厚为17.5nm的未掺杂Ga_{0.99}In_{0.01}N层。

[0185] 势垒层1205a是被配置在第一N侧引导层1203与阱层1205b之间的作为量子阱结构的势垒来发挥功能的氮化物系半导体层。势垒层1205c是被配置在阱层1205b与第一P侧引导层1206之间的作为量子阱结构的势垒来发挥功能的氮化物系半导体层。在本实施方式中,势垒层1205a以及1205c各自的带隙能量比阱层1205b的带隙能量、第一P侧引导层1206的平均带隙能量、以及第一N侧引导层1203的平均带隙能量大,且比电子阻挡层1207的平均带隙能量小。势垒层1205a是膜厚为14nm的未掺杂Al_{0.04}Ga_{0.96}N层,势垒层1205c是膜厚为12nm的未掺杂Al_{0.04}Ga_{0.96}N层。

[0186] 第一P侧引导层1206被配置在活性层1205的上方,是由氮化物系半导体构成的P侧半导体层的一个例子。在本实施方式中,第一P侧引导层1206包括下侧第一P侧引导层1206a和上侧第一P侧引导层1206b。下侧第一P侧引导层1206a被配置在P型包覆层1209与活性层1205之间,是由AlGaInN构成的层。上侧第一P侧引导层1206b被配置在下侧第一P侧引导层1206a与P型包覆层1209之间,是由AlGa_N构成的层。下侧第一P侧引导层1206a是被配置在P型包覆层1209与活性层1205之间的由AlGa_N构成的第一半导体层的一个例子。并且,下侧第一P侧引导层1206a也是配置在活性层1205的上方的由氮化物系半导体构成的P侧半导体层

的一个例子。在本实施方式中,第一P侧引导层1206是光引导层。下侧第一P侧引导层1206a以及上侧第一P侧引导层1206b各自的平均带隙能量比P型包覆层1209的平均带隙能量小。在本实施方式中,第一P侧引导层1206被配置在活性层1205与电子阻挡层1207之间,包括膜厚为53nm的未掺杂 $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.95}\text{In}_{0.01}\text{N}$ 层即下侧第一P侧引导层1206a、以及膜厚为7nm的未掺杂 $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 层即上侧第一P侧引导层1206b。下侧第一P侧引导层1206a针对衬底101具有压缩应变。另外,上侧第一P侧引导层1206b在包括与电子阻挡层1207的界面的区域,随着接近于该界面而Mg浓度可以逐渐增大。这样,上侧第一P侧引导层1206b的杂质浓度可以不均一。上侧第一P侧引导层1206b与下侧第一P侧引导层1206a相比,折射率小且带隙能量大。

[0187] 电子阻挡层1207是被配置在第一P侧引导层1206与P型包覆层1209之间的氮化物系半导体层。电子阻挡层1207的带隙能量比势垒层1205c的带隙能量大。据此,能够抑制电子从活性层1205向P型包覆层1209的泄漏。在本实施方式中,电子阻挡层1207的带隙能量比P型包覆层1209的带隙能量大。电子阻挡层1207是掺杂了浓度 $1.5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的Mg的膜厚为1.6nm的P型 $\text{Al}_{0.36}\text{Ga}_{0.64}\text{N}$ 层。

[0188] 第二P侧引导层1208是被配置在P型包覆层1209与活性层1205之间的光引导层即第一引导层的一个例子,由氮化物系半导体构成。第二P侧引导层1208也是被配置在电子阻挡层1207与P型包覆层1209之间的第二引导层的一个例子。第二P侧引导层1208与P型包覆层1209相比,折射率大且带隙能量小。第二P侧引导层1208与下侧第一P侧引导层1206a相比,折射率小且带隙能量大。第二P侧引导层1208与第二N侧引导层1204为相同的折射率,且带隙能量相同。第二P侧引导层1208含有Al。并且,第二P侧引导层1208是P型的氮化物系半导体层。在本实施方式中,第二P侧引导层1208被配置在电子阻挡层1207与P型包覆层1209之间,是掺杂了浓度 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的Mg的膜厚为110nm的P型 $\text{Al}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 层。

[0189] P型包覆层1209被配置在衬底101的上方,是由AlGaIn构成的第一包覆层的一个例子。P型包覆层1209的导电型为P型。在本实施方式中,P型包覆层1209被配置在第一P侧引导层1206的上方。P型包覆层1209与活性层1205相比,折射率小且平均带隙能量大。P型包覆层1209的平均带隙能量比电子阻挡层1207的平均带隙能量小。在本实施方式中,在P型包覆层1209中作为杂质而掺杂了Mg。P型包覆层1209的离活性层1205近的一侧的端部中的杂质浓度比离活性层1205远的一侧的端部中的杂质浓度低。具体而言,P型包覆层1209是膜厚为450nm的AlGaIn层,具有被配置在离活性层1205近的一侧的掺杂了浓度 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的Mg的膜厚为150nm的P型 $\text{Al}_{0.065}\text{Ga}_{0.935}\text{N}$ 层、以及被配置在离活性层1205远的一侧的掺杂了浓度 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的Mg的膜厚为300nm的P型 $\text{Al}_{0.065}\text{Ga}_{0.935}\text{N}$ 层。

[0190] 即使在本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件中,也能够减少相对于衬底101的半导体层叠体的拉伸应变。在本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件中,针对活性层1205的光学限制因子为5.2%、光损耗(即波导损耗)为 3.8cm^{-1} 、有效折射率差为 14.0×10^{-3} 。在此,有效折射率差是指,形成在P型包覆层1209的脊部(参照图2A的脊部109R)的下方的光存在的区域的平均折射率、与脊部的下方以外的光存在的区域的平均折射率的差。

[0191] 并且,在本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件中,能够使光强分布在层叠方向上的峰值位置位于距第二N侧引导层1204与势垒层1205a的界面11.3nm的上方。这样,在本实施方式中能够使光强分布在层叠方向上的峰值位置位于活性层1205的阱层1205b附近。

[0192] 并且,在本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件中,出射光在层叠方向上的发散角为44.7度。在此,发散角是表示出射光的扩散角度的参数,发散角中的光强被决定为光轴上的光强的 $1/e^2$ 。

[0193] 并且也可以是,由AlGaInN构成的下侧第一P侧引导层1206a的带隙能量比GaN的带隙能量大且在第二P侧引导层1208的带隙能量以下。据此,在下侧第一P侧引导层1206a中,既能够减少针对激光振荡波长的光吸收性的波导损耗,又能够使下侧第一P侧引导层1206a的折射率在第二P侧引导层1208的折射率以上。在这种情况下,通过使垂直方向上的光分布的峰值强度为最大的位置向阱层附近的位置的控制性提高,从而能够在使光学限制因子增大的同时得到低的波导损耗。

[0194] 如以上所示,在本实施方式中能够实现具有良好的特性的氮化物系半导体发光元件。

[0195] 另外,本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件的构成并非受上述的构成例所限。例如,第一P侧引导层1206的下侧第一P侧引导层1206a的组分也可以与上述的构成例不同。以下,对下侧第一P侧引导层1206a中的与上述构成例不同的变形例1进行说明。

[0196] 在变形例1中,下侧第一P侧引导层1206a是膜厚为53nm的未掺杂 $Al_{0.04}Ga_{0.945}In_{0.015}N$ 层。下侧第一P侧引导层1206a针对衬底101具有压缩应变。

[0197] 即使在变形例1所涉及的氮化物系半导体发光元件中,也能够实现与上述的本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件同样的效果。在变形例1所涉及的氮化物系半导体发光元件中,针对活性层1205的光学限制因子为4.8%、光损耗为 4.3cm^{-1} 、有效折射率差为 12.9×10^{-3} 。

[0198] 并且,在变形例1所涉及的氮化物系半导体发光元件中,能够使光强分布在层叠方向上的峰值位置位于距第二N侧引导层1204与势垒层1205a的界面3.5nm的上方。在这种变形例1中,能够使光强分布在层叠方向上的峰值位置位于活性层1205的阱层1205b附近。并且,在变形例1所涉及的氮化物系半导体发光元件中,出射光在层叠方向上的发散角为42.5度。

[0199] 另外,下侧第一P侧引导层1206a的构成并非受此所限。例如,不仅是下侧第一P侧引导层1206a的In组份比,膜厚也可以与本实施方式所涉及的下侧第一P侧引导层1206a不同。例如,变形例2所涉及的下侧第一P侧引导层1206a可以是膜厚为25nm的未掺杂 $Al_{0.04}Ga_{0.945}In_{0.015}N$ 层。在这种变形例2所涉及的氮化物系半导体发光元件中,针对活性层1205的光学限制因子为4.8%、光损耗为 4.7cm^{-1} 、有效折射率差为 13.9×10^{-3} 。并且在变形例2所涉及的氮化物系半导体发光元件中,能够使光强分布在层叠方向上的峰值位置位于距第二N侧引导层1204与势垒层1205a的界面2.3nm的上方。这样,即使在变形例2所涉及的氮化物系半导体发光元件中,也能够使光强分布在层叠方向上的峰值位置位于活性层1205的阱层1205b附近。并且,在变形例2所涉及的氮化物系半导体发光元件中,出射光在层叠方向上的发散角为42.4度。

[0200] 如以上所述,在本实施方式及其变形例中,能够实现具有良好的特性的氮化物系半导体发光元件。

[0201] (实施方式13)

[0202] 对实施方式13所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。本实施方式所涉及的

氮化物系半导体发光元件的半导体层叠体主要在第一P侧引导层的构成上与实施方式12所涉及的半导体层叠体不同。以下利用图16,以与实施方式12所涉及的氮化物系半导体发光元件不同之处为中心,来对本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件进行说明。图16是示出本实施方式所涉及的半导体层叠体的带隙能量在层叠方向上的分布的线状图。

[0203] 本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件与实施方式1所涉及的氮化物系半导体发光元件同样,具备衬底101、半导体层叠体、电流阻挡层111、P侧电极112、以及N侧电极113。本实施方式所涉及的半导体层叠体如图15所示,具有N型包覆层1202、第一N侧引导层1203、第二N侧引导层1204、活性层1205、第一P侧引导层1306、电子阻挡层1207、第二P侧引导层1208、P型包覆层1209、以及接触层110(参照图2A)。

[0204] 本实施方式所涉及的第一P侧引导层1306被配置在活性层1205的上方,是由氮化物系半导体构成的P侧半导体层的一个例子。在本实施方式中,第一P侧引导层1306包括下侧第一P侧引导层1306a以及上侧第一P侧引导层1206b。下侧第一P侧引导层1306a是被配置在P型包覆层1209与活性层1205之间的由AlGaInN构成的层。上侧第一P侧引导层1206b是被配置在下侧第一P侧引导层1306a与P型包覆层1209之间的由AlGaN构成的层。下侧第一P侧引导层1306a是被配置在P型包覆层1209与活性层1205之间的由AlGaN构成的第一半导体层的一个例子。并且,下侧第一P侧引导层1206a也是被配置在活性层1205的上方的由氮化物系半导体构成的P侧半导体层的一个例子。本实施方式所涉及的第一P侧引导层1306与实施方式12所涉及的第一P侧引导层1206的不同之处是下侧第一P侧引导层1306a的In组分比。在本实施方式中,第一P侧引导层1306被配置在活性层1205与电子阻挡层1207之间,包括作为膜厚为53nm的未掺杂 $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.955}\text{In}_{0.005}\text{N}$ 层的下侧第一P侧引导层1306a、以及作为膜厚为7nm的未掺杂 $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 层的上侧第一P侧引导层1206b。下侧第一P侧引导层1306a针对衬底101具有拉伸应变。下侧第一P侧引导层1306a与第二P侧引导层1208为折射率大致相等且带隙能量相等。

[0205] 即使在具有以上这种构成的本实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件中,也能够与实施方式12所涉及的氮化物系半导体发光元件同样,实现具有良好的特性的氮化物系半导体发光元件。

[0206] (变形例等)

[0207] 以上虽然基于各实施方式对本公开所涉及的氮化物系半导体发光元件进行了说明,但是本公开并非受上述各实施方式所限。

[0208] 例如在上述各实施方式中,虽然示出了氮化物系半导体发光元件是半导体激光元件的例子,不过氮化物系半导体发光元件并非受半导体激光元件所限。例如,氮化物系半导体发光元件也可以是超辐射发光二极管。在这种情况下,氮化物系半导体发光元件所具备的半导体层叠体的端面针对从半导体层叠体射出的光的反射率可以在0.1%以下。这种反射率例如能够通过端面形成由多层介电质膜等构成的抗反射膜来实现。或者,若成为波导的脊部为从前端面的法线方向倾斜 5° 以上来与前端面交叉的倾斜条纹结构,则在前端面反射的波导光能够再次与波导结合,成为波导光的成分的比例能够被设定为0.1%以下的小的值。

[0209] 并且在各实施方式中,P型包覆层虽然是Al组分比均一的层,但是P型包覆层的构成并非受此所限。例如,P型包覆层也可以具有多个AlGaN层的每一个与多个GaN层的每一个

交替层叠的超晶格结构。

[0210] 并且,各实施方式虽然具有第二P侧引导层,不过也可以不具有第二P侧引导层。

[0211] 并且,各实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件虽然具有第一N侧引导层和第一P侧引导层这双方,不过也可以是具有第一N侧引导层,而不具有第一P侧引导层。或者可以是具有第一P侧引导层而不具有第一N侧引导层。

[0212] 并且,在各实施方式中,虽然是在衬底101上层叠了N型包覆层,不过也可以是在衬底101与N型包覆层之间插入其他的层。例如,在衬底101与N型包覆层之间也可以插入缓冲层、基底层等。

[0213] 并且,针对上述的各实施方式执行本领域技术人员所能够想到的各种变形而得到的方式,在不脱离本公开的主旨的范围内对上述的各实施方式中的构成要素以及功能进行任意组合而实现的方式均包括在本公开内。

[0214] 产业上的可利用性

[0215] 本公开的氮化物系半导体发光元件例如能够作为高输出且高效率的光源来适用于曝光装置以及加工机械中所使用的光源等。

[0216] 附图标记说明

[0217] 100氮化物系半导体发光元件

[0218] 100F、100R端面

[0219] 100S半导体层叠体

[0220] 101衬底

[0221] 102、1002、1202N型包覆层

[0222] 103、203、303、703、1003、1203第一N侧引导层

[0223] 104、304、1204第二N侧引导层

[0224] 105、305、905、1005、1105、1205活性层

[0225] 105a、105c、905a、905c、1005a、1005c、1105a、1105c、1205a、1205c势垒层

[0226] 105b、305b、1205b阱层

[0227] 106、306、406、606、706、806、906、1006、1206、1306第一P侧引导层

[0228] 107、907、1207电子阻挡层

[0229] 108、908、1008、1208第二P侧引导层

[0230] 109、1009、1209P型包覆层

[0231] 109R脊部

[0232] 109T槽部

[0233] 110接触层

[0234] 111电流阻挡层

[0235] 112P侧电极

[0236] 113N侧电极

[0237] 302a第一N型包覆层

[0238] 302b第二N型包覆层

[0239] 302c第三N型包覆层

[0240] 506第三P侧引导层

[0241] 1206a、1306a下侧第一P侧引导层

[0242] 1206b上侧第一P侧引导层

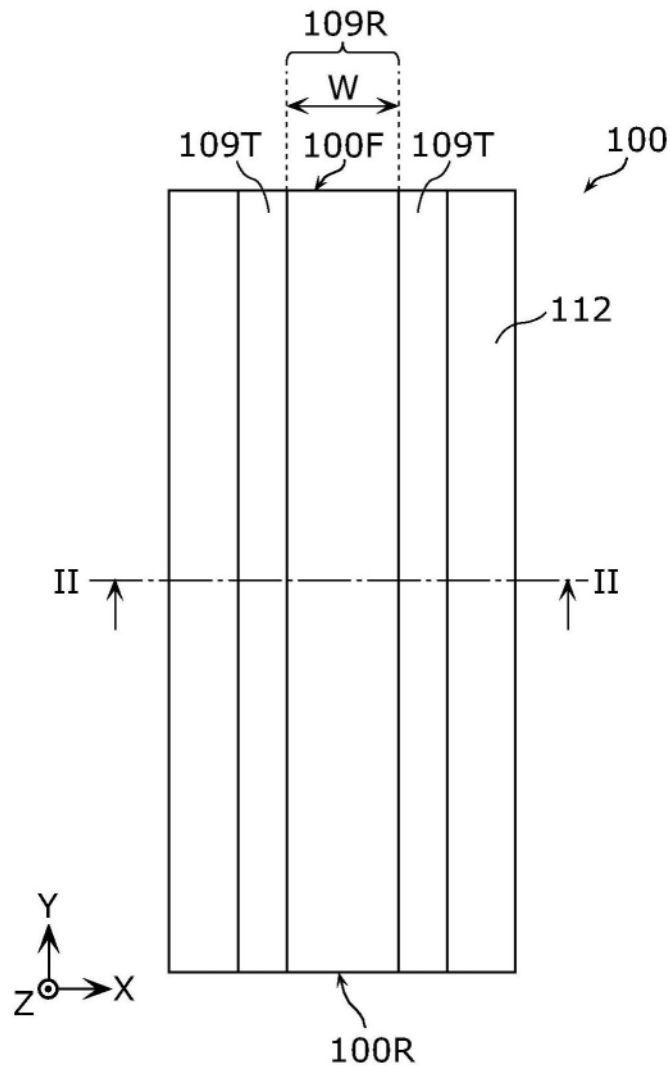


图1

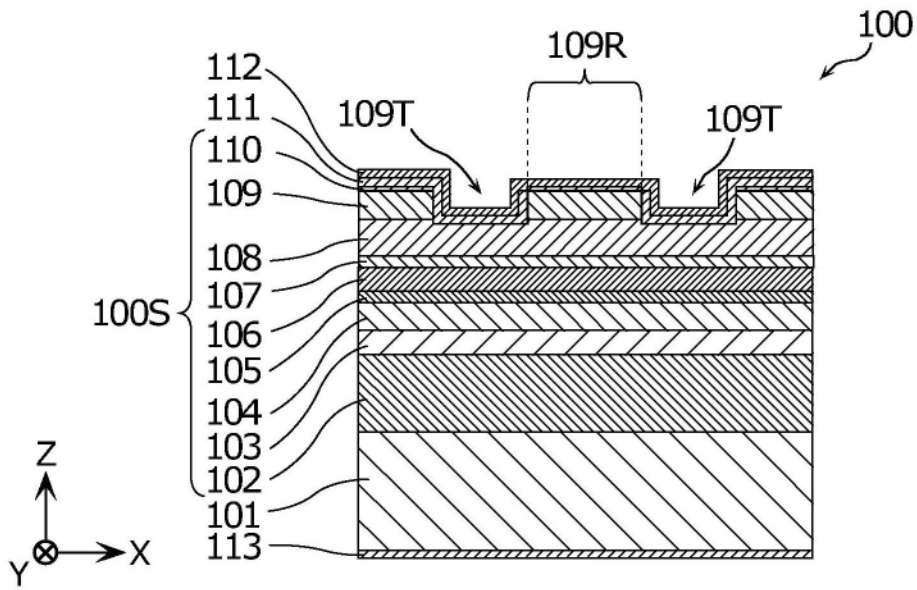


图2A

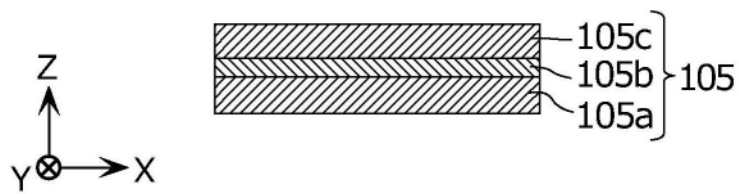


图2B

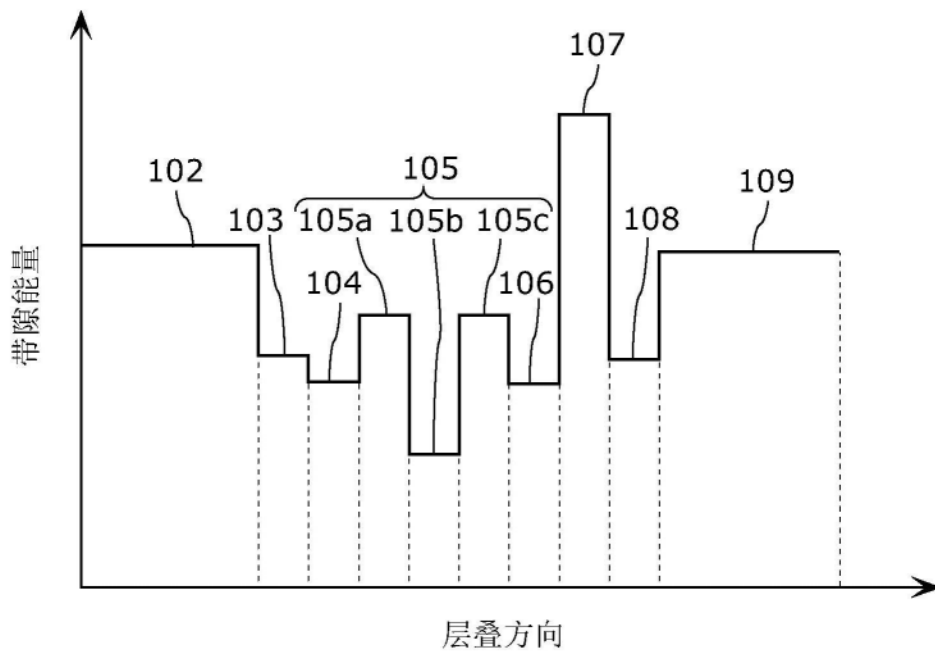


图3

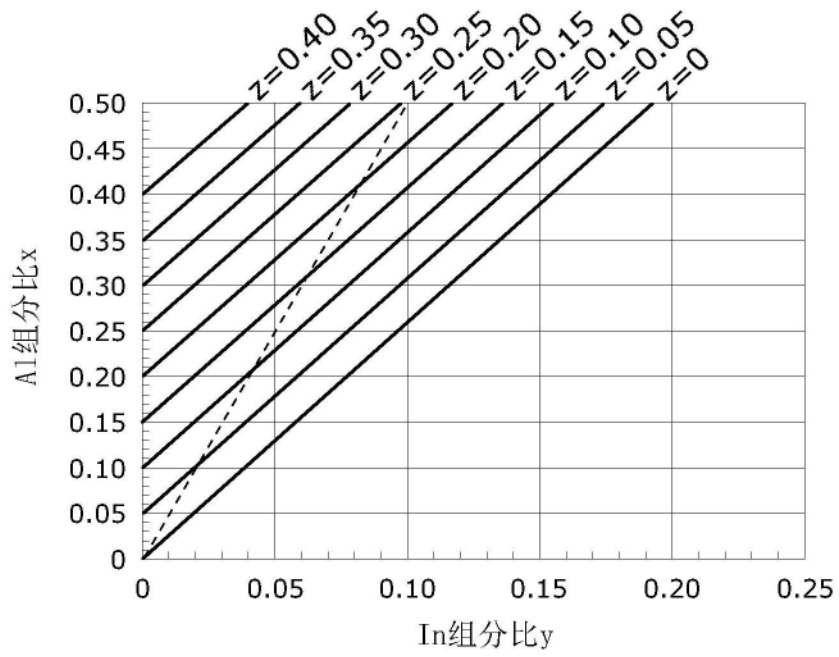


图4

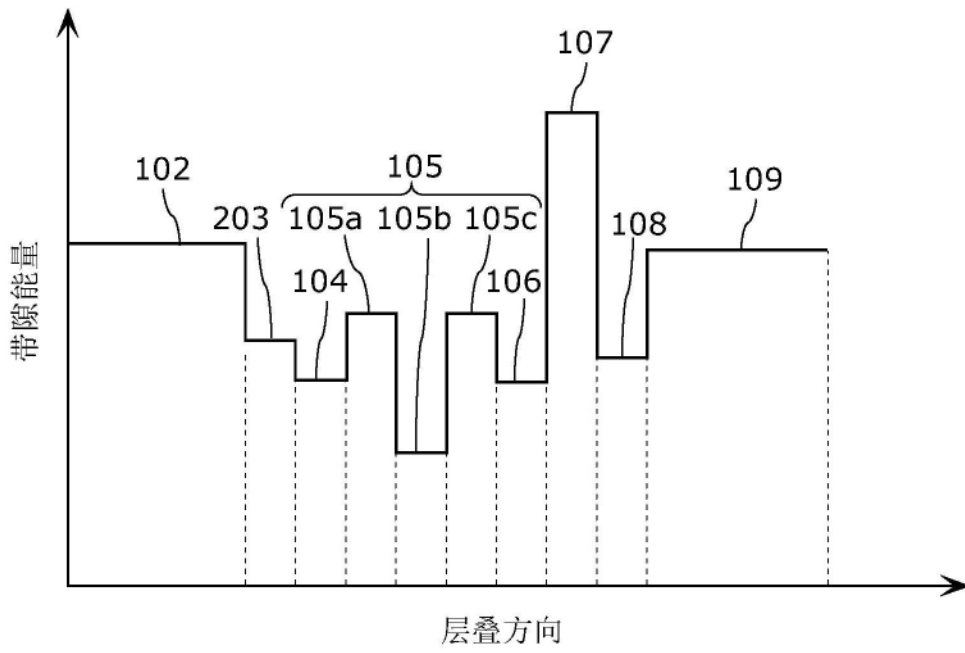


图5

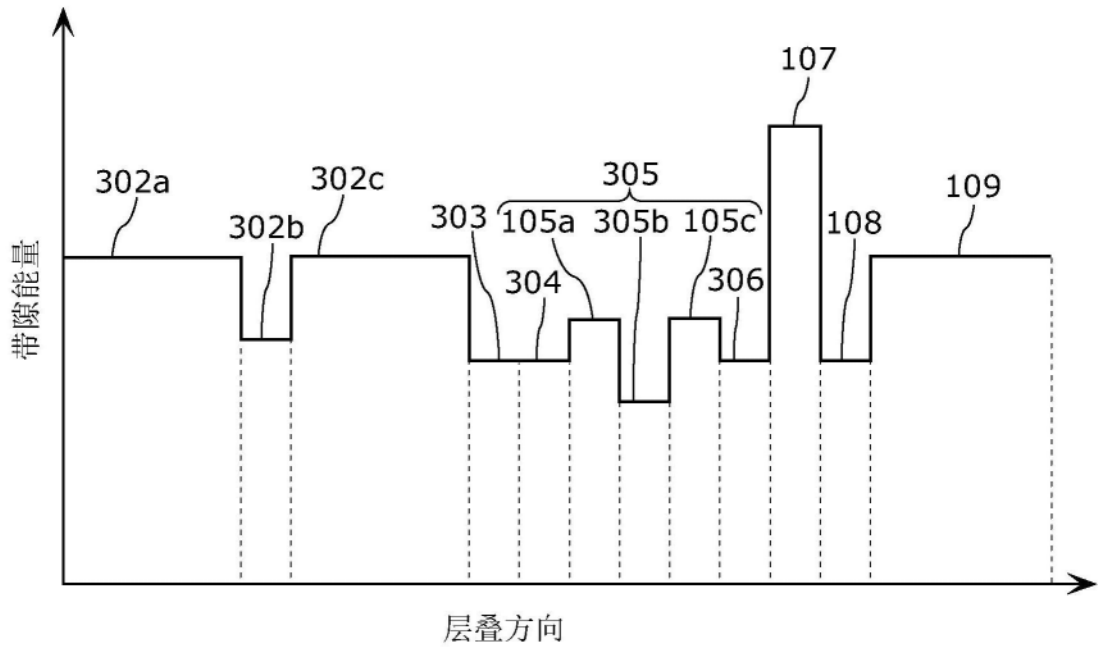


图6

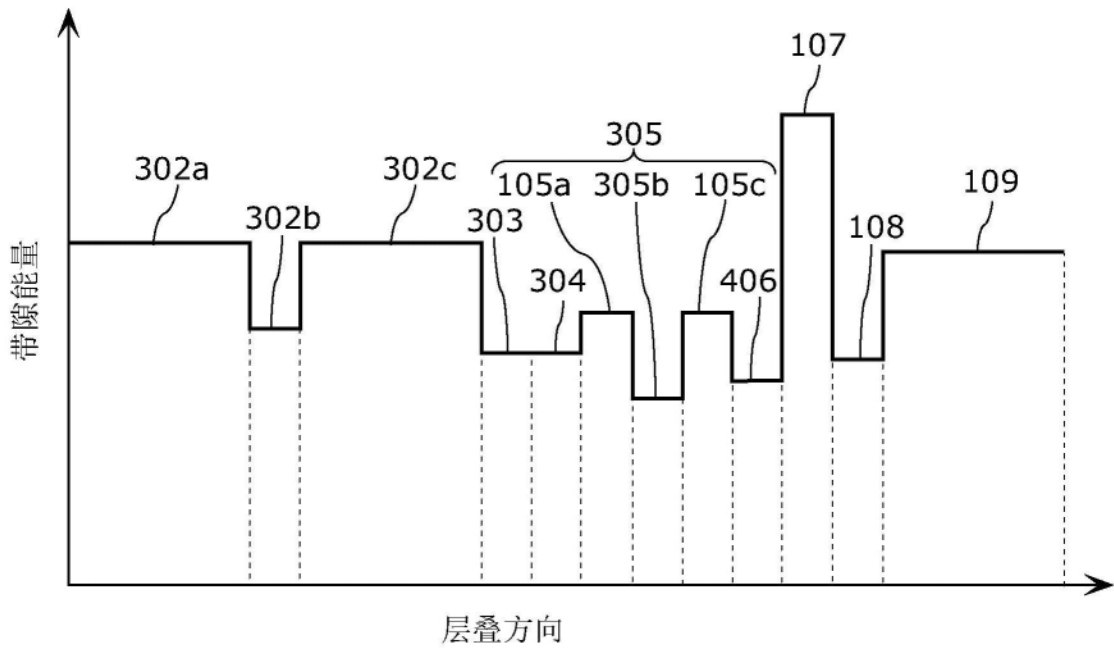


图7

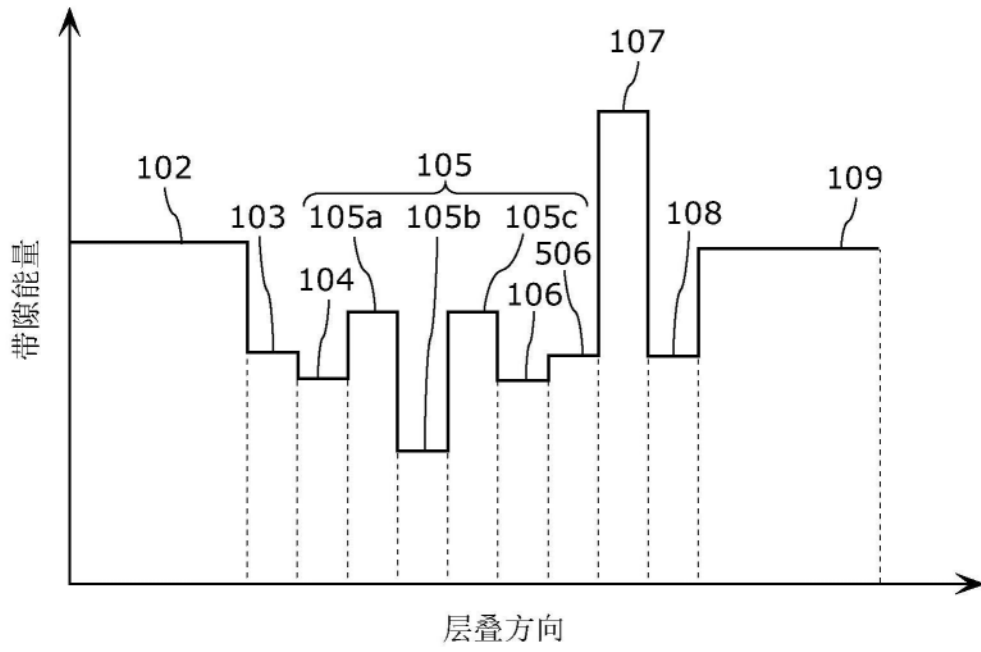


图8

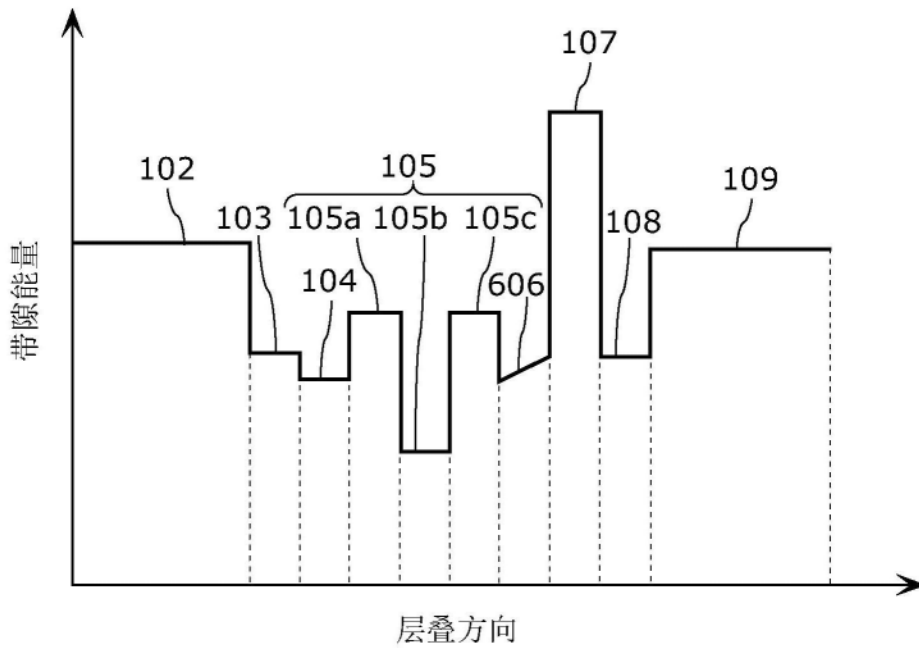


图9

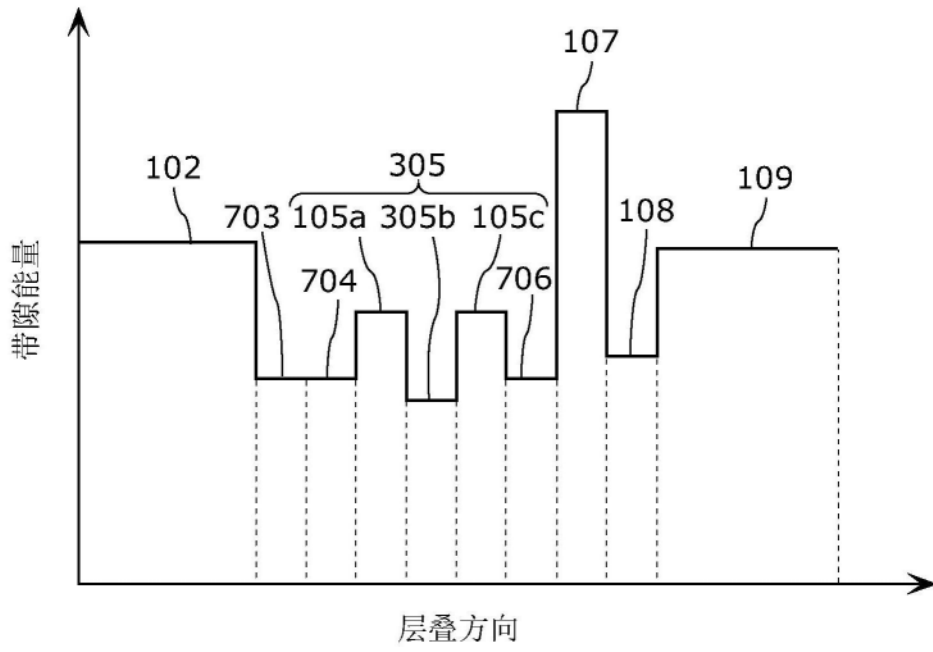


图10

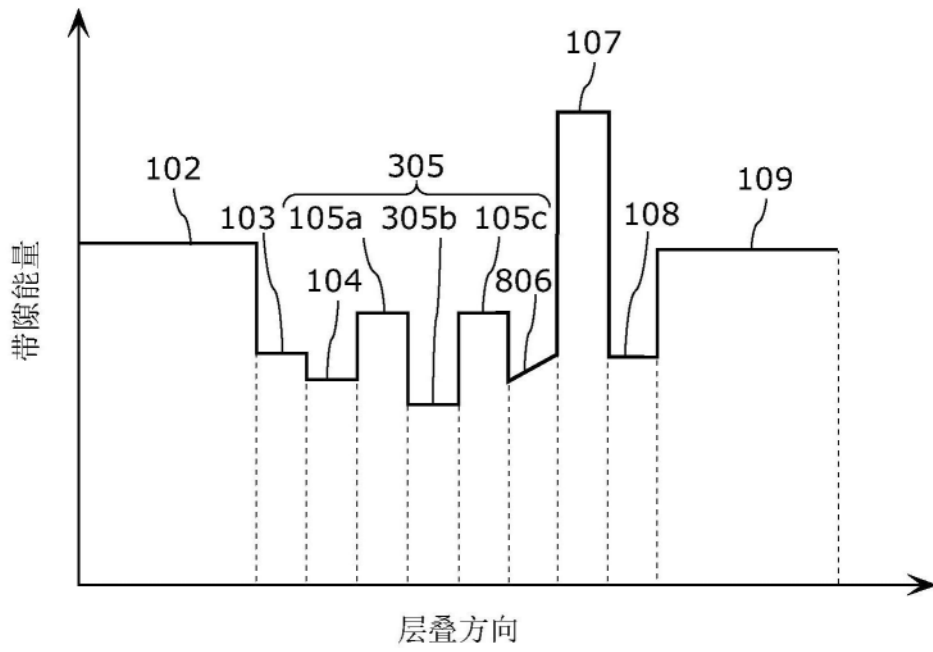


图11

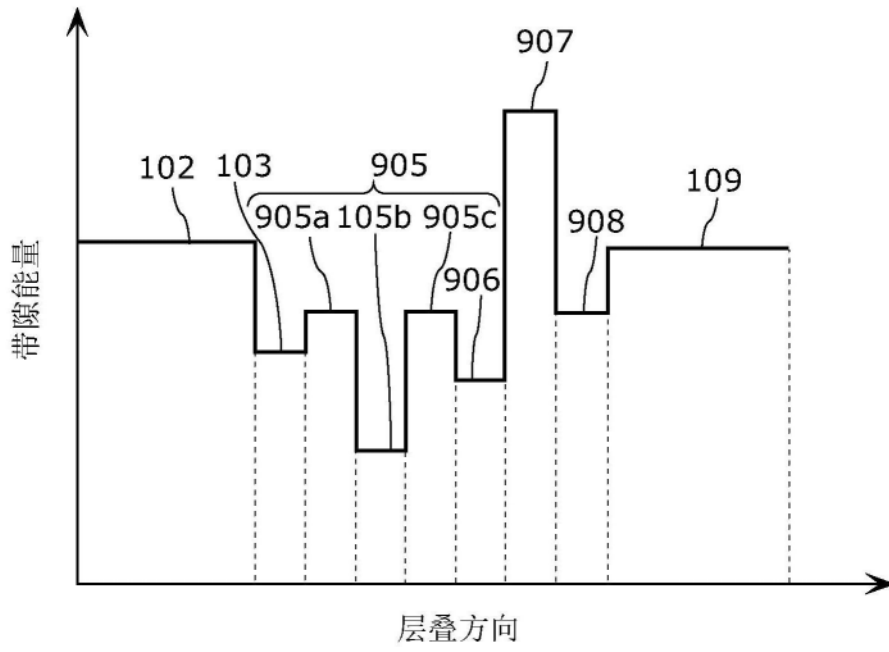


图12

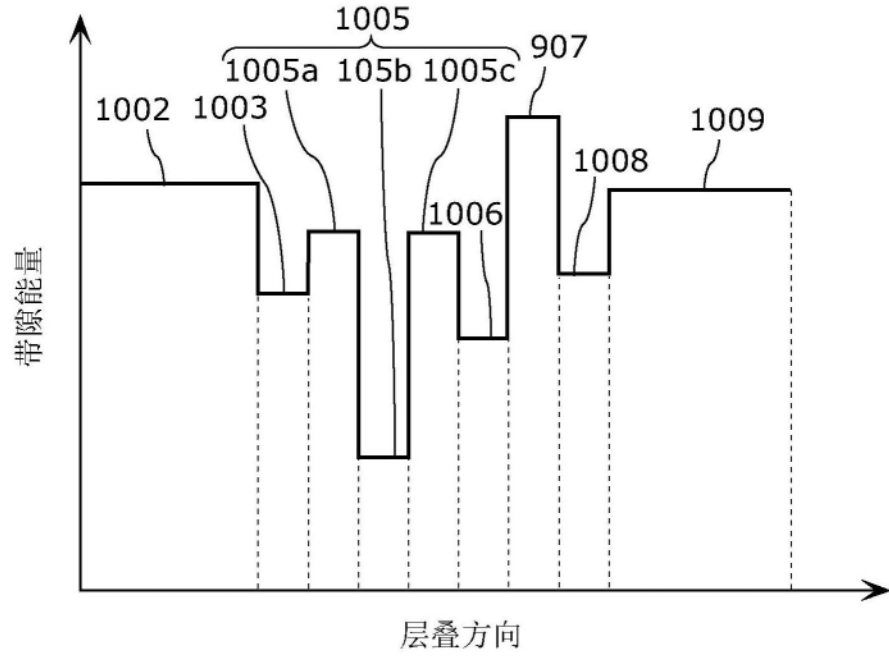


图13

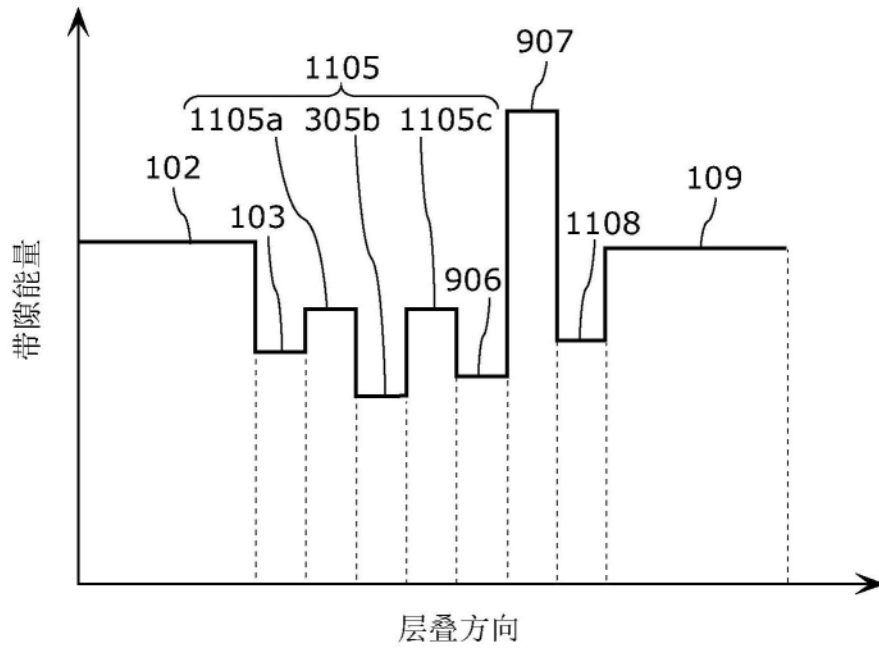


图14

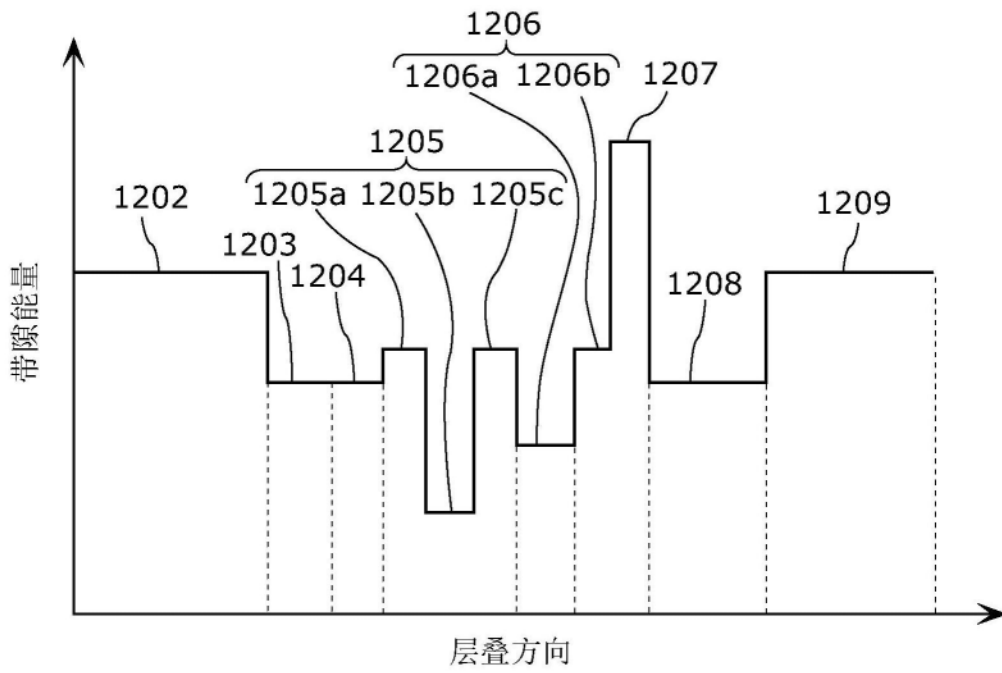


图15

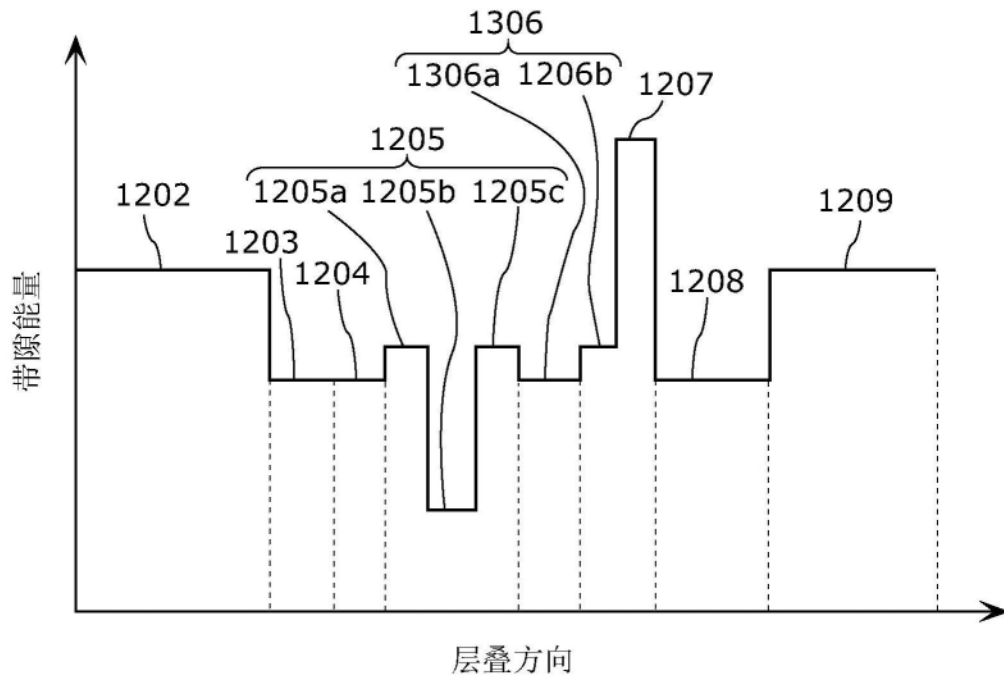


图16