



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111937261 B

(45) 授权公告日 2021.10.08

(21) 申请号 201980020756.3

(22) 申请日 2019.01.28

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111937261 A

(43) 申请公布日 2020.11.13

(30) 优先权数据
2018-069125 2018.03.30 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2020.09.21

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2019/002749 2019.01.28

(87) PCT国际申请的公布数据
W02019/187583 JA 2019.10.03

(73) 专利权人 新唐科技日本株式会社
地址 日本京都府

(72) 发明人 高山彻 吉田真治 高桥邦方

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021
代理人 齐秀凤

(51) Int.Cl.
H01S 5/343 (2006.01)

(56) 对比文件
US 6606334 B1, 2003.08.12
EP 2988381 A2, 2016.02.24
CN 102208754 A, 2011.10.05
CN 108463930 A, 2018.08.28
CN 1856915 A, 2006.11.01
CN 1440579 A, 2003.09.03

审查员 王艺潼

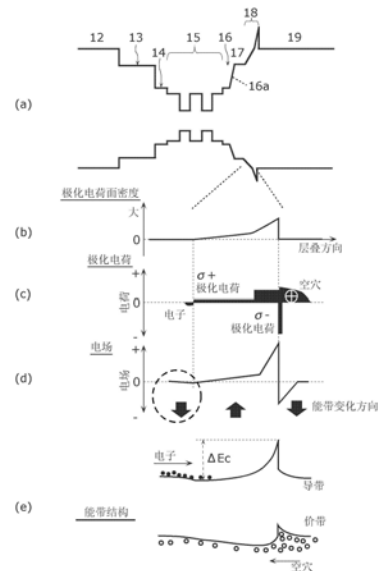
权利要求书5页 说明书33页 附图34页

(54) 发明名称

半导体发光元件

(57) 摘要

半导体发光元件(100)具备:GaN衬底(11);被配置在GaN衬底(11)的上方且包括第1导电型的氮化物系半导体的第1半导体层(12);被配置在第1半导体层(12)的上方且包括含有Ga或In的氮化物系半导体的活性层(15);被配置在活性层(15)的上方且包括至少含有Al的氮化物系半导体的电子阻挡层(18);以及被配置在电子阻挡层(18)的上方且包括与第1导电型不同的第2导电型的氮化物系半导体的第2半导体层(19),电子阻挡层(18)具有:Al组成比以第1变化率来变化的第1区域;以及被配置在第1区域和第2半导体层(19)之间,Al组成比以第2变化率来变化的第2区域,在第1区域以及第2区域中,Al组成比针对从活性层(15)朝向第2半导体层(19)的方向为单调增加,第2变化率比第1变化率大。



1. 一种半导体发光元件，

所述半导体发光元件具备：

GaN衬底；

被配置在所述GaN衬底的上方的第1半导体层，该第1半导体层包括第1导电型的氮化物系半导体；

被配置在所述第1半导体层的上方的活性层，该活性层包括含有Ga或In的氮化物系半导体；

被配置在所述活性层的上方的电子阻挡层，该电子阻挡层包括至少含有Al的氮化物系半导体；以及

被配置在所述电子阻挡层的上方的第2半导体层，该第2半导体层包括与所述第1导电型不同的第2导电型的氮化物系半导体，

在所述电子阻挡层，将与所述GaN衬底的主面垂直的层叠方向设为x轴方向，

将离所述活性层最近的所述层叠方向上的位置设为位置 $x = X_s$ ，将离所述活性层最远侧的所述层叠方向上的位置设为位置 $x = X_e$ ，

将所述位置 $x = X_s$ 与所述位置 $x = X_e$ 之间，Al组成比最大的所述层叠方向上的位置设为位置 $x = X_m$ ，

满足 $X_s \leq x \leq X_e$ 的位置x上的所述电子阻挡层的Al组成比由函数 $f(x)$ 来表示，将关于所述函数 $f(x)$ 的x的一阶导数设为 $f'(x)$ ，将关于所述函数 $f(x)$ 的x的二阶导数设为 $f''(x)$ ，

所述电子阻挡层在关于位置x而满足 $X_s < x \leq X_m$ 的区域具有第1凹区域，在该第1凹区域， $f''(x) > 0$ 、且 $f'(x) > 0$ ，

在所述第1凹区域的位置 $x = X_1$ 中，所述二阶导数 $f''(x)$ 成为极大，

所述电子阻挡层在关于位置x而满足 $X_1 < x \leq X_e$ 的区域具有第1凸区域，在该第1凸区域， $f''(x) \leq 0$ ，

将经由点 $(X_s, f(X_s))$ ，与所述函数 $f(x)$ 在所述第1凸区域的点 $(X_t, f(X_t))$ 相接的一次函数设为函数 $g(x)$ 时，在满足 $X_s < x < X_t$ 的位置x，所述函数 $f(x)$ 、所述函数 $g(x)$ 以及所述一阶导数 $f'(x)$ 满足 $g(x) > f(x)$ 、且 $f'(x) > 0$ 的关系。

2. 如权利要求1所述的半导体发光元件，

在所述电子阻挡层的Al组成比发生变化的区域中，Al组成比连续地变化。

3. 如权利要求1或2所述的半导体发光元件，

所述位置 $x = X_m$ 被配置在所述第1凸区域。

4. 如权利要求1或2所述的半导体发光元件，

所述电子阻挡层在关于位置x而满足 $X_s \leq x < X_1$ 的区域具有第2凹区域，该第2凹区域包括 $f'(x) > 0$ 、且所述二阶导数 $f''(x)$ 成为极大的位置。

5. 如权利要求1或2所述的半导体发光元件，

所述电子阻挡层在关于位置x而满足 $X_s \leq x < X_1$ 的区域具有第2凸区域，在该第2凸区域， $f''(x) \leq 0$ 。

6. 如权利要求4所述的半导体发光元件，

所述电子阻挡层在关于位置x而满足 $X_s \leq x < X_1$ 的区域具有第2凸区域，在该第2凸区域， $f''(x) \leq 0$ ，

所述第2凸区域被配置在所述第2凹区域与所述第1凹区域之间。

7. 如权利要求1所述的半导体发光元件，

所述电子阻挡层在关于位置 x 而满足 $X_s \leq x < X_1$ 的区域具有第2凸区域，在该第2凸区域， $f''(x) \leq 0$ ，

将与所述函数 $f(x)$ 在所述第2凸区域的点 $(X_u, f(X_u))$ 相接、且与所述函数 $f(x)$ 在所述第1凸区域的点 $(X_v, f(X_v))$ 相接的一次函数设为函数 $h(x)$ 时，在满足 $X_u < x < X_v$ 的位置 x ，所述函数 $f(x)$ 、所述函数 $h(x)$ 以及所述一阶导数 $f'(x)$ 满足 $h(x) > f(x)$ 、且 $f'(x) > 0$ 的关系。

8. 如权利要求1或2所述的半导体发光元件，

在位置 $x = (X_s + X_m) / 2$ 中， $f''(x) > 0$ 、且 $f'(x) > 0$ 。

9. 如权利要求1或2所述的半导体发光元件，

所述第1凹区域的宽度为 $(X_m - X_s) / 2$ 以上。

10. 如权利要求1或2所述的半导体发光元件，

在所述电子阻挡层，将与所述GaN衬底的主面垂直的层叠方向设为 x 轴方向，

将离所述活性层最近的所述层叠方向上的位置设为位置 $x = X_s$ ，将离所述活性层最远侧的所述层叠方向上的位置设为位置 $x = X_e$ ，

将所述位置 $x = X_s$ 与所述位置 $x = X_e$ 之间，Al组成比最大的所述层叠方向上的位置设为位置 $x = X_m$ ，

所述电子阻挡层从所述活性层侧依次具有第1减少区域以及第2减少区域，所述第1减少区域是在从所述位置 $x = X_m$ 朝向所述第2半导体层的方向上，Al组成比单调减少的区域，所述第2减少区域是以比所述第1减少区域小的变化率，Al组成比单调减少的区域。

11. 一种半导体发光元件，

所述半导体发光元件具备：

GaN衬底；

被配置在所述GaN衬底的上方的第1半导体层，该第1半导体层包括第1导电型的氮化物系半导体；

被配置在所述第1半导体层的上方的活性层，该活性层包括含有Ga或In的氮化物系半导体；

被配置在所述活性层的上方的电子阻挡层，该电子阻挡层包括至少含有Al的氮化物系半导体；以及

被配置在所述电子阻挡层的上方的第2半导体层，该第2半导体层包括与所述第1导电型不同的第2导电型的氮化物系半导体，

在所述电子阻挡层，将与所述GaN衬底的主面垂直的层叠方向设为 x 轴方向，

将离所述活性层最近的所述层叠方向上的位置设为位置 $x = X_s$ ，将离所述活性层最远侧的所述层叠方向上的位置设为位置 $x = X_e$ ，

将所述位置 $x = X_s$ 与所述位置 $x = X_e$ 之间，Al组成比最大的所述层叠方向上的位置设为位置 $x = X_m$ ，

满足 $X_s \leq x \leq X_e$ 的位置 x 上的所述电子阻挡层的Al组成比由函数 $f(x)$ 来表示，将关于所述函数 $f(x)$ 的 x 的一阶导数设为 $f'(x)$ ，将关于所述函数 $f(x)$ 的 x 的二阶导数设为 $f''(x)$ ，

所述电子阻挡层在关于位置 x 而满足 $X_s < x \leq X_m$ 的区域具有第1凹区域，在该第1凹区

域, $f''(x) > 0$ 、且 $f'(x) > 0$,

所述电子阻挡层从所述活性层侧依次具有第1减少区域以及第2减少区域,所述第1减少区域是在从所述位置 $x = X_m$ 朝向所述第2半导体层的方向上,A1组成比单调减少的区域,所述第2减少区域是以比所述第1减少区域小的变化率,A1组成比单调减少的区域。

12. 一种半导体发光元件,

所述半导体发光元件具备:

GaN衬底;

被配置在所述GaN衬底的上方的第1半导体层,该第1半导体层包括第1导电型的氮化物系半导体;

被配置在所述第1半导体层的上方的活性层,该活性层包括含有Ga或In的氮化物系半导体;

被配置在所述活性层的上方的电子阻挡层,该电子阻挡层包括至少含有Al的氮化物系半导体;以及

被配置在所述电子阻挡层的上方的第2半导体层,该第2半导体层包括与所述第1导电型不同的第2导电型的氮化物系半导体,

所述电子阻挡层具有第1区域以及第2区域,所述第1区域是在与所述GaN衬底的主面垂直的层叠方向上,A1组成比以第1变化率来变化的区域,所述第2区域被配置在所述第1区域与所述第2半导体层之间,是在所述层叠方向上,A1组成比以第2变化率来变化的区域,

在所述第1区域以及所述第2区域,A1组成比针对从所述活性层朝向所述第2半导体层的方向为单调增加,

所述第2变化率比所述第1变化率大,

在所述电子阻挡层,将与所述GaN衬底的主面垂直的层叠方向设为x轴方向,

将离所述活性层最近的所述层叠方向上的位置设为位置 $x = X_s$,将离所述活性层最远侧的所述层叠方向上的位置设为位置 $x = X_e$,

将所述位置 $x = X_s$ 与所述位置 $x = X_e$ 之间,A1组成比最大的所述层叠方向上的位置设为位置 $x = X_m$,

所述电子阻挡层从所述活性层侧依次具有第1减少区域以及第2减少区域,所述第1减少区域是在从所述位置 $x = X_m$ 朝向所述第2半导体层的方向上,A1组成比单调减少的区域,所述第2减少区域是以比所述第1减少区域小的变化率,A1组成比单调减少的区域。

13. 如权利要求12所述的半导体发光元件,

在所述电子阻挡层的A1组成比发生变化的区域中,A1组成比连续地变化。

14. 如权利要求12或13所述的半导体发光元件,

所述第1区域的厚度比所述电子阻挡层的膜厚的50%大且在80%以下,并且,位置 $x = (X_m + X_s) / 2$ 的A1组成比为所述电子阻挡层中的A1组成比最大值的50%以下。

15. 如权利要求1、2、11至13的任一项所述的半导体发光元件,

所述第1导电型为n型,所述第2导电型为p型。

16. 如权利要求1、2、11至13的任一项所述的半导体发光元件,

所述电子阻挡层为第2导电型。

17. 如权利要求1、2、11至13的任一项所述的半导体发光元件,

所述半导体发光元件进一步具备被配置在所述电子阻挡层与所述活性层之间的中间层,该中间层包括氮化物系半导体,

所述活性层包括InGaN,

所述中间层包括第2导电型的GaN。

18. 如权利要求1、2、11至13的任一项所述的半导体发光元件,该半导体发光元件是谐振腔长为1200 μm 以上的半导体激光元件。

19. 如权利要求1、2、11至13的任一项所述的半导体发光元件,该半导体发光元件是谐振腔长为1500 μm 以上的半导体激光元件。

20. 如权利要求1、2、11至13的任一项所述的半导体发光元件,所述半导体发光元件是半导体激光元件,

在所述第2半导体层形成有脊部,

所述脊部的宽度为40 μm 以上。

21. 如权利要求1、2、11至13的任一项所述的半导体发光元件,所述半导体发光元件是半导体激光元件,

在所述第2半导体层形成有脊部,

所述脊部的宽度为50 μm 以上。

22. 如权利要求1、2、11至13的任一项所述的半导体发光元件,该半导体发光元件具备:

被配置在所述第2半导体层的上方的接触层,该接触层包括所述第2导电型的氮化物系半导体;以及

被配置在所述接触层上的导电性氧化膜。

23. 如权利要求1、2、11至13的任一项所述的半导体发光元件,所述半导体发光元件是光输出为10W以上的半导体激光元件。

24. 如权利要求1、2、11至13的任一项所述的半导体发光元件,所述半导体发光元件是半导体激光元件,

在所述第2半导体层形成有脊部,

所述脊部的高度为0.25 μm 以上0.65 μm 以下。

25. 如权利要求1、2、11至13的任一项所述的半导体发光元件,所述半导体发光元件是振动波长为450nm波段的半导体激光元件。

26. 如权利要求1、2、11至13的任一项所述的半导体发光元件,所述半导体发光元件是振动波长为405nm波段的半导体激光元件。

27. 如权利要求1、2、11至13的任一项所述的半导体发光元件,所述半导体发光元件具备:

第1光导向层,被配置在所述第1半导体层的上方;

第2光导向层,被配置在所述第1光导向层的上方;

中间层,被配置在所述电子阻挡层与所述活性层之间,包括氮化物系半导体;以及第3光导向层,被配置在所述活性层与所述中间层之间。

28. 如权利要求1、2、11至13的任一项所述的半导体发光元件,所述半导体发光元件是半导体激光元件,

条纹宽度为40 μ m以上。

半导体发光元件

技术领域

[0001] 本公开涉及半导体发光元件。

背景技术

[0002] 通过将比LED发光强度高的半导体激光元件用作光源,来提高亮度的车载激光前照灯光源曾经受到关注。

[0003] 作为在车载前照灯光源中所使用的半导体激光元件,需要一种在波长450nm范围内,即使以85℃的高温进行瓦特级的高输出工作,也能够进行几千个小时以上的长期间工作的超高输出蓝色半导体激光元件。

[0004] 只要能够以这种超高输出的蓝色激光来激励荧光体来得到黄色光,就能够得到全体为白色的超高输出光源。

[0005] 为了实现这种高可靠性的超高输出半导体激光元件,则需要尽可能地抑制激光振动动作中的自身发热。为此,在超高输出半导体激光元件中,需要实现低工作电流且低工作电压的超低功耗工作。

[0006] 为了实现低工作电流,抑制即使在85℃的高温工作时,被注入到活性层的电子被热激励,而从活性层漏出到p型覆盖层的无效电流(即漏电流)的发生是重要的。

[0007] 关于抑制漏电流的发生,如专利文献1以及2所示,在p型覆盖层与活性层之间,采用带隙比覆盖层高的电子阻挡层是有效的。只要采用这种构成,被注入到活性层的电子即使受到热激励,也很难超过带隙高的电子阻挡层,从而能够抑制漏电流的发生。

[0008] (现有技术文献)

[0009] (专利文献)

[0010] 专利文献1日本特开2002-270971号公报

[0011] 专利文献2国际公开第2017/195502号

[0012] 例如,针对专利文献1所公开的半导体发光元件的结构,将利用图33来进行说明。图33是示出专利文献1中公开的半导体发光元件的层结构的模式图。图33的结构图(a)以及坐标图(b)分别示出专利文献1中公开的半导体发光元件的层叠结构以及能带结构。如图33所示,在专利文献1所公开的半导体发光元件中,活性层212被夹在n型层211与p型层213之间。在活性层212与上部覆盖层230之间配置p侧电子限制层228,该p侧电子限制层228相当于带隙比上部覆盖层230高的电子阻挡层。通过这种结构,即使在高温工作时,被注入到活性层212的电子由于AlGaIn构成的p侧电子限制层228的能量垒,不容易向上部覆盖层230漏出。

[0013] 接着,利用图34对专利文献2所公开的半导体发光元件进行说明。图34是示出专利文献2所公开的半导体发光元件的带隙分布的模式图。在专利文献2中,如图34所示,在由AlGaIn构成的电子阻挡层418在活性层415侧的界面,其Al组成比逐渐变化。据此,在该界面形成的极化电场被分散到Al组成比发生变化的区域,通过电子阻挡层418的极化电场,而能带结构的变化减少,从而能够期待低工作电压化。

[0014] 在此,若使电子阻挡层的n型覆盖层侧的Al组成比从活性层侧向p型覆盖层侧逐渐增大,则能够使极化电场与带隙逐渐发生变化。此时,只要能够使通过极化电场的价带的能带结构的变化与带隙的变化相抵消,从而,既能够抑制针对电子阻挡层的空穴的能量垒的增大,又能够使针对电子的能量垒增大。

[0015] 然而,虽然能够通过使Al组成比发生变化,而得到针对电子阻挡层的空穴的能量垒的增大抑制以及针对电子的能量垒增大效果,但是低电压化的效果不充分。

[0016] 如以上所述,在车载前照灯光源中,即使以85℃的高温进行瓦特级的高输出工作,也希望有能够进行几千个小时以上的长期间工作的超高输出蓝色半导体激光元件,并且需要尽可能地降低其消耗功率。为此,波导损失的减少、漏电流的抑制、工作电压的降低需要同时进行。

发明内容

[0017] 本公开为了解决上述的课题,目的在于即使在高温工作中,也能够提供低功率消耗的半导体发光元件。

[0018] 本公开的一个形态所涉及的半导体发光元件具备:GaN衬底;被配置在所述GaN衬底的上方的第1半导体层,该第1半导体层包括第1导电型的氮化物系半导体;被配置在所述第1半导体层的上方的活性层,该活性层包括含有Ga或In的氮化物系半导体;被配置在所述活性层的上方的电子阻挡层,该电子阻挡层包括至少含有Al的氮化物系半导体;以及被配置在所述电子阻挡层的上方的第2半导体层,该第2半导体层包括与所述第1导电型不同的第2导电型的氮化物系半导体,所述电子阻挡层具有第1区域以及第2区域,所述第1区域是在与所述GaN衬底的主面垂直的层叠方向上,Al组成比以第1变化率来变化的区域,所述第2区域被配置在所述第1区域与所述第2半导体层之间,是在所述层叠方向上,Al组成比以第2变化率来变化的区域,在所述第1区域以及所述第2区域,Al组成比针对从所述活性层朝向所述第2半导体层的方向为单调增加,所述第2变化率比所述第1变化率大。

[0019] 通过本公开,被形成在电子阻挡层的极化电荷面密度,从活性层侧向层叠方向,伴随着从倾斜小的直线的变化发展为倾斜大的直线的变化而增大。在这种情况下,由于极化电荷的大小与极化电荷面密度的变化率成比例,因此,在电子阻挡层内,从活性层侧向层叠方向形成大小以两个阶段来增大的正的极化电荷。

[0020] 这样,电子阻挡层的活性层侧界面上产生的正的极化电荷面密度降低。此时,在活性层侧的界面,为了满足电中性条件,虽然电子被诱导,但是由于电子阻挡层内的活性层附近区域的正的极化电荷密度小,因此在该界面被电诱导的电子浓度也降低。

[0021] 据此,因电子阻挡层的活性层侧界面上产生的电子的影响而导致的能带电位的降低得到抑制,针对形成于价带的空穴的势垒降低,针对形成于导带的电子的势垒增大。

[0022] 这样,抑制在高温高输出工作时,电子被热激励而超过电子阻挡层,并漏出到第2半导体层的现象(即电子的溢出)的效果增大。

[0023] 据此,与以往电子阻挡层相比,能够实现更低的工作电压且漏电流少的半导体发光元件。并且,由于半导体发光元件的自身发热得到降低,因此,即使在高温工作时,也能够得到低功率消耗的半导体发光元件。

[0024] 通过本公开,即使在高温工作中,也能够提供低功率消耗的半导体发光元件。

附图说明

- [0025] 图1A是在模式上示出实施方式1所涉及的半导体发光元件的概略构成的截面图。
- [0026] 图1B是示出针对实施方式1所涉及的活性层的层叠方向的导带能量分布的坐标图。
- [0027] 图2是示出比较例1所涉及的半导体发光元件的电子阻挡层的构成的模式图。
- [0028] 图3是示出实施方式1所涉及的半导体发光元件的电子阻挡层的构成的模式图。
- [0029] 图4A是示出实施方式1所涉及的半导体发光元件的电子阻挡层的层叠方向上的带隙分布的第1例的模式图。
- [0030] 图4B是示出实施方式1所涉及的半导体发光元件的电子阻挡层的层叠方向上的带隙分布的第2例的模式图。
- [0031] 图5A是示出实施方式1所涉及的半导体发光元件的电子阻挡层的层叠方向上的带隙分布的第3例的模式图。
- [0032] 图5B是示出实施方式1所涉及的半导体发光元件的电子阻挡层的层叠方向上的带隙分布的第4例的模式图。
- [0033] 图5C是示出实施方式1所涉及的半导体发光元件的电子阻挡层的层叠方向上的带隙分布的第5例的模式图。
- [0034] 图5D是示出实施方式1所涉及的半导体发光元件的电子阻挡层的层叠方向上的带隙分布的第6例的模式图。
- [0035] 图6示出了实施方式1所涉及的电子阻挡层的层叠方向上的A1组成比分布的一个例子。
- [0036] 图7示出了实施方式1所涉及的电子阻挡层的层叠方向上的A1组成比分布的其他的一个例子。
- [0037] 图8示出了实施方式1所涉及的半导体发光元件的第1构成例的模拟结果。
- [0038] 图9示出了比较例2所涉及的半导体发光元件的模拟结果。
- [0039] 图10示出了实施方式1所涉及的半导体发光元件的第2构成例的模拟结果。
- [0040] 图11示出了实施方式1所涉及的半导体发光元件的第3构成例的模拟结果。
- [0041] 图12示出了比较例3所涉及的半导体发光元件的模拟结果。
- [0042] 图13是示出在模拟中所使用的电子阻挡层的A1组成比分布形状的模式图。
- [0043] 图14是示出电子阻挡层的膜厚为5nm的情况下的模拟结果的坐标图。
- [0044] 图15是示出电子阻挡层的膜厚为15nm的情况下的模拟结果的坐标图。
- [0045] 图16是示出实施方式1所涉及的半导体发光元件中的第2半导体层的杂质掺杂分布的模式图。
- [0046] 图17A是示出实施方式1所涉及的半导体发光元件中的工作电压在低杂质浓度区域的杂质浓度依存性的坐标图。
- [0047] 图17B是示出实施方式1所涉及的半导体发光元件中的波导损失在低杂质浓度区域的杂质浓度依存性的坐标图。
- [0048] 图18是示出使实施方式1所涉及的低杂质浓度区域的杂质掺杂浓度从 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 变化到 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的情况下的价带的能带结构以及空穴费米能级的计算结果的坐标图。
- [0049] 图19是示出将电子阻挡层的A1组成比分布形状设为形状a、形状b以及形状c的情

况下的半导体发光元件的特性的坐标图。

[0050] 图20是用于说明实施方式2所涉及的半导体发光元件的第3光导向层的组成比倾斜区域中的极化电荷的形成的模式图。

[0051] 图21是用于说明比较例4所涉及的半导体发光元件的第3光导向层中的极化电荷的形成的模式图。

[0052] 图22A是示出Mg掺杂浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以及 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的情况下的实施方式2所涉及的半导体发光元件的工作电压对Mg掺杂区域长依存性的坐标图。

[0053] 图22B是示出Mg掺杂浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以及 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的情况下的实施方式2所涉及的半导体发光元件的工作电压对Mg掺杂区域长依存性的坐标图。

[0054] 图22C是示出Mg掺杂浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以及 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的情况下的实施方式2所涉及的半导体发光元件的工作电压对Mg掺杂区域长依存性的坐标图。

[0055] 图23是示出实施方式2所涉及的杂质掺杂的状态的模式图。

[0056] 图24是示出在实施方式2所涉及的半导体发光元件中,在势垒层中掺杂了Si的情况下的导带的能带结构以及价带的能带结构的坐标图。

[0057] 图25是示出在实施方式2所涉及的半导体发光元件中,在势垒层与第2光导向层的界面掺杂了Si的情况下的导带的能带结构以及价带的能带结构的坐标图。

[0058] 图26是示出实施方式3所涉及的杂质掺杂的状态的模式图。

[0059] 图27是示出在实施方式3所涉及的半导体发光元件中,在势垒层中掺杂了Si的情况下的导带的能带结构以及价带的能带结构的坐标图。

[0060] 图28是示出在实施方式3所涉及的半导体发光元件中,在势垒层与第2光导向层的界面掺杂了Si的情况下的导带的能带结构以及价带的能带结构的坐标图。

[0061] 图29是示出实施方式4所涉及的半导体发光元件的杂质掺杂分布与禁带宽度能量分布的关系的模式图。

[0062] 图30是示出在实施方式4所涉及的半导体发光元件中,300mA工作时的的工作电压的第1半导体层以及第2半导体层的A1组成比依存性的计算结果的坐标图。

[0063] 图31是在模式上示出实施方式5所涉及的半导体发光元件的概略构成的截面图。

[0064] 图32是示出实施方式5所涉及的半导体发光元件的光限制系数以及有效折射率差的计算结果的坐标图。

[0065] 图33是示出专利文献1所公开的半导体发光元件的层结构的模式图。

[0066] 图34是示出专利文献2所公开的半导体发光元件的带隙分布的模式图。

具体实施方式

[0067] 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或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。因此,对于以下的实施例的构成要素之中没有记载在示出本公开的最上位概念的独立技术方案中的构成要素,作为任意的构成要素来说明。

[0068] 并且,各个图为模式图,并非严谨的图示。因此,各个图中的比例尺等并非必需一致。另外,在各个图中,对于实质上相同的构成赋予相同的编号,并省略或简化重复的说明。

[0069] 并且,在本说明书中,“上方”以及“下方”这种用语并非是指绝对空间概念中的上方向(铅垂上方)以及下方向(铅垂下方),而是在以层叠构成中的层叠顺序为基准时,根据相对的位置关系来规定的用语。并且,“上方”以及“下方”这种用语不仅是指两个构成要素彼此空出间隔来配置,在这两个构成要素之间存在其他的构成要素的情况,两个构成要素以彼此相接的状态来配置的情况也能够适用。

[0070] (实施方式1)

[0071] [1-1.全体构成]

[0072] 利用图1A对实施方式1所涉及的半导体发光元件的全体构成进行说明。图1A是在模式上示出本实施方式所涉及的半导体发光元件100的概略构成的截面图。

[0073] 本实施方式所涉及的半导体发光元件100是氮化物系的半导体激光元件。图1A示出了与半导体发光元件100的共振方向垂直的截面。

[0074] 如图1A所示,半导体发光元件100具备:GaN衬底11、第1半导体层12、活性层15、电子阻挡层18、以及第2半导体层19。在本实施方式中,半导体发光元件100进一步具备:第1光导向层13、第2光导向层14、第3光导向层16、中间层17、接触层20、电流阻挡层30、n侧电极31、以及p侧电极32。

[0075] 第1半导体层12被配置在GaN衬底11的上方,是包括第1导电型的氮化物系半导体的层。在本实施方式中,第1导电型为n型。第1半导体层12由膜厚1.5 μm 的n型AlGaIn层构成。

[0076] 第1光导向层13被配置在第1半导体层12的上方,是由膜厚100nm的n型GaIn构成的第1导电型的半导体层。

[0077] 第2光导向层14被配置在第1光导向层13的上方,是由膜厚185nm的InGaIn构成的层。

[0078] 活性层15被配置在第1半导体层12的上方,是包括Ga或In的氮化物系半导体的层。在本实施方式中,活性层15被配置在第2光导向层14的上方,包括不掺杂的多量子阱。

[0079] 第3光导向层16被配置在活性层15的上方,是由膜厚90nm的InGaIn构成的层。

[0080] 中间层17被配置在电子阻挡层18与活性层15之间,是包括氮化物系半导体的层。在本实施方式中,中间层17被配置在电子阻挡层18与第3光导向层16之间,包括膜厚3nm的第2导电型的GaIn。第2导电型是与第1导电型不同的导电型,在本实施方式中为p型。

[0081] 电子阻挡层18被配置在活性层15的上方,是包括至少含有Al的氮化物系半导体的第2导电型的层。在本实施方式中,电子阻挡层18被配置在中间层17与第2半导体层19之间,由p型的AlGaIn。

[0082] 第2半导体层19被配置在电子阻挡层18的上方,是包括第2导电型的氮化物系半导体的第2导电型的半导体层。在本实施方式中,第2半导体层19是膜厚660nm的p型AlGaIn覆盖层。

[0083] 接触层20被配置在第2半导体层19的上方,是包括第2导电型的氮化物系半导体的层。在本实施方式中,接触层20由膜厚0.05 μm 的p型GaIn构成。

[0084] 电流阻挡层30被配置在第2半导体层19的上方,是针对来自活性层15的光具有透光性的绝缘层。在本实施方式中,电流阻挡层30由SiO₂构成。

[0085] n侧电极31是被配置在GaN衬底11的下方的导电层。n侧电极31例如是由Cr、Ti、Ni、Pd、Pt以及Au的至少一个形成的单层膜或多层膜。

[0086] p侧电极32是被配置在接触层20的上方的导电层。在本实施方式中,p侧电极32被配置在接触层20以及电流阻挡层30的上方。p侧电极32例如是由Cr、Ti、Ni、Pd、Pt以及Au的至少一个形成的单层膜或多层膜。

[0087] 在半导体发光元件100的第2半导体层19形成有脊部(ridge)。在本实施方式中,脊部宽度W为30 μm 左右。并且,如图1A所示,脊部下端与活性层的距离为 d_p 。

[0088] 在此,在本实施方式中,由于光被限制在活性层15的垂直方向(衬底法线方向)上,将由n型AlGaIn层构成的第1半导体层12、与由p型AlGaIn层构成的第2半导体层19的Al组成比设为0.035(3.5%)。这样,由于第1半导体层12以及第2半导体层19的折射率比在半导体发光元件100发生的光分布的有效折射率小,因此,第1半导体层12以及第2半导体层19作为覆盖层发挥作用。

[0089] 当使由n型AlGaIn构成的第1半导体层12、与由p型AlGaIn层构成的第2半导体层19的Al组成比增大时,则能够使活性层15与作为覆盖层发挥作用的第1半导体层12以及第2半导体层19的折射率差增大。据此,能够将光有效地限制在活性层15的层叠方向(即与GaIn衬底11的主面垂直的方向),能够使振动界限电流值减小。然而,由于AlGaIn层与GaIn衬底的热膨胀系数的差,若使由AlGaIn构成的第1半导体层12以及第2半导体层19的Al组成比过大,则会发生晶格缺陷,而导致可靠性降低。因此,在本实施方式中,将第1半导体层12以及第2半导体层19的Al组成比设为0.05(即5%)以下。

[0090] 接着,利用图1B对本实施方式所涉及的活性层15进行说明。图1B是示出针对本实施方式所涉及的活性层15的层叠方向的导带能量分布的坐标图。活性层15为了得到波长450nm的激光振动,如图1B所示,具有DQW(Double Quantum Well)结构,该DQW结构具备由膜厚为3nm、In组成比为0.16(即16%)的InGaIn构成的两个阱层15b以及15d。势垒层15a、15c以及15e分别由膜厚为7nm、7nm以及5nm的In组成比为0.04(即4%)的InGaIn构成。在阱层,为了得到450nm波段的激光振动光,则需要15%以上的高In组成比。在这种情况下,阱层与GaIn衬底11的晶格错配为1.7%以上,若使其膜厚过厚,则出现晶格缺陷。相反,若过薄,则向阱层的层叠方向的光限制系数变小,振动阈值以及工作载流子浓度增高,因此会导致高温工作时的漏电流的增大。因此,在本实施方式中,阱层的膜厚例如为2.7nm以上、3.3nm以下。

[0091] 并且,第2光导向层14、第3光导向层16由于含有In,因此是折射率比由n型AlGaIn构成的第1半导体层12、以及由p型AlGaIn层构成的第2半导体层19高的层。据此,能够提高对与脊部的波导进行传播的光分布的有效折射率,因此能够提高通过第1半导体层12以及第2半导体层19的光分布在层叠方向上的限制作用。

[0092] 在此,若第2光导向层14以及第3光导向层16的In组成比小,则向阱层的垂直方向上的光限制变小,因此振动阈值以及工作载流子浓度增高。这样,会导致高温工作时的漏电流的增大。相反,若第2光导向层14以及第3光导向层16的In组成比大,则会因与GaIn衬底11的晶格错配的增大,而发生晶格缺陷。为此,为了不使晶格缺陷产生,而使向阱层的垂直方向上的光限制系数增大,从而在本实施方式中,第2光导向层14以及第3光导向层16的In组成比例如为0.03(即3%)以上、0.06(即6%)以下。在本实施方式中,将第2光导向层14以及第3光导向层16的In组成比设为0.03(即3%),从而使晶格缺陷的发生的抑制、与向阱层的垂直方向上的光限制系数的增大均成立。

[0093] 并且,第1光导向层13是具有第1半导体层12以及第2光导向层14所具有的各晶格

常数间的大小的晶格常数、且具有第1半导体层12以及第2光导向层14所具有的各禁带宽度能量的大小间的禁带宽度能量的GaN层。这样,与将第2光导向层14形成在由AlGaIn构成的第1半导体层12的正上方的情况相比,能够抑制因在界面产生的极化电荷而导致的能带结构的波尖状的变形,从而能够使电子容易地传导到活性层15。

[0094] 并且,中间层17是具有电子阻挡层18以及第3光导向层16所具有的各晶格常数间的大小的晶格常数、且具有电子阻挡层18以及第3光导向层16所具有的各禁带宽度能量的大小间的禁带宽度能量的GaN层。

[0095] 并且,形成含有In且具有压缩性的晶格变形的第2光导向层14、活性层15、第3光导向层16,在其正上方若形成具有拉伸性的晶格变形的AlGaIn层,则在界面上产生的应力增大,从而会有产生晶体缺陷的可能性。若将中间层17设为膜厚3nm的GaIn,则能够缓和界面的应力。

[0096] 并且,若使中间层17过厚,则折射率低的第2半导体层19会离开活性层15,因此向活性层15的层叠方向上的光限制效果减弱。因此,使中间层17的膜厚尽可能地成为10nm以下的薄的膜厚。在本实施方式所涉及的半导体发光元件中,中间层17的膜厚为3nm。

[0097] 并且,在脊部侧面上形成膜厚0.1 μ m的由SiO₂构成的电介质的电流阻挡层30。在该结构中,从接触层20注入的电流,由于电流阻挡层30而只有脊部狭窄,而集中到活性层15之中的位于脊部的底部下方的区域,被注入电流。据此,激光振动所需要的载流子的粒子数反转状态通过100mA左右的注入电流来实现。通过由被注入到活性层15的电子以及空穴构成的载流子的复合而产生的光在朝向活性层15的层叠方向上,由于第2光导向层14、第3光导向层16、第1半导体层12以及第2半导体层19而被限制。另外,针对与活性层15平行的方向(与层叠方向垂直的方向。以下也称为水平方向),由于电流阻挡层30比第1半导体层12以及第2半导体层19的折射率低,因此光能够被限制。并且,由于电流阻挡层30对激光振动光的光吸收小,因此能够实现低损失的波导。并且,对波导进行传播的光分布由于能够大幅度地进入到电流阻挡层30,因此能够精确地实现适于高输出工作的 10^{-3} 级的 ΔN (脊部内外的层叠方向有效折射率的差)。而且,能够按照电流阻挡层30与活性层15之间的距离(dp)的大小,以相同的 10^{-3} 级来对 ΔN 的大小进行精密地控制。据此,既能够对光分布进行精密地控制,又能够得到低工作电流的半导体发光元件100。在本实施方式中,通过 ΔN 被控制为 4.8×10^{-3} ,从而能够进行水平方向上的光限制。

[0098] 电子阻挡层18被形成在由p型的GaIn构成的中间层17上,电子阻挡层18的禁带宽度能量的大小,比由p型AlGaIn构成的第2半导体层19的大。通过进行这种设定,能够使电子阻挡层18的导带的能带电位增高,形成能量垒。这样,被注入到活性层15的电子被热激励,漏出到第2半导体层19的现象(即电子的溢出)能够得到抑制,因此,能够提高半导体发光元件100的高温工作特性。

[0099] 在此,由AlGaIn构成的层的禁带宽度能量与Al组成比成比例地增大。因此,在本实施方式中,电子阻挡层18的Al组成比,比由p型AlGaIn构成的第2半导体层19的Al组成比高,例如在0.15(即15%)以上。

[0100] 在本实施方式中,由InGaIn构成的第3光导向层16的正上方的层中,不含有Al的区域是中间层17。中间层17的正上方的含有Al的区域之中、第2半导体层19的下方的区域是电子阻挡层18。在电子阻挡层18中,Al组成比从下方朝向上方逐渐增大,具有15%以上的最大

值。在电子阻挡层18中,从具有该最大值的位置进一步朝向上方,A1组成比减少,在第2半导体层19侧的界面,与第2半导体层19的A1组成比一致。

[0101] 关于电子阻挡层18的A1组成比的分布形状,将在以后详细说明。

[0102] [1-2.比较例的电子阻挡层的构成]

[0103] 接着,在对本实施方式所涉及的电子阻挡层18的作用以及效果进行说明之前,利用图2对比较例所涉及的电子阻挡层构成进行说明。图2是示出比较例1所涉及的半导体发光元件的电子阻挡层18A的构成的模式图。模式图(a)、(b)、(c)、(d)以及(e)分别示出比较例1所涉及的半导体发光元件的带隙分布、电子阻挡层18A的极化电荷面密度分布、极化电荷分布、电场分布以及能带结构。

[0104] 比较例1所涉及的半导体发光元件在电子阻挡层18A的A1组成比的分布上,与本实施方式所涉及的半导体发光元件100不同。如图2的模式图(a)所示,比较例1所涉及的电子阻挡层18A的A1组成比,从活性层15侧朝向第2半导体层19侧,呈线性增大。另外,如图2的模式图(a)所示,第3光导向层16包括组成比倾斜区域16a,关于这一点,与本实施方式所涉及的半导体发光元件100相同。

[0105] 被形成在氮化物半导体的极化电荷面密度,依存于因该构成层所涉及的变形而产生的压电极化成分、与因原子组成而取决于的自然极化成分的和。因此,在各层产生的极化电荷的面密度由变形所产生的压电极化成分与自然极化成分的和构成。在各层产生的变形的大小以及自然极化的大小均与原子组成成比例。因此,被形成在AlGaIn层的极化电荷的面密度与AlGaIn层的A1组成成比例。因此,被形成在A1组成比呈线性增大的比较例1的电子阻挡层18A的极化电荷面密度,如图2的模式图(b)所示,呈线性增大。

[0106] 在这种情况下,由于极化电荷的大小与极化电荷面密度的变化率成比例,因此如图2的模式图(c)所示,被形成的极化电荷的量在电子阻挡层18A内为固定的量。

[0107] 在电子阻挡层18A的活性层15侧的区域形成正的极化电荷,在离活性层15远的一侧的界面形成负的极化电荷。这样,如图2的模式图(c)所示,为了使两个界面满足电中性条件,而诱导逆极性的载流子,由于电子阻挡层18A内的正的极化电荷密度比较小,因此被诱导的电子的浓度比较小。例如,与电子阻挡层在层内具有均一的A1组成比的情况相比,在比较例1中,被诱导到界面的电子的浓度比较小。

[0108] 因此,如图2的模式图(d)所示,由于在电子阻挡层18A的活性层15侧界面产生的电子而生成负的电场,其电子浓度小,因此如图2的模式图(e)所示,能够抑制电子阻挡层18A与活性层15相接的界面的电位的降低。并且,电子阻挡层18A在活性层15侧的A1组成比小,因此禁带宽度能量(即带隙)小。据此,针对活性层15侧空穴能够抑制被形成在价带的势垒,从而能够降低工作电压。

[0109] [1-3.实施方式1所涉及的电子阻挡层的构成]

[0110] 接着,利用图3对本实施方式所涉及的半导体发光元件100的电子阻挡层18的构成进行说明。图3是示出本实施方式所涉及的半导体发光元件100的电子阻挡层18的构成的模式图。模式图(a)、(b)、(c)、(d)以及(e)分别示出本实施方式所涉及的半导体发光元件100的带隙分布、电子阻挡层18的极化电荷面密度分布、极化电荷分布、电场分布以及能带结构。

[0111] 在本实施方式所涉及的半导体发光元件100中,电子阻挡层18从活性层15侧开始

依次具有A1组成比变化率小的第1区域、以及A1组成比的变化率大的第2区域。

[0112] 因此、被形成在电子阻挡层18的极化电荷面密度分布如图3的模式图(b)所示,具有以比较小的倾斜来变化的区域、以及以比较大的倾斜来变化的区域。

[0113] 在这种情况下,由于极化电荷的大小与极化电荷面密度的变化率成比例,因此如图3的模式图(c)所示,极化电荷的大小在电子阻挡层18内,相对于图2的模式图(c)所示的分布,在活性层15侧小。并且,在本实施方式中,极化电荷的大小按照层叠方向的位置变化为两个阶段。

[0114] 在电子阻挡层18的活性层15侧的界面形成正的极化电荷,在离活性层15远的一侧的界面形成负的极化电荷。这样,如图3的模式图(c)所示,为了使两个界面满足电中性条件,而诱导逆极性的载流子。在本实施方式中,由于电子阻挡层18内的活性层15侧的区域中的正的极化电荷密度小,因此与图2的模式图(c)所示的情况相比,电子浓度变小。

[0115] 因此,如图3的模式图(d)所示,因被诱导到电子阻挡层18的活性层15侧界面的电子而产生负的电场,其电子浓度比较例1小。因此,如图3的模式图(e)所示,电子阻挡层18的与活性层15相接的界面的电位的下降量则会减少。并且,电子阻挡层18的活性层15侧的A1组成比变小,禁带宽度能量小。据此,针对活性层15侧空穴,被形成在价带的势垒与图2所示的比较例1的情况相比,则变得更小。因此,在本实施方式所涉及的半导体发光元件,工作电压进一步减小。

[0116] 并且,如图3的模式图(d)所示,由于电子阻挡层18的活性层15侧界面的电场小,因此,在电子阻挡层18的活性层15侧的电位的降低就少,这样,对于电子的电子阻挡层18的势垒(图3的 ΔE_c)增大,在高温高输出工作时,电子被热激励而超过电子阻挡层18,漏出到第2半导体层的现象(即电子的溢出)得到抑制的效果增大。这样,与以往电子阻挡层相比,能够实现更低的工作电压且漏电流少的半导体发光元件100。并且,由于半导体发光元件的自身发热得到降低,因此,即使在高温工作时,也能够得到低功率消耗的半导体发光元件。具体而言,即使以85℃的高温进行瓦特级的高输出工作,也能够实现能够以几千个小时以上的长期间工作的超高输出的蓝色半导体激光元件。

[0117] 接着,利用图4A以及图4B,对本实施方式所涉及的半导体发光元件100的电子阻挡层18的层叠方向上的带隙分布的例子进行说明。图4A以及图4B分别是示出本实施方式所涉及的半导体发光元件100的电子阻挡层18的层叠方向上的带隙分布的第1例以及第2例的模式图。

[0118] 图4A示出了A1组成比变化率小的第1区域、与A1组成比变化率比第1区域大的第2区域相接的情况下的带隙分布。图4B示出了在A1组成比变化率小的第1区域、与A1组成比变化率比第1区域大的第2区域之间配置了组成比变化率比第1区域小的区域的情况下的带隙分布。

[0119] 不论在图4A以及图4B所示的哪种情况下,在电子阻挡层18的活性层侧的界面的位置 $x=X_s$ 、与电子阻挡层18中的A1组成比成为最大的位置 $x=X_m$ 的中点 $x=X_p$,其A1组成比都成为比如下平均值小的值,该平均值是,位置 $x=X_s$ 中的A1组成比与位置 $x=X_m$ 中的A1组成比的平均值。而且,从位置 $x=X_s$ 至位置 $x=X_m$ 中,电子阻挡层18的A1组成比的大小为,在图4A以及图4B中,对位置 $x=X_s$ 中的A1组成比、与位置 $x=X_m$ 中的A1组成比进行连结的点线的大小以下。因此,位置 $x=X_s$ 与位置 $x=X_p$ 之间的电子阻挡层18的A1组成比的变化率成为

点线所示的变化率以下的值。

[0120] 并且,在图4B所示的结构中,将开始形成电子阻挡层18的第1区域的A1组成比变化率,比在此之后形成的区域的A1组成比变化率高。进行这样的设定是因为具有如下的效果,即能够提高电子阻挡层18的活性层15侧界面的位置即开始形成电子阻挡层18的位置的控制性,并且能够提高半导体发光元件100的工作特性的再现性的稳定性。

[0121] 如以上所述,在本实施方式中,电子阻挡层18具有第1区域以及第2区域,所述第1区域是,在与GaN衬底11的主面垂直的层叠方向上,A1组成比以第1变化率来变化的区域,所述第2区域是被配置在第1区域与第2半导体层19之间,在层叠方向上A1组成比以第2变化率来变化的区域。在第1区域以及第2区域中,A1组成比针对从活性层15向第2半导体层的方向为单调增加,第2变化率比第1变化率大。

[0122] 据此,能够使给电子阻挡层18的活性层15侧界面的极化电荷的大小的影响,比具有图4A以及图4B的点线所示的A1组成比分布的电子阻挡层小。这样,由于能够使在电子阻挡层18的活性层15侧界面的能带结构的电位的降低相对于点线所示的结构小,从而势垒 ΔE_c 增大。而且,由于能够降低针对价带的空穴的能带阻挡,从而能够降低半导体发光元件100的工作电压。这样,能够使半导体发光元件100的温度特性增高。因此,即使在高温工作中,也能够实现低功率消耗的半导体发光元件100。

[0123] 接着,利用图5A至图5D,对本实施方式所涉及的半导体发光元件100的电子阻挡层18的层叠方向上的带隙分布的其他的例子进行说明。

[0124] 图5A至图5D分别是示出本实施方式所涉及的半导体发光元件100的电子阻挡层18的层叠方向上的带隙分布的第3例至第6例的模式图。

[0125] 图5A示出了A1组成比变化率小的第1区域与A1组成比变化率比第1区域大的第2区域相接的情况下的带隙分布。而且,随着从A1组成比最大点向第2半导体层19接近,A1组成比减少,从活性层15侧依次配置了A1组成比减少率大的第1减少区域、以及A1组成比减少率比第1减少区域小的第2减少区域。

[0126] 图5B示出了在A1组成比变化率小的第1区域、与A1组成比变化率相对大的第2区域之间,形成了组成比变化率比第1区域小的区域的情况下的带隙分布。而且,随着从A1组成比最大点向第2半导体层19接近,A1组成比减少,从活性层15侧依次配置了A1组成比减少率大的第1减少区域、以及A1组成比减少率比第1减少区域小的第2减少区域。

[0127] 图5C示出了A1组成比变化率小的第1区域与A1组成比变化率比第1区域大的第2区域相接的情况下的带隙分布。而且,从活性层15侧依次配置了相对于A1组成比最大点而言A1组成比固定的固定区域、A1组成比减少率大的第1减少区域、以及A1组成比减少率比第1减少区域小的第2减少区域。

[0128] 图5D示出了在A1组成比变化率小的第1区域与A1组成比变化率比第1区域大的第2区域之间,形成了组成比变化率比第1区域小的区域的情况下的带隙分布。而且,从活性层15侧依次配置了相对于A1组成比最大点而言A1组成比为固定的固定区域、A1组成比减少率大的第1减少区域、以及A1组成比减少率比第1减少区域小的第2减少区域。

[0129] 不论在图5A至图5D所示的哪种情况,在电子阻挡层18开始形成的位置 $x=X_s$ 、与A1组成比成为最大的位置 $x=X_m$ 的中点 $x=X_p$,其A1组成比为比如下平均值小的值,所述平均值是指,位置 $x=X_s$ 中的A1组成比与位置 $x=X_m$ 中的A1组成比的平均值。而且,在位置 $x=$

X_s 至位置 $x=X_m$ 中,电子阻挡层18的A1组成比的大小以如下的范围而被形成,该范围是指,在各图中,对位置 $x=X_s$ 中的A1组成比、与位置 $x=X_m$ 中的A1组成比进行连结的点线的大小以下的范围。因此,位置 $x=X_s$ 与位置 $x=X_p$ 之间的电子阻挡层18的A1组成比的变化率为点线所示的变化率以下的值。

[0130] 如以上所述,在本实施方式中,能够使给电子阻挡层18的活性层15侧界面的极化电荷的大小的影响,比具有点线所示的A1组成比分布的电子阻挡层小。这样,在电子阻挡层18的活性层15侧界面的能带结构的电位的降低相对于点线所示的结构变小,因此,势垒 ΔE_c 增大。而且,由于能够降低针对价带的空穴的能带阻挡,因此能够降低半导体发光元件100的工作电压。这样,能够使半导体发光元件100的温度特性增高。

[0131] 并且,电子阻挡层18从活性层15侧依次具有第1减少区域以及第2减少区域,第1减少区域是,从位置 $x=X_m$ 向第2半导体层19,A1组成比单调减少的区域,第2减少区域是,A1组成比以比第1减少区域小的变化率来单调减少的区域。因此,与图中的一点划线所示的一定的A1组成比减少率的构成相比,在A1组成比减少的区域中的平均A1组成比变小。

[0132] 并且,电子阻挡层18的第2半导体层19侧的界面的位置 $x=X_e$ 是,第2半导体层19的平均A1组成比与电子阻挡层18的A1组成比成为同一个值的位置。在第2半导体层19以由包括GaN的A1组成比不同的两种AlGaIn层构成的超晶格形成的情况下,意味着位置 $x=X_e$ 是相对于第2半导体层19的层叠方向的平均A1组成比与电子阻挡层18的A1组成比成为相同的位置。

[0133] 在此,在高A1组成比的AlGaIn中,作为通常掺杂物而使用的Mg的活性化率低。因此,高A1组成比的AlGaIn,比低A1组成比的AlGaIn的电阻高。为此,在电子阻挡层18,若成为高A1组成比的区域增厚,则在价带的能带结构中,形成阻碍空穴向活性层15侧的电传导的势垒的区域的膜厚变厚,空穴的传导被阻碍。这样,工作电压增大。因此,针对A1组成比的生长膜厚方向而减少的区域即第2减少区域和第1减少区域的合计膜厚最好为比较薄。该合计膜厚例如是4nm以下。并且,该合计膜厚也可以是2nm以下。

[0134] 不论在图5A至图5D的哪种情况,与图中的一点划线所示的一定的A1组成比减少率的构成相比,在A1组成比减少的区域的平均A1组成比小,因此,能够抑制半导体发光元件100的工作电压的增大。

[0135] 并且,在图5C以及图5D所示的例子中,形成了A1组成比固定的区域。这是在考虑到半导体发光元件100的制造时的同一个晶片面内的A1组成比不均的情况下而形成的区域。据此,在同一晶片面内的电子阻挡层18,由于能够得到固定的最大A1组成比,因此能够提高势垒 ΔE_c 的大小在晶片面内的均一性。但是,若该A1组成比固定区域的膜厚过厚,则成为高A1组成比的区域的膜厚变厚,这样,如以上所述,会导致工作电压增大。为此,组成比固定区域的膜厚最好是尽可能地薄。该组成比固定区域的膜厚例如2nm以下。并且,该组成比固定区域的膜厚可以为1nm以下。

[0136] 以上虽然以电子阻挡层18的A1组成比分布由多个一次函数的直线来表示的情况进行了说明,以下利用图6对不受一次函数的直线所限的函数 $f(x)$ 来表示的情况进行说明。另外,在此,将与GaN衬底11的主面垂直的层叠方向设为 x 轴方向。图6示出了本实施方式所涉及的电子阻挡层18的层叠方向上的A1组成比分布的一个例子。图6的坐标图(a)是示出表示A1组成比分布的函数 $f(x)$ 的坐标图。图6的坐标图(b)以及(c)分别是示出函数 $f(x)$ 的一

阶导数 $f'(x)$ 以及二阶导数 $f''(x)$ 的坐标图。

[0137] 如图6所示,电子阻挡层18在满足 $X_s < x \leq X_m$ 的区域,具有成为 $f''(x) > 0$ 、且 $f'(x) > 0$ 的第1凹区域。通过满足这种关系,从而在位置 $x = X_s$ 与位置 $x = X_m$ 之间, $f(x)$ 成为图6的坐标图(a)所示凹形状(即向下的凸形状)。

[0138] 并且,如图6的坐标图(c)所示,在第1凹区域中的位置 $x = X_1$,二阶导数 $f''(x)$ 成为极大。据此,在第1凹区域存在组成比的变化率成为最大的位置 $x = X_1$,在位置 $x = X_s$ 至位置 $x = X_1$ 之间,A1组成比的变化率逐渐增大。

[0139] 在这种情况下,由于A1组成比的变化率在活性层15侧减小,因此能够降低在活性层15侧界面附近区域的极化电荷的大小。为此,如以上所述,能够降低存在于位置 $x = X_s$ 附近的活性层15侧界面的电子浓度,并且能够抑制被形成在电子阻挡层18的价带的空穴阻挡电位的增大。因此,能够实现元件的工作电压的降低以及势垒 ΔE_c 的增大。

[0140] 如图6的坐标图(b)所示, $f'(x)$ 的大小是连续的,不存在不连续的位置。因此,在电子阻挡层18内形成的极化电荷面密度急剧变化的位置不存在。因此,能够防止在电子阻挡层18内形成的正的极化电荷急剧增大的位置的发生。

[0141] 这样,能够降低电子阻挡层18的活性层15侧界面附近区域的电子浓度,从而能够降低工作电压。

[0142] 并且,如图6的坐标图(a)所示,电子阻挡层18在针对位置 x 而满足 $X_1 < x \leq X_e$ 的区域,具有 $f''(x) \leq 0$ 的第1凸区域。

[0143] 此时,在第1凸区域,函数 $f(x)$ 为向上的凸形状。因此,函数 $f(x)$ 的形状为,在向下凸出的第1凹区域的第2半导体层19侧,形成向上凸出的第1凸区域。A1组成比成为最大的位置 $x = X_m$ 被配置在第1凸区域。

[0144] 在这种A1组成比分布形状的情况下,由于在电子阻挡层18内形成的极化电荷几乎与 $f'(x)$ 成比例,因此极化电荷的大小在电子阻挡层18的活性层15侧界面附近减小,比第2半导体层19侧小。

[0145] 在这种情况下,由于在活性层15侧界面附近区域的极化电荷的大小降低,因此,如以上所述,能够降低存在于位置 $x = X_s$ 附近的活性层15侧界面的电子浓度,从而能够抑制形成在电子阻挡层18的价带的空穴阻挡电位的增大。这样,能够实现元件的工作电压的降低以及势垒 ΔE_c 的增大。

[0146] 并且,由于第1凸区域的A1组成比分布形状为向上的凸形状,因此,在A1组成比成为最大的位置 $x = X_m$ 附近的A1组成比的变化率减小。因此,A1组成比的最大值的控制好。据此,能够抑制半导体发光元件100制造时的晶片面内的最大A1组成比的不均一。因此,能够得到再现性好,势垒 ΔE_c 大的、具有良好的温度特性的元件。

[0147] 电子阻挡层18从活性层15侧依次具有第1减少区域以及第2减少区域,第1减少区域是指,在从位置 $x = X_m$ 朝向第2半导体层19的方向上,A1组成比单调减少的区域,第2减少区域是以比第1减少区域小的变化率,A1组成比单调减少的区域。换言之,第2减少区域中的A1组成比的变化率的绝对值,比第1减少区域中的A1组成比的变化率的绝对值小。

[0148] 在此,若第1减少区域与第2减少区域的合计膜厚厚,则A1组成比会比第2导电型的第2半导体层的平均A1组成比高,因此,会导致阻碍空穴的电传导的区域的膜厚增大,造成工作电压的增大。

[0149] 因此,第2减少区域与第1减少区域的合计膜厚最好是尽量薄。在本实施方式中,该合计膜厚例如是4nm以下。该合计膜厚也可以是2nm以下。

[0150] 并且,如图6的坐标图(a)所示,将经过点 $(X_s, f(X_s))$,与函数 $f(x)$ 在第1凸区域的位置 $x=X_t$ 相接的一次函数设为 $g(x)$,在满足 $X_s < x < X_t$ 的位置 x ,函数 $f(x)$ 、函数 $g(x)$ 以及一阶导数 $f'(x)$ 满足 $g(x) > f(x)$ 、且 $f'(x) > 0$ 的关系。

[0151] 在这种情况下,与在位置 $x=X_s$ 和位置 $x=X_t$ 之间由 $g(x)$ 决定的三角形的A1组成比分布相比,由 $f(x)$ 决定的A1组成比的值变小。

[0152] 为此,位置 $x=X_s$ 和位置 $x=X_t$ 之间的电子阻挡层18的A1组成比成为以 $g(x)$ 决定的A1组成比以下的值。

[0153] 在这种情况下,能够将电子阻挡层18的活性层15侧界面附近的极化电荷的大小,比具有由 $g(x)$ 示出的A1组成比分布的电子阻挡层小。这样,在电子阻挡层18的活性层15侧界面的能带结构的电位的降低,位置 $x=X_s$ 和位置 $x=X_t$ 之间的A1组成比相对于 $g(x)$ 所示的构成小,势垒 ΔE_c 增大。而且,由于能够降低针对价带的空穴的能带阻挡,从而能够降低半导体发光元件100的工作电压。同时,能够提高半导体发光元件100的温度特性。

[0154] 接着,利用图7,对电子阻挡层18的A1组成比分布以不受一次函数所限的函数 $f(x)$ 来表示的情况下的其他的例子进行说明。图7示出了本实施方式所涉及的电子阻挡层18的层叠方向上的A1组成比分布的其他的一个例子。图7的坐标图(a)是示出表示A1组成比分布的函数 $f(x)$ 的坐标图。图7的坐标图(b)以及(c)分别是示出函数 $f(x)$ 的一阶导数 $f'(x)$ 以及二阶导数 $f''(x)$ 的坐标图。

[0155] 具有示出图7的坐标图(a)至(c)所示的A1组成比分布的函数 $f(x)$ 的电子阻挡层18,在针对位置 x 而满足 $X_s < x \leq X_m$ 的区域中,具有成为 $f''(x) > 0$ 且 $f'(x) > 0$ 的第1凹区域。在位置 $x=X_s$ 和位置 $x=X_m$ 之间满足这种的关系的第1凹区域, $f(x)$ 成为图7的坐标图(a)所示的凹形状(即向下的凸形状)。

[0156] 并且,如图7的坐标图(a)至(c)所示,在第1凹区域,将 $f''(x)$ 成为极大的位置设为位置 $x=X_1$ 。电子阻挡层18在针对位置 x 而满足 $X_s \leq x < X_1$ 的区域具有 $f'(x)$ 连续变化,且包括 $f'(x) > 0$ 且二阶导数 $f''(x)$ 成为极大的位置的第2凹区域。

[0157] 在这种情况下,在电子阻挡层18的活性层15侧界面附近,虽然相对于第1凹区域的活性层15侧,有A1组成比增大的比例大的区域,然而形成没有陡峭的阶梯状的变化了的第2凹区域。

[0158] 若A1组成比以陡峭的阶梯状来增大,则在变化为该阶梯状的位置产生的极化电荷增大,由于在电子阻挡层18与活性层15的界面产生的电子浓度的增大,因此如以上所述,会导致工作电压的增大。

[0159] 在本实施方式中,由于电子阻挡层18与活性层15的界面附近的A1组成比的变化不是阶梯状,因此能够抑制工作电压的增大。

[0160] 并且,如图7的坐标图(a)至(c)所示,电子阻挡层18在针对位置 x 而满足 $X_s \leq x < X_1$ 的区域,具有成为 $f''(x) \leq 0$ 的第2凸区域。据此,第2凸区域的A1组成比分布形状成为向上的凸形状。

[0161] 在活性层15附近的界面,只要依次形成从凹形状(即向下的凸形状)变为向上的凸形状的形状中的第2凹区域以及第2凸区域,这与没有依次形成第2凹区域、第2凸区域的情

况相比,在电子阻挡层18的形成初期,能够使A1组成比的增加率增大。这样,能够提高开始形成电子阻挡层18的位置的控制性,并有提高元件的工作特性的再现性的效果。

[0162] 在此,在第2凸区域的第2半导体层19侧形成凹形状的第1凹区域。即第2凸区域被配置在第2凹区域与第1凹区域之间。在这种情况下,形成A1组成比增大的变化率大的区域,能够使大的极化电荷的发生区域远离活性层15侧。

[0163] 并且,在第1凹区域的第2半导体层119侧形成向上的凸形状的第1凸区域。第1凸区域包括A1组成比成为最大的位置 $x=X_m$ 。

[0164] 在这种情况下,在A1组成比成为最大的位置 $x=X_m$ 附近的A1组成比的变化率减小,能够制作出控制性好的A1组成比的最大值。据此,能够抑制半导体发光元件制作时的晶片面内的最大A1组成比的不均一。因此,能够得到再现性好、势垒 ΔE_c 大的、具有良好的温度特性的半导体发光元件。

[0165] 并且,如图7的坐标图(a)所示,将与函数 $f(x)$ 在第2凸区域的点 $(X_u, f(X_u))$ 相接、且与函数 $f(x)$ 在第1凸区域的点 $(X_v, f(X_v))$ 相接的一次函数设为函数 $h(x)$ 。在满足 $X_u < x < X_v$ 的位置 x ,函数 $f(x)$ 、函数 $h(x)$ 以及一阶导数 $f'(x)$ 满足 $h(x) > f(x)$ 、且 $f'(x) > 0$ 的关系。

[0166] 在这种情况下,在位置 $x=X_u$ 和位置 $x=X_v$ 之间,与由 $h(x)$ 决定的台形状的A1组成比分布相比,以 $f(x)$ 决定的A1组成比的值更小。

[0167] 因此,在位置 $x=X_u$ 和位置 $x=X_v$ 之间的电子阻挡层18的A1组成比,成为以 $h(x)$ 决定的A1组成比以下的值。

[0168] 被形成在电子阻挡层内的极化电荷如以上所述,与 $f'(x)$ 成比例。

[0169] 在这种情况下,正的极化电荷面被相对地形成得比较大的区域,由于是图7的坐标图(b)所示 $f'(x)$ 的极大值附近的区域,因此与位置 $x=X_u$ 相比,位置 $x=X_v$ 附近的正的极化电荷大。

[0170] 这样,能够使位置 $x=X_u$ 附近的正的极化电荷的大小,比具有以 $h(x)$ 表示的A1组成比分布的电子阻挡层小。这样,相对于位置 $x=X_u$ 和位置 $x=X_v$ 之间的A1组成比由 $h(x)$ 表示的构成而言,在电子阻挡层18的活性层15侧界面的能带结构的电位的降低减小,能够使势垒 ΔE_c 增大。而且,由于能够降低针对价带的空穴的能带阻挡电位,因此能够降低半导体发光元件100的工作电压。与此同时,能够提高半导体发光元件100的温度特性。

[0171] 并且,电子阻挡层18从活性层15侧依次具有第1减少区域以及第2减少区域,第1减少区域是,在从A1组成比成为最大的位置 $x=X_m$ 朝向第2半导体层的方向上,A1组成比单调减少的区域,第2减少区域是,以比第1减少区域小的变化率,A1组成比减少的区域。若第1减少区域和第2减少区域的合计膜厚厚,则A1组成比高于第2半导体层19的平均A1组成比的区域增大,这样会导致阻碍空穴的传导的区域的膜厚增大,从而造成工作电压的增大。

[0172] 因此,最好是使第1减少区域和第2减少区域的合计膜厚尽量薄。在本实施方式中,该合计膜厚例如为4nm以下。该合计膜厚也可以是2nm以下。

[0173] 并且,在图6以及图7所示的电子阻挡层18的A1组成比分布形状中,在位置 $x=(X_s+X_m)/2$ 成为 $f''(x) > 0$ 、且 $f'(x) > 0$ 。

[0174] 据此,在位置 $x=X_s$ 和位置 $x=X_m$ 的中点, $f(x)$ 成为凹形状(即向下的凸形状)的增加函数。与以 $g(x)$ 决定的三角形的A1组成比分布、或以 $h(x)$ 决定的台形状的A1组成比分布相比,由于 $f(x)$ 小,因此能够降低位置 $x=X_s$ 中的电子阻挡层18的极化电荷的影响,电子

浓度降低。

[0175] 因此,相对于以 $g(x)$ 或 $h(x)$ 表示的构成而言,在电子阻挡层18的活性层15侧界面的能带结构的电位的降低变小,势垒 ΔE_c 增大。而且,由于能够降低针对价带的空穴的能带阻挡电位,因此能够降低半导体发光元件100的工作电压。这样,能够提高半导体发光元件100的温度特性。

[0176] 在图6以及图7所示的电子阻挡层18的A1组成比分布形状中,第1凹区域的宽度成为 $(X_m - X_s)/2$ 以上。

[0177] 在这种情况下,在从位置 $x = X_s$ 到位置 $x = X_m$ 的范围内,由于将极化电荷的大小增大的区域靠近A1组成比最大点 X_m 配置,因此能够使极化电荷产生位置远离电子阻挡层18的活性层15侧界面。

[0178] 因此,在电子阻挡层18的活性层15侧界面的能带结构的电位的降低,相对于以 $g(x)$ 或 $h(x)$ 表示的构成减小,因此势垒 ΔE_c 增大。而且,由于能够使针对价带的空穴的能带阻挡电位降得更低,因此能够降低半导体发光元件100的工作电压。这样,能够提高半导体发光元件100的温度特性。

[0179] 并且,在本实施方式所涉及的半导体发光元件100的电子阻挡层18中掺杂Mg。在电子阻挡层18的第1凸区域,使用A1组成比高的AlGaIn。据此,通过势垒 ΔE_c 增大,从而能够抑制电子向第2半导体层的漏出。最大A1组成比例如可以是0.2以上或0.3以上。这样,当A1组成比增高时,Mg的受主能级的能量与AlGaIn的价带的能量差增大,Mg作为受主不容易活性化。因此,可以使向电子阻挡层18的Mg的掺杂浓度增高到 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上,并提高活性化的受主的浓度。然而,若将Mg的掺杂浓度在 $3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上,当过高时会发生电子阻挡层18的结晶性降低,从而会导致高温高输出工作时的半导体发光元件100的可靠性降低。因此,可以使Mg的掺杂浓度低于 $3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 。

[0180] 在本实施方式所涉及的半导体发光元件100中,在电子阻挡层18中进行 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下的Mg掺杂。

[0181] 并且,在A1组成比相对低的位置 $x = X_s$ 与位置 $x = (X_s + X_m)/2$ 之间的区域,由于作为Mg的受主的活性化率高,因此可以将掺杂Mg的浓度设为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$,在A1组成比高的第1凸区域附近,将掺杂Mg的浓度相对地提高为 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 。据此,能够抑制因Mg浓度的增大而导致的电子阻挡层18的结晶性的降低。

[0182] 并且也可以是,在图4A以及图4B以及图5A至图5D所示的电子阻挡层18的构成中,第1区域的膜厚比电子阻挡层18的膜厚的50%大且80%以下,并且在位置 $x = (X_m + X_s)/2$ 的A1组成比为电子阻挡层18中的A1组成比最大值的50%以下。据此,能够使工作电压的降低、势垒 ΔE_c 的增大、以及漏电流的减少同时实现,对此将在以后说明。

[0183] 在具有图4A以及图4B所示的由多个一次函数的直线表示的A1组成比分布的电子阻挡层18的第1区域,A1组成比的变化率小,在其第2半导体层19侧的第2区域,A1组成比的变化率大。

[0184] 对此,在具有图6以及图7所示的曲线状的A1组成比分布的电子阻挡层18所具有的特点是,与位置 $x = X_1$ 相比,在靠近第2半导体层19的区域,由于A1组成比的变化率的增大比例($f''(x)$)变大,因此曲率增大,示出A1组成比的大小的函数 $f(x)$ 的曲率变大。

[0185] 据此,在具有图6以及图7所示的曲线状的A1组成比分布的电子阻挡层18中,图4A

以及图4B所示的第1区域在第1凹区域内,相当于比A1组成比的变化率的变化($f''(x)$)成为最大的位置 $x=X1$ 更靠近活性层15的区域。

[0186] 因此,在具有图6以及图7所示的曲线状的A1组成比分布的电子阻挡层18,第1区域的膜厚比电子阻挡层18的膜厚的50%大且在80%以下,并且只要位置 $x=(Xm+Xs)/2$ 的A1组成比在电子阻挡层18中的A1组成比最大值的50%以下,就能够使工作电压的降低、 ΔEc 的增大、漏电流的减少同时实现。

[0187] 如以上所述,在本实施方式中,在电子阻挡层18的A1组成比变化的区域中,A1组成比连续地变化。这样的电子阻挡层18的A1组成比分布例如能够采用MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition:有机金属化学气相沉积法)来形成。在MOCVD使结晶生长时,例如通过使包括该结晶的原料的气体的供给量随时间来变化,从而能够自由地调整组成比分布。上述的A1组成比分布的各形状能够通过使A1供给量相对于时间以微小的阶梯状进行变化来实现。另外,在这种情况下,即便使A1供给量相对于时间进行直线性变化,由于原料气体的粘性等影响,到达结晶生长面的原料也会出现时间延迟,因此可以是曲线状的A1组成比分布。

[0188] [1-4. 电子阻挡层的作用以及效果]

[0189] 接着,利用图8至图12对本实施方式所涉及的电子阻挡层18的作用以及效果进行说明。

[0190] 图8示出了本实施方式所涉及的半导体发光元件100的第1构成例的模拟结果。图9示出了比较例2所涉及的半导体发光元件的模拟结果。图10示出了本实施方式所涉及的半导体发光元件100的第2构成例的模拟结果。图11示出了本实施方式所涉及的半导体发光元件100的第3构成例的模拟结果。图12示出了比较例3所涉及的半导体发光元件的模拟结果。另外,在各模拟中都将半导体发光元件的工作电流设为300mA。

[0191] 图8至图12的各坐标图(a)示出电子阻挡层附近的禁带宽度能量(带隙)的分布,各坐标图(b)示出电子阻挡层附近的每单位体积的极化电荷的分布。图8至图12的各坐标图(c)示出电子阻挡层附近的电子、空穴浓度的分布,各坐标图(d)示出电子阻挡层18附近的电场分布。图8至图12的各坐标图(e)示出电子阻挡层18附近的导带的能带结构与电子的费米能的分布,各坐标图(f)示出电子阻挡层18附近的价带的能带结构与空穴的费米能的分布。

[0192] 图8示出了电子阻挡层18的膜厚为7nm的情况下的模拟结果。在本模拟中,电子阻挡层18具有膜厚5nm的第1区域、以及膜厚2nm的第2区域。在第1区域中,随着从活性层15侧进入到第2半导体层19侧,使A1组成比从0向0.15直线性增加。在第2区域中,随着从活性层15侧进入到第2半导体层19侧,使A1组成比从0.15向0.35增加。

[0193] 如图8的坐标图(b)所示,在电子阻挡层18的活性层15侧产生 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的正的极化电荷,在第2半导体层侧产生 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的正的极化电荷。在图8的坐标图(b)中,仅表示正的极化电荷。关于该极化电荷,例如与具有电子阻挡层的均一的A1组成比() .35的情况相比,相当于1%左右。并且,在电子阻挡层18与第2半导体层19的界面上,虽然没有进行图示,但是形成了具有 $-5.3 \times 10^{-2} \text{C/m}^2$ 的表面密度的负的极化电荷。在此,由于每一个电子的电荷基本量为 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$,因此在将界面的膜厚假定为AlGaN的c轴方向晶格常数的几分之一左右的0.01nm时,换算为电子浓度,则可以考虑到在界面产生相当于 $1 \times 10^{22} \text{cm}^{-3}$ 左右

的负的极化电荷。这样,通过本实施方式所涉及的电子阻挡层18,能够抑制活性层15侧中的极化电荷。在本公开中,极化电荷的体积密度是换算为电子浓度的值。

[0194] 如图8的坐标图(c)所示,为了满足与在电子阻挡层18界面产生的正的极化电荷的电中性条件,而在电子阻挡层18的活性层侧界面诱导 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的浓度的电子。这样,虽然在电子阻挡层的活性层侧界面产生电场,但是其强度也可以降低为 -0.2MV/cm 。这样,如图8的坐标图(e)以及(f)所示,由于也能够抑制电子阻挡层18的活性层15侧界面的导带以及价带的能带的电位的降低,因此,针对电子的势垒 ΔE_c 的降低以及针对空穴的势垒 ΔE_v 的增大得到抑制。在图8所示的构成中,势垒 ΔE_c 为 0.77eV 、势垒 ΔE_v 为 0.22eV 。并且,若参照图2所示的比较例1的模拟结果等,则可以知道电子阻挡层18的A1组成比分布为在图8所示的电子阻挡层18那样的凹形状(向下的凸形状)的情况下,针对电子的势垒 ΔE_c 大,针对空穴的势垒 ΔE_v 小。

[0195] 图9示出了作为本实施方式所涉及的半导体发光元件100的比较例2,模拟了仅电子阻挡层18B的构成与本实施方式不同的半导体发光元件的结果。将比较例2所涉及的电子阻挡层18B的膜厚设为 7nm ,随着从电子阻挡层18B的活性层15侧进入到第2半导体层19侧,使A1组成比从0增加到0.35。不过,以A1组成比的增加率逐渐减少的方式,来使A1组成比增加。即A1组成比分布的坐标图不是直线,而是向上的凸形状。

[0196] 如图9的坐标图(b)所示,在电子阻挡层18B的活性层15侧产生 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的正的极化电荷。在图9的坐标图(b),仅示出正的极化电荷。该值是图8所示的本实施方式所涉及的半导体发光元件100模拟生成的值的5倍。并且,在电子阻挡层18与第2半导体层19的界面,虽然没有进行图示,但是形成了具有 $-5.3 \times 10^{-2} \text{C/m}^2$ 的表面密度的负的极化电荷。在此,由于每一个电子的电荷基本量为 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$,因此若将界面的膜厚假定为AlGaIn的c轴方向晶格常数的几分之一左右的 $() .01 \text{nm}$,换算为电子浓度,则可以考虑到在界面产生相当于 $1 \times 10^{22} \text{cm}^{-3}$ 左右的负的极化电荷。

[0197] 在图9的坐标图(c)中,为了满足与在电子阻挡层18B界面产生的正的极化电荷的电中性条件,而在电子阻挡层18B的活性层15侧界面诱导 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的浓度的电子。该浓度相当于图8的坐标图(c)所示的值的10倍左右。为此,在电子阻挡层18B的活性层15侧界面产生的电场为 -0.9MV/cm ,其绝对值成为图8的坐标图(c)示出的情况的大约4.5倍。这样,如图8的坐标图(e)以及(f)所示,电子阻挡层18B的活性层15侧界面的导带、价带的能带的电位的降低,与图8所示的结果相比增大。据此,针对电子的势垒 ΔE_c 降低,针对空穴的势垒 ΔE_v 增大。在图9所示的构成中,针对电子的势垒 ΔE_c 为 0.68eV ,针对空穴的势垒 ΔE_v 为 0.28eV 。

[0198] 图10示出了将电子阻挡层18的膜厚设为 7nm 的情况下的模拟结果。在本模拟中,在电子阻挡层18的活性层15侧的膜厚 5nm 的区域,随着从活性层15侧进入到第2半导体层19侧,使A1组成比从0逐渐地(直线性的)增加到0.15。并且,在电子阻挡层18的第2半导体层19侧的膜厚 2nm 的区域,随着从活性层15侧进入到第2半导体层19侧,以A1组成比的增加率增大的方式,使A1组成比增加到0.35。在这种情况下,在电子阻挡层18的第2半导体层19侧的膜厚 2nm 的区域,A1组成比分布成为凹形状(向下的凸形状)。

[0199] 如图10的坐标图(b)所示,在电子阻挡层18的靠近活性层15的区域,随着远离活性层15,产生以从 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 向 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 减少的方式来分布的正的极化电荷。在图10的坐标图(b),仅表示正的极化电荷。并且,在电子阻挡层18与第2半导体层19的界面,虽然没有进

行图示,但是形成了具有 $-5.3 \times 10^{-2} \text{C/m}^2$ 的表面密度的负的极化电荷。在此,由于每一个电子的电荷基本量为 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$,因此若将界面的膜厚假定为AlGaN的c轴方向晶格常数的几十分之一左右的0.01nm,换算为电子浓度,则可以考虑到在界面产生相当于 $1 \times 10^{22} \text{cm}^{-3}$ 左右的负的极化电荷。

[0200] 在图10的坐标图(c),为了满足与在电子阻挡层18界面产生的正的极化电荷的电中性条件,在电子阻挡层18的活性层15侧界面诱导 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的浓度的电子。该浓度被抑制为图9的坐标图(c)所示的情况的十分之一左右。因此,在电子阻挡层18的活性层15侧界面产生的电场为 -0.3MV/cm ,并且绝对值也得到抑制。这样,如图10的坐标图(e)以及(f)所示,电子阻挡层18的活性层15侧界面的导带、价带的能带的电位的降低得到抑制,因此,针对电子的势垒 ΔE_c 增大,针对空穴的势垒 ΔE_v 降低。在图10所示的构成中,针对电子的势垒 ΔE_c 为0.77eV,针对空穴的势垒 ΔE_v 为0.23eV。

[0201] 在图11所示的模拟中,在图10所示的电子阻挡层的第2半导体层19侧采用了,具有附加了随着从活性层15侧进入到第2半导体层19侧,而Al组成比减少的2nm厚的区域(以下也称为“Al组成比减少区域”)的构成的电子阻挡层18。

[0202] 在电子阻挡层18的Al组成比减少区域中,随着从活性层15侧进入到第2半导体层19侧,Al组成比的减少率的绝对值逐渐增大,在此之后,以逐渐减少的方式,Al组成比减少到与第2半导体层19相同。即Al组成比减少区域,在Al组成比分布形状成为向上的凸形状的区域,在第2半导体层19侧具有,形成了成为凹形状(即向下的凸形状)的区域的Al组成比分布。

[0203] 如图11的坐标图(b)所示,在电子阻挡层18的活性层15侧,随着远离活性层15,产生以从 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 向 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 减少的方式来分布的正的极化电荷。在图11的坐标图(b)中,仅示出正的极化电荷。并且,在电子阻挡层18的第2半导体层19侧中的Al组成比减少的区域,虽然没有进行图示,但是产生了 $2 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 左右的负的极化电荷。

[0204] 在图11的坐标图(c)中,为了满足与在电子阻挡层18界面产生的正的极化电荷的电中性条件,在电子阻挡层18的活性层15侧界面诱导 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的浓度的电子。

[0205] 该电子浓度是与图10所示的构成相同的值,由于在电子阻挡层18的第2半导体层19侧附加了Al组成比减少区域,因此,如图11的坐标图(f)所示,价带的能带结构的电位的最小值降低,针对空穴的势垒 ΔE_v 增大,从而半导体发光元件100的工作电压增大。

[0206] 如图11的坐标图(e)以及(f)所示,电子阻挡层18的活性层15侧界面的导带以及价带的能带的电位的降低,与图10所示的结构相比减少了。因此,针对电子的势垒 ΔE_c 降低,针对空穴的势垒 ΔE_v 增大。在图11所示的结构中,针对电子的势垒 ΔE_c 为0.68eV,针对空穴的势垒 ΔE_v 为0.28eV。

[0207] 针对空穴的势垒 ΔE_v 与图10所示的构成相比,增大0.05eV左右,在半导体发光元件100的电流-电压特性中,会导致上升沿电压的0.04V左右的增大。因此,电子阻挡层18的Al组成比减少区域最好是尽可能薄。

[0208] 图12示出了,作为本实施方式所涉及的半导体发光元件100的比较例3,模拟了仅电子阻挡层18C的构成与本实施方式不同的半导体发光元件的结果。将比较例3所涉及的电子阻挡层18C的膜厚设为9nm,在电子阻挡层18C的活性层15侧的膜厚7nm的区域中,随着从电子阻挡层18C的活性层15侧进入到第2半导体层19侧,使Al组成比从0增加到0.35。在电子

阻挡层18C的第2半导体层19侧的膜厚2nm的A1组成比减少区域,随着从活性层15侧进入到第2半导体层19侧,使A1组成比减少为与第2半导体层19相同。

[0209] 在电子阻挡层18C的A1组成比减少区域,随着从活性层15侧进入到第2半导体层19侧,A1组成比的减少率的绝对值逐渐增大,在此之后,以逐渐减小的方式,A1组成比减少。即A1组成比减少区域在A1组成比分布形状成为向上的凸形状的区域第2半导体层19侧,具有形成了成为凹形状(即向下的凸形状)的区域的A1组成比分布。

[0210] 如图12的坐标图(b)所示,在电子阻挡层18C的活性层侧产生 $2 \times 10^{19} \text{Cm}^{-3}$ 的正的极化电荷。在图12的坐标图(b)中,仅示出正的极化电荷。并且,在电子阻挡层18的第2半导体层19侧中的A1组成减少的区域,虽然没有进行图示,但是产生了 $2 \times 10^{20} \text{Cm}^{-3}$ 左右的负的极化电荷。

[0211] 在图12的坐标图(c)中,为了满足与在电子阻挡层18界面产生的正的极化电荷的电中性条件,而在电子阻挡层18C的活性层15侧界面诱导 $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 的浓度的电子。

[0212] 这样的电子浓度增加到图11所示的构成的2倍左右。这是因为,电子阻挡层18C的活性层15侧的膜厚7nm的区域的A1组成比,比图11所示的构成大的缘故。即如图11中的构成所示,A1组成比分布具有凹形状的情况,能够降低诱导的电子浓度。

[0213] 如图12的坐标图(e)以及(f)所示,与图11所示的构成相比,电子阻挡层18C的活性层15侧界面的导带以及价带的能带的电位的降低也得到了减少。因此,针对电子的势垒 ΔE_c 降低,针对空穴的势垒 ΔE_v 增大。在图12所示的构成中,针对电子的势垒 ΔE_c 为0.66eV,针对空穴的势垒 ΔE_v 为0.30eV。

[0214] 接着,利用图13至图15,对本实施方式所涉及的电子阻挡层18的A1组成比分布的形状、与半导体发光元件100的工作电压以及针对电子的势垒 ΔE_c 的关系进行说明。图13是示出在模拟中所采用的电子阻挡层的A1组成比分布形状的模式图。图14以及图15分别是示出电子阻挡层的膜厚为5nm以及15nm的情况下的模拟结果的坐标图。

[0215] 在本模拟中进行了如下的探讨,即针对电子阻挡层的膜厚为5nm以及15nm的各个情况,使电子阻挡层的A1组成比最大值、第1区域的A1组成比最大值、以及第1区域的膜厚发生变化,估计以工作电流值为300mA时的工作电压、以及针对电子的势垒 ΔE_c ,并探讨了在电子漏出的抑制以及低电压化中有效果的形状。

[0216] 首先,利用图14,对电子阻挡层的膜厚为5nm的情况下的模拟结果进行说明。

[0217] 图14的坐标图(a)至(e)示出了300mA工作时的的工作电压的第1区域的膜厚依存性的计算结果,坐标图(f)至(j)示出了电子的势垒 ΔE_c 的第1区域的膜厚依存性的计算结果。坐标图(a)以及(f)示出了最大A1组成比为0.15,第1区域的最大A1组成比为0.05、0.1、0.15的各个情况中的计算结果。坐标图(b)以及(g)示出了最大A1组成比为0.2,第1区域的最大A1组成比为0.05、0.1、0.15、0.2的各个情况中的计算结果。坐标图(c)以及(h)示出了最大A1组成比为0.25,第1区域的最大A1组成比为0.05、0.1、0.15、0.2、0.25的各个情况中的计算结果。坐标图(d)以及(i)示出了最大A1组成比为0.3,第1区域的最大A1组成比为0.05、0.1、0.15、0.2、0.25、0.3的各个情况中的计算结果。坐标图(e)以及(j)示出了最大A1组成比为0.35,第1区域的最大A1组成比为0.05、0.1、0.15、0.2、0.25、0.3、0.35的各个情况中的计算结果。

[0218] 在各坐标图中,以白圆点表示的点示出,成为“直线状形状”的第1区域的膜厚,成

为“直线状形状”的是图13所示的A1组成比分布形状成为凹形状(即向下的凸形状)的区域、与成为凸形状(即向上的凸形状)的区域的边界。

[0219] 在图15的坐标图(a)至(j)中除了电子阻挡层的膜厚为15nm之处以外,分别是示出与图14的坐标图(a)至(j)相同的计算结果的坐标图。

[0220] 在各坐标图中,以白圆点表示的点与图14的各坐标图同样,示出成为“直线状形状”的第1区域的膜厚。

[0221] 如图14以及图15的坐标图(a)至(e)所示,在电子阻挡层中的最大A1组成比为0.15以上0.35以下,第1区域的最大A1组成比为0.05以上0.35以下的范围内,第1区域的最大A1组成比为电子阻挡层中的最大A1组成比的大小的50%以下的组成比,第1区域的膜厚只要是电子阻挡层的膜厚的50%以上,就成为直线状形状的情况下的工作电压以下的值。

[0222] 在第1区域的膜厚成为与电子阻挡层的膜厚相同的情况下,电子阻挡层的最大A1组成比成为第1区域的最大A1组成比。因此,随着第1区域的膜厚接近电子阻挡层的膜厚,电子阻挡层的禁带宽度能量大的区域的膜厚则变薄。这样,由于量子力学的隧道效果的影响,因此,针对电子的势垒 ΔE_c 接近于将电子阻挡层的最大A1组成比设为第1区域的最大A1组成比的情况下的 ΔE_c 的值。

[0223] 如图14以及图15的坐标图(f)至(g)所示,在电子阻挡层中的最大A1组成比为0.15以上0.35以下、第1区域的最大A1组成比为0.05以上0.35以下的范围内,只要第1区域的膜厚为电子阻挡层的膜厚的80%以下,就能够抑制针对电子的势垒 ΔE_c 的降低。

[0224] 根据图14至图15所示的结果,只要第1区域的最大A1组成比为电子阻挡层中的最大A1组成比的大小的50%以下的组成比,第1区域的膜厚为电子阻挡层的膜厚的50%以上且80%以下,与直线状形状的情况相比就更能够抑制工作电压,并且能够抑制因电子阻挡层的高A1组成比区域的薄膜化而引起的 ΔE_c 的降低。

[0225] 在此,若电子阻挡层的膜厚为2nm以下,就会因电子阻挡层膜厚的薄膜化,而容易造成隧道电流的发生,以及存在于电子阻挡层的活性层侧界面的电子被热激励而超过电子阻挡层,而导致电子的溢出。

[0226] 并且,若将电子阻挡层的A1组成比的最大值增高15%以上,则需要对Mg进行高浓度地掺杂,这样,电子阻挡层的膜厚变厚,导致波导损失的增大。

[0227] 因此,电子阻挡层的膜厚需要被制作成3nm以上、20nm以下。

[0228] 并且,也可以是,将电子阻挡层的膜厚设为5nm以上、15nm以下的范围,第1区域的最大A1组成比成为电子阻挡层中的最大A1组成比的大小的50%以下的组成比,第1区域的膜厚为电子阻挡层的膜厚的50%以上且80%以下。据此,不会导致波导损失的增大,稳定地抑制隧道电流、以及电子溢出的发生,并能够降低工作电压。

[0229] 在本实施方式中,将电子阻挡层的膜厚设为7nm、第1区域的膜厚设为4nm、第2区域的膜厚设为3nm,来使温度特性的提高与工作电压的降低均成立。

[0230] [1-5. 杂质掺杂分布图]

[0231] 接着,利用图16对本实施方式所涉及的半导体发光元件100的第2半导体层19中的杂质掺杂分布图进行说明。图16是示出本实施方式所涉及的半导体发光元件100中的第2半导体层19的杂质掺杂分布的模式图。

[0232] 如图16所示,在杂质浓度为 $P1 (= 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3})$ 的电子阻挡层18的上方形成第2半

导体层19。第2半导体层19从电子阻挡层18侧依次包括：杂质浓度为P2、膜厚为X2的低杂质浓度区域19a，以及杂质浓度为P3的高杂质浓度区域19b。据此，通过减少光在第2半导体层19受到的自由载流子损失，从而能够减少波导损失。

[0233] 但是，若杂质浓度P2过小，或膜厚X2过厚，则电阻增大，工作电压增大。因此，讨论了既能够抑制工作电压的增大，又能够实现低波导损失的低杂质浓度区域19a的膜厚X2以及杂质浓度P2。

[0234] 图16所示的N1是由以n型AlGaIn构成的第1半导体层12与以n型GaIn构成的第1光导向层13中的Si所构成的n型杂质的浓度，在此为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。并且，图16所示的P4是由以p型GaIn构成的接触层20的Mg所构成的p型杂质的浓度，在此为 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 。在这种条件下，针对低杂质浓度区域19a的膜厚X2以及杂质浓度P2、与工作电压以及波导损失的关系，将利用图17A以及图17B来进行说明。

[0235] 图17A以及图17B分别是示出本实施方式所涉及的半导体发光元件100中的工作电压以及波导损失在低杂质浓度区域19a的杂质浓度依存性的坐标图。图17A以及图17B分别示出了杂质浓度P2在 $0.5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 至 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的范围的情况下的300mA工作时的的工作电压、以及波导损失的杂质浓度。并且，在图17A以及图17B中示出了，低杂质浓度区域19a的膜厚X2为50nm、170nm、270nm以及370nm的情况下的依存性的计算结果。

[0236] 如图17A所示，当作为p型杂质的Mg的浓度为 $1.5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下时，工作电压急剧增大。

[0237] 如图17B所示，在低杂质浓度区域19a的膜厚为170nm以上的情况下，波导损失的减少效果大。

[0238] 于是，在本实施方式中，将低杂质浓度区域19a的膜厚设为170nm、Mg的掺杂浓度设为 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ，来实现低工作电压以及低波导损失。通过该Mg掺杂分布图，与将第2半导体层19的杂质掺杂设为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的固定的情况相比，能够将300mA工作时的的工作电压的增大抑制为0.1V，并且能够使波导损失从 7cm^{-1} 大约减少为一半的 4cm^{-1} 。

[0239] 接着，针对本实施方式所涉及的第2半导体层19的低杂质浓度区域19a的杂质掺杂浓度、与价带的能带结构以及空穴费米能级的关系，利用图18来进行说明。图18是示出使本实施方式所涉及的低杂质浓度区域19a的杂质掺杂浓度从 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 变化为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的情况下的价带的能带结构以及空穴费米能级的计算结果的坐标图。在此，将第2半导体层19的高杂质浓度区域19b的Mg掺杂浓度设为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 。

[0240] 如图18所示，可以知道若使低杂质浓度区域19a的Mg掺杂浓度变小，则价带的能带结构的倾斜增大，空穴因电场而被加速，从而容易高能量化。高能量化的空穴在电子阻挡层的活性层侧的区域的价带的能带的倾斜进一步加速而被高能量化，这样会导致因空穴造成的漏电流的发生。

[0241] 并且，若使高能量化的空穴通过Mg的掺杂浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的浓度高的电子阻挡层，则会导致晶格缺陷增殖，这将成为半导体发光元件100的可靠性降低的原因。

[0242] 通过图18可以知道，上述的价带的能带结构的倾斜，在低杂质浓度区域19a的Mg掺杂浓度为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下时增大。

[0243] 因此，为了不会导致波导损失以及工作电压的增大，且抑制空穴在低杂质浓度区域19a的价带的能带结构的倾斜而造成的高能量的空穴的发生，可以知道，只要将低杂质浓

度区域19a的Mg掺杂浓度控制在 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上、 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下的范围就可以实现。

[0244] 结合图18的结果,并考虑图17A以及图17B所示的结果,只要将低杂质浓度区域19a的膜厚设为150nm至200nm、将Mg掺杂浓度控制在 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上、 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下的范围,就不会导致波导损失以及工作电压的增大,并且能够抑制因价带的能带结构的倾斜而造成的高能量的空穴的发生。据此,能够实现高温工作特性的提高以及工作电流值的减少,因此能够提高半导体发光元件100的工作可靠性。

[0245] 接着,针对电子阻挡层的Al组成比分布形状、与半导体发光元件特性的关系,利用图19进行说明。图19是示出将电子阻挡层的Al组成比分布形状设为形状a、形状b以及形状c的情况下的半导体发光元件的特性的坐标图。在此,形状a相当于本实施方式所涉及的电子阻挡层的Al组成比分布形状,是在活性层侧的膜厚4nm的第1区域中,Al组成比从0直线性的增大到0.15,在第2半导体层侧的膜厚3nm的第2区域中,Al组成比从0.15直线性地增大到0.35的形状。形状b是在活性层侧的膜厚4nm的区域中,随着从活性层侧进入到第2半导体层侧,Al组成比从0到0.35直线性增加到最大值,在第2半导体层侧的膜厚3nm的区域中,Al组成比在最大值0.35保持固定的形状。形状c是膜厚7nm的电子阻挡层中的Al组成比分布在0.35保持固定的形状。

[0246] 图19的坐标图(a)示出25°C中的电流-光输出特性的测定结果,坐标图(b)示出25°C中的电流-电压特性的测定结果,坐标图(c)示出85°C中的电流-光输出特性的测定结果,坐标图(d)示出85°C中的电流-电压特性的测定结果。

[0247] 如图19所示,根据形状a可以知道,在电子阻挡层的Al组成比分布形状中,通过形成Al组成比变化率小的第1区域、Al组成比变化率大的第2区域,从而得到工作电压降低,并且电流-光输出特性的温度特性提高的效果。

[0248] 在本实施方式中虽然是,在电子阻挡层的第1区域中,在Al组成比分布形状中的膜厚4nm的区域,采用使Al组成比从0向0.15增大的形状,在第2区域中,在膜厚3nm的区域,采用使Al组成比从0.15向0.35增大的形状,不过形状a的第1区域以及第2区域的各膜厚并非受上述的各膜厚所限。

[0249] 图19所示的测定结果是通过采用具有如下的安装方式的半导体发光元件而获得的,所述安装方式是指,以使活性层侧接近于基板(Submount)侧的方式,在由金刚石构成的基板上,以倒装芯片(Junction down)的方式来安装。通过这种安装方式,由于半导体发光元件的热阻降低,而温度特性提高,但是若金刚石的热传导率为 $1000 \text{W/m} \cdot \text{K}$ 以上,则与其他的基板所使用的材料例如热传导率为 $200 \text{W/m} \cdot \text{K}$ 左右的SiC、热传导率为 $150 \text{W/m} \cdot \text{K}$ 左右的AlN等相比,由于热传导率非常大,能够实现抗热性,因此较佳。

[0250] 这样,即使是高温高输出工作时中的半导体发光元件,也能够减小温度的上升。据此,在通常的情况下,当温度上升时,掺杂了作为p型杂质的Mg的活性化率增高,p型层的电阻降低,因此工作电压降低。然而,在使用金刚石基板时,半导体发光元件的温度上升被抑制,温度从室温上升到高温的情况下的工作电压的降低幅度减小。因此,通过采用本实施方式所涉及的电子阻挡层的Al组成比分布,能够期待提高空穴的电传导性,以及低工作电压化,在以使散热性增高、热阻减小的安装方式来使半导体发光元件工作的情况下,则在功率消耗的减少上更有效果。

[0251] 例如,作为降低热阻的方法,除了在金刚石基板以下接合来进行安装的情况,还有

在单结晶SiC基板以下接合来进行安装的情况,或者可以考虑到将谐振腔长设为1200 μm 以上、条纹宽度设为40 μm 以上,以提高散热性、降低热阻的情况。

[0252] 尤其是在10瓦特以上的超高输出半导体激光元件,从散热性的观点来看,也可以将条纹宽度设为40 μm 以上、谐振腔长设为1500 μm 以上。据此,通过本实施方式所涉及的电子阻挡层,能够进一步得到降低工作电压的效果。

[0253] (实施方式2)

[0254] 对实施方式2所涉及的半导体发光元件进行说明。本实施方式所涉及的半导体发光元件与实施方式1所涉及的半导体发光元件100不同之处是,第3光导向层中的杂质掺杂构成、以及活性层的第2光导向层侧的势垒层或其界面中的杂质掺杂构成。以下,以与实施方式1所涉及的半导体发光元件100不同之处为中心,对本实施方式所涉及的半导体发光元件进行说明。

[0255] [2-1.全体构成]

[0256] 如以上所述,本实施方式所涉及的半导体发光元件与实施方式1所涉及的半导体发光元件100同样,具有图1A所示的层结构。

[0257] 本实施方式所涉及的半导体发光元件在第3光导向层16以及活性层15的势垒层15a的构成中,与实施方式1所涉及的半导体发光元件100不同。对第3光导向层16以及势垒层15a的构成以及其效果进行说明。

[0258] [2-2.第3光导向层中的杂质掺杂构成]

[0259] 在本实施方式所涉及的半导体发光元件的第3光导向层16的中间层17侧的区域,配置有组成比倾斜区域16a。在本实施方式中,在组成比倾斜区域16a掺杂Mg。以下利用图20以及图21,对本实施方式所涉及的半导体发光元件中的杂质掺杂分布进行说明。图20是用于说明本实施方式所涉及的半导体发光元件的第3光导向层16的组成比倾斜区域16a中的极化电荷的形成的模式图。图20的模式图(a)在模式上示出了第3光导向层16的组成比倾斜区域16a的附近区域的能带结构(即禁带宽度能量)。图20的模式图(b)在模式上示出了第3光导向层16的组成比倾斜区域16a的附近区域的极化电荷分布。图20的模式图(c)以及模式图(d)在模式上示出了第3光导向层16的组成比倾斜区域16a的附近区域中的Mg掺杂分布图。在模式图(c)所示的分布图中,在组成比倾斜区域16a中,Mg掺杂浓度均一。在模式图(d)所示的分布图中,在组成比倾斜区域16a中,Mg掺杂浓度倾斜。具体而言,从组成比倾斜区域16a的活性层15侧朝向电子阻挡层18侧,Mg掺杂浓度增大。模式图(e)在模式上示出了第3光导向层16的组成比倾斜区域16a附近区域的导带的能带结构。

[0260] 图21是用于说明比较例4所涉及的半导体发光元件的第3光导向层16中的极化电荷的形成的模式图。图21所示的比较例4所涉及的半导体发光元件在第3光导向层16不具有组成比倾斜区域之处,与本实施方式所涉及的半导体发光元件不同,其余之处一致。图21的模式图(a)在模式上示出了第3光导向层16的附近区域的能带结构(即禁带宽度能量)。图21的模式图(b)在模式上示出了第3光导向层16的附近区域的极化电荷分布。图21的模式图(c)在模式上示出了被配置在第3光导向层16的电子阻挡层18侧的端部的组成比倾斜区域16a的附近区域中的Mg掺杂分布图。在模式图(c)所示的分布图中,在第3光导向层16中的电子阻挡层18侧的区域中,以均一的分布掺杂Mg。模式图(d)在模式上示出了第3光导向层16的附近区域的导带的能带结构。

[0261] 在本实施方式所涉及的半导体发光元件中,在中间层17与第3光导向层16的边界处形成组成比倾斜区域16a,在该组成比倾斜区域16a中,In的组成比分布倾斜。另外,在比较例4所涉及的半导体发光元件中不具有组成比倾斜区域16a。

[0262] 在第3光导向层16不具有组成比倾斜区域16a的情况下,如图21所示,在中间层17与第3光导向层16的界面形成正的极化电荷。因此,以满足电中性条件的方式,能带结构变形,电子被诱导到中间层17与第3光导向层16的界面。这样,在该界面的能带结构中生成图21的模式图(d)所示的凹陷,该凹陷针对空穴起到势垒的作用。因此,在比较例4所涉及的半导体发光元件中,工作电压增大。

[0263] 对此,在第3光导向层16具有组成比倾斜区域16a的情况下,如图20的模式图(b)所示,在中间层17与第3光导向层16的界面形成的正的极化电荷以小的密度分散到组成比倾斜区域16a全体。因此,如图20的模式图(e)所示,能带结构的变形减小,不会生成图21所示的凹陷。为此,能够抑制半导体发光元件的工作电压的增大。

[0264] 而且,若在组成比倾斜区域16a掺杂Mg,则能够提高活性层15中的空穴浓度,从而能够进一步降低工作电压。

[0265] 只要在图20的模式图(c)所示组成比倾斜区域16a内以均一的浓度掺杂Mg,在第3光导向层16的空穴的电传导性就能够提高,从而工作电压降低。

[0266] 并且,如图20的模式图(d)所示,只要在组成比倾斜区域16a内,活性层15侧的浓度为低倾斜浓度,就能够抑制在第3光导向层16中,光分布所受到的自由载流子损失的发生,这样,既能够期待低电压化,又能够抑制波导损失的增大。

[0267] 在此,针对组成比倾斜区域16a的效果,利用图22A至图22C来说明。图22A、图22B以及图22C分别是示出Mg掺杂浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以及 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的情况下的本实施方式所涉及的半导体发光元件的工作电压对Mg掺杂区域长依存性的坐标图。在各图中示出了具有组成比倾斜区域16a的情况、以及不具有的情况下的300mA工作时的工作电压的计算结果。在有组成比倾斜区域16a的情况下,Mg掺杂区域作为与组成比倾斜区域16a相同的膜厚,来使组成比倾斜区域厚度发生变化。并且,各图中的实线表示,在组成比倾斜区域16a内以均一浓度掺杂了Mg的情况,虚线表示进行了活性层15侧的Mg掺杂浓度低的倾斜掺杂的情况。

[0268] 根据图22A至图22C可以知道,在Mg的掺杂浓度高时,工作电压能够降低0.01V左右。并且,Mg掺杂区域长越长,则工作电压就越降低,但是若Mg掺杂区域长过长,则会导致波导损失的增大。在Mg掺杂浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 的情况下,在Mg掺杂区域长为10nm左右时,能够得到工作电压的降低效果。在Mg掺杂浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的情况下,在Mg掺杂区域长为5nm左右时,能够得到工作电压的降低效果。

[0269] 在Mg掺杂浓度为 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的情况下,在Mg掺杂区域长为3nm左右时,能够得到工作电压的降低效果。

[0270] 并且,在组成比倾斜区域16a内进行了均一掺杂的情况,以及进行了倾斜掺杂的情况,工作电压的降低效果几乎相同。因此,从波导损失的增大抑制的观点来看,可以在组成比倾斜区域16a中对Mg进行倾斜掺杂。

[0271] 通过对组成比倾斜区域16a的Mg掺杂,不仅具有低工作电压化的效果,而且能够实现以较低的工作电压来提高空穴的电传导性的效果。因此,从瓦特级的高温高输出工作时

中的温度特性的提高、以及长期间工作可靠性保证的观点来看,向组成比倾斜区域16a的Mg掺杂是非常重要的。

[0272] 并且,在组成比倾斜区域16a探讨了如下的情况,即使电子阻挡层18侧的In组成比变化到与由p型GaN构成的中间层17相同的In组成比(即变化到In组成比0)的情况。在这种情况下,若在组成比倾斜区域16a的界面如以上所述掺杂Mg,则组成比倾斜区域16a的电子阻挡层18侧界面成为p型的GaN,这样,由p型的GaN层构成的第2导电型的中间层也可以不存在。

[0273] [2-3. 势垒层中的杂质掺杂构成]

[0274] 接着,对本实施方式所涉及的活性层15的势垒层15a中的杂质掺杂构成进行说明。

[0275] 本实施方式所涉及的半导体发光元件在势垒层15a、或第2光导向层14与势垒层15a的界面的至少一方具有掺杂了n型杂质的区域。据此,能够抵消在第2光导向层14与势垒层15a的界面产生的负的极化电荷的影响,通过使势垒层15a的价带的能带的电位降低,从而能够使阱层15b、阱层15d的价带的能带结构的形状均一化。据此,能够使在阱层15b以及阱层15d这2层中形成的量子波函数的形状的均一性提高。据此,由于能够接近各阱层中得到最高的放大增益的波长,从而能够提高放大增益。

[0276] 据此,能够降低激光振动所需要的振动界限电流值。

[0277] 而且,通过本实施方式所涉及的杂质掺杂,能够抑制空穴漏出到第1光导向层的空穴的溢出的发生。因此,能够提高半导体发光元件的温度特性。

[0278] 在此,利用图23对本实施方式所涉及的杂质掺杂进行说明。图23是示出本实施方式所涉及的杂质掺杂的状态的模式图。图23的模式图(a)示出了在活性层15的各层的界面形成的每单位体积中的极化电荷。模式图(b)示出了活性层15附近区域的能带结构。模式图(c)示出了在势垒层15a进行掺杂的情况下的杂质掺杂分布,模式图(d)示出了在势垒层15a与第2光导向层14的界面进行掺杂的情况下的杂质掺杂分布。

[0279] 如图23的模式图(c)以及(d)所示,本实施方式所涉及的半导体发光元件的结构为,在势垒层15a、或第2光导向层14与势垒层15a的界面的至少一方具有掺杂了n型杂质的区域。在本实施方式中,作为杂质而掺杂Si。

[0280] 接着,利用图24以及图25对本实施方式所涉及的杂质掺杂的效果进行说明。图24是示出在本实施方式所涉及的半导体发光元件中,在势垒层15a掺杂了Si的情况下的导带的能带结构以及价带的能带结构的坐标图。图24的坐标图(a)示出导带的能带结构的掺杂浓度依存性的计算结果,坐标图(b)示出价带的能带结构的掺杂浓度依存性的计算结果。

[0281] 由于在第2光导向层14与势垒层15a的界面产生的负的极化电荷,为了满足该界面的电中性条件,从而能带结构发生变化。而且,由于负的极化电荷而产生空穴。因此,该界面的电位上升。这样,通过对在第2光导向层14与势垒层15a的界面产生的负的极化电荷进行补偿,从而能够抑制价带的能带电位的增大,因此在该界面的附近区域掺杂n型杂质是有效的。

[0282] 如图24的坐标图(b)所示,若使向势垒层15a的Si掺杂浓度增加,则势垒层15a的价带的能带结构的电位降低,阱层15b以及阱层15d的价带的能带结构的形状均一化。并且,通过势垒层15a的第2光导向层14侧的价带的势垒增大,从而能够抑制空穴的波函数向第2光导向层14侧扩展。据此,电子以及空穴的波函数的互相关增大。这样,能够使针对阱层15b的

注入载流子的放大增益增大,从而能够降低振动界限电流值。并且,能够抑制空穴漏出到第2光导向层14侧的空穴的溢出。这样,能够提高半导体发光元件的温度特性。

[0283] 向势垒层15a的Si掺杂浓度越大,第2光导向层14侧的价带的势垒的增大效果就越大,根据图24的坐标图(b)所示的结果,只要Si掺杂浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上,价带的势垒就能够增大,并且能够充分地提高阱层15b、阱层15d的价带的能带结构的均一性。

[0284] 图25是示出在本实施方式所涉及的半导体发光元件中,在势垒层15a与第2光导向层14的界面掺杂了Si的情况下的导带的能带结构以及价带的能带结构的坐标图。图25的坐标图(a)示出了导带的能带结构的掺杂浓度依存性的计算结果,坐标图(b)示出了价带的能带结构的掺杂浓度依存性的计算结果。在本计算中,在从势垒层15a和第2光导向层14的界面 $\pm 5 \text{nm}$ 以内的区域掺杂Si。

[0285] 如图25的坐标图(b)所示,若使向势垒层15a和第2光导向层14的界面的Si掺杂浓度增加,则势垒层15a的价带的能带结构的电位降低,阱层15b以及阱层15d的价带的能带结构的形状均一化。并且,通过势垒层15a的第2光导向层14侧的价带的势垒增大,能够抑制空穴的波函数扩展到第2光导向层14侧。据此,电子以及空穴的波函数的互相关增大,能够使针对阱层15b的注入载流子的放大增益增大,从而能够降低振动界限电流值。并且,能够抑制空穴漏出到第2光导向层14侧的空穴的溢出。

[0286] 空穴的溢出抑制效果若与图24的坐标图(b)和图25的坐标图(b)相比较,在向势垒层15a和第2光导向层14的界面掺杂了Si时,第2光导向层14的价带的能带电位能够下降。因此,能够抑制空穴的波函数向第2光导向层14的扩展,并且能够提高针对空穴的溢出抑制的效果。

[0287] 向势垒层15a和第2光导向层14的界面的Si的掺杂浓度越大,则第2光导向层14侧的价带的势垒的增大效果就越大。然而,通过图25的坐标图(b)所示的结果,只要在 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上,不仅价带的势垒能够增大,而且能够充分提高阱层15b以及阱层15d的价带的能带结构的均一性。

[0288] (实施方式3)

[0289] 对实施方式3所涉及的半导体发光元件进行说明。本实施方式所涉及的半导体发光元件在活性层15的势垒层的构成中,与实施方式2所涉及的半导体发光元件不同。以下,以与实施方式2所涉及的半导体发光元件不同之处为中心,对本实施方式所涉及的半导体发光元件进行说明。

[0290] 在本实施方式所涉及的半导体发光元件中,势垒层15a、势垒层15c以及势垒层15e不是由In组成比0.04的InGaN构成,而是由GaN构成。

[0291] 通过使各势垒层为GaN,从而能够增大各阱层的价带的能带阻挡。然而,即使在该结构中,由于在第2光导向层14和势垒层15a的界面产生负的极化电荷,因此为了满足该界面的电中性条件,从而能带结构发生变化。而且,由于负的极化电荷,会导致空穴的发生。因此,该界面的电位上升。为此,通过对第2光导向层14和势垒层15a的界面产生的负的极化电荷进行补偿,从而能够抑制价带的能带电位的增大,因此,在该界面的附近区域掺杂n型杂质是有效的。

[0292] 于是,本实施方式所涉及的半导体发光元件所具有的结构是,具有在势垒层15a或第2光导向层14和势垒层15a的界面的至少一方掺杂了n型杂质的区域。

[0293] 据此,与上述的实施方式2同样,能够提高半导体发光元件的放大增益,并且能够降低激光振动所需要的振动界限电流值。而且,能够抑制空穴漏出到第2光导向层14的空穴的溢出的发生。因此,能够使半导体发光元件的温度特性提高。

[0294] 在此,利用图26对本实施方式所涉及的杂质掺杂进行说明。图26是示出本实施方式所涉及的杂质掺杂的状态的模式图。图26的模式图(a)示出了在活性层15的各层的界面形成的每单位体积的极化电荷。模式图(b)示出了活性层15附近区域的能带结构。模式图(c)示出了在势垒层15a进行掺杂的情况下的杂质掺杂分布,模式图(d)示出了在势垒层15a和第2光导向层14的界面进行了掺杂的情况下的杂质掺杂分布。

[0295] 如图26的模式图(c)以及(d)所示,本实施方式所涉及的半导体发光元件所具有的结构是,在势垒层15a、或第2光导向层14和势垒层15a的界面的至少一方具有掺杂了n型杂质的区域。在本实施方式中,作为杂质而掺杂了Si。

[0296] 接着,利用图27以及图28对本实施方式所涉及的杂质掺杂的效果进行说明。图27是示出在本实施方式所涉及的半导体发光元件中,在势垒层15a掺杂了Si的情况下的导带的能带结构以及价带的能带结构的坐标图。图27的坐标图(a)示出了导带的能带结构的掺杂浓度依存性的计算结果,坐标图(b)示出了价带的能带结构的掺杂浓度依存性的计算结果。

[0297] 如图27的坐标图(b)所示,若使向势垒层15a的Si掺杂浓度增加,则势垒层15a的价带的能带结构的电位降低,并且,阱层15b以及阱层15d的价带的能带结构的形状均一化。并且,通过势垒层15a的第2光导向层14侧的价带的势垒增大,从而能够抑制空穴的波函数扩展到第2光导向层14侧。据此,电子以及空穴的波函数的互相关增大。这样,由于能够使针对阱层15b的注入载流子的放大增益增大,因此能够降低振动界限电流值。并且,能够抑制空穴漏出到第2光导向层14侧的空穴的溢出。因此,能够使半导体发光元件的温度特性提高。

[0298] 向势垒层15a的Si掺杂浓度越大,则第2光导向层14侧的价带的势垒的增大效果就越大,通过图27的坐标图(b)所示的结果,只要Si掺杂浓度在 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上,价带的势垒就能够增大,并且,能够充分地提高阱层15b以及阱层15d的价带的能带结构的均一性。

[0299] 图28是示出在本实施方式所涉及的半导体发光元件中,向势垒层15a和第2光导向层14的界面掺杂了Si的情况下的导带的能带结构以及价带的能带结构的坐标图。图28的坐标图(a)示出了导带的能带结构的掺杂浓度依存性的计算结果,坐标图(b)示出了价带的能带结构的掺杂浓度依存性的计算结果。在本计算中,在从势垒层15a和第2光导向层14的界面 $\pm 5 \text{nm}$ 以内的区域掺杂了Si。

[0300] 如图28的坐标图(b)所示,若使向势垒层15a和第2光导向层14的界面的Si掺杂浓度增加,则势垒层15a的价带的能带结构的电位降低,阱层15b以及阱层15d的价带的能带结构的形状均一化。并且,通过势垒层15a的第2光导向层14侧的价带的势垒增大,从而能够抑制空穴的波函数向第2光导向层14侧扩展。据此,电子以及空穴的波函数的互相关增大,由于能够使针对阱层15b的注入载流子的放大增益增大,因此能够降低振动界限电流值。并且,能够抑制空穴漏出到第2光导向层14侧的空穴的溢出。

[0301] 空穴的溢出抑制效果与图27的坐标图(b)和图28的坐标图(b)相比较,在势垒层15a掺杂了Si时,由于势垒层15a的禁带宽度能量大,因此价带的能带电位的下降效果大。因此,能够抑制空穴的波函数向第2光导向层14的扩展,并且,能够提高针对空穴的溢出抑制

的效果。

[0302] 向势垒层15a和第2光导向层14的界面的Si掺杂浓度越大,则第2光导向层14侧的价带的势垒增大的效果加大,通过图28 (b) 所示的结果,只要Si掺杂浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上,则价带的势垒增大,并且能够充分地提高阱层15b以及阱层15d的价带的能带结构的均一性。

[0303] 并且,在实施方式2以及3中虽然示出了在势垒层15a和第2光导向层14的界面、或势垒层15a的一方掺杂了杂质的结果,若在双方均掺杂,则更能够抑制空穴的波函数向第2光导向层14的扩展,并且能够进一步提高针对空穴的溢出抑制的效果。

[0304] (实施方式4)

[0305] 对实施方式4所涉及的半导体发光元件进行说明。本实施方式所涉及的半导体发光元件在第1半导体层12和第1光导向层13的界面、以及第1光导向层13和第2光导向层14的界面进行了杂质掺杂之处,与实施方式1所涉及的半导体发光元件100不同。以下利用图29,以与实施方式1所涉及的半导体发光元件100不同之处为中心,对本实施方式所涉及的半导体发光元件进行说明。

[0306] 图29是示出本实施方式所涉及的半导体发光元件的杂质掺杂分布、与禁带宽度能量分布的关系的模式图。图29的模式图 (a) 示出了本实施方式所涉及的半导体发光元件的杂质掺杂分布,模式图 (b) 示出了本实施方式所涉及的半导体发光元件的禁带宽度能量分布。

[0307] 本实施方式所涉及的半导体发光元件的结构如图29所示,在实施方式1所涉及的半导体发光元件中进一步,在从第1半导体层12和第1光导向层13的界面、以及第1光导向层13和第2光导向层14的界面 $\pm 5 \text{nm}$ 以内的区域,分别以浓度 N_2 以及 N_3 的大小,相对高浓度地掺杂了由Si构成的n型杂质。在第1半导体层12以及第1光导向层13中,将没有被相对高浓度地掺杂的区域的由Si构成的n型杂质的掺杂浓度,设为 $N_1 (=1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3})$ 。

[0308] 通过进行这样的掺杂,能够抑制由于在各个界面产生的负的极化电荷而被电诱导的空穴所造成的能带变形,而在界面出现的波尖状的势垒的形成。并且,由于高浓度掺杂的区域窄,因此能够抑制波导损失。这样,能够将波导损失维持在较低的值,并且能够使工作电压进一步低电压化。

[0309] 接着,利用图30对本实施方式所涉及的杂质掺杂的效果进行说明。图30是示出在本实施方式所涉及的半导体发光元件中,300mA工作时的的工作电压对第1半导体层12以及第2半导体层19的Al组成比依存性的计算结果坐标图。各坐标图内的线表示同一工作电压的坐标,在该线上的数值表示工作电压。图30的坐标图 (a)、(b) 以及 (c) 分别示出了,在第1半导体层12和第1光导向层13的界面、以及第1光导向层13和第2光导向层14的界面进行了 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-1}$ 、 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-1}$ 以及 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-1}$ 的Si掺杂的情况下的计算结果。

[0310] 在向界面的Si掺杂浓度为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-1}$ 的情况下,若将由n型AlGaN构成的第1半导体层12的Al组成比提高为0.04以上,则工作电压增大,在向界面的Si的掺杂浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-1}$ 以上的情况下,即使提高第1半导体层12的Al组成比,工作电压也不会变动。据此,通过向界面掺杂 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-1}$ 以上的Si,只要Al组成比在0.08以内的范围中,在界面产生的极化电荷所造成的能带结构的变形的发生就能够得到抑制,从而能够进一步实现低工作电压化。

[0311] 在本实施方式所涉及的半导体发光元件中,通过向界面掺杂 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-1}$ 的Si,从而能够使300mA工作时的的工作电压减小0.03V左右。

[0312] 并且,通过进行这种掺杂,能够抑制由于在各个界面产生的负的极化电荷而被电诱导的空穴所造成的能带变形,而在界面出现的波尖状的势垒的形成。

[0313] 在n型层的界面,由于空穴的诱导而出现能带变形的情况下,由于在n型区域存在许多电子,因此电子与空穴的俄歇非发光再结合容易在界面上产生。若在异质界面发生俄歇非发光再结合,则在非发光再结合中心附近的区域的温度会局部性地增大,由于晶格常数的不同,容易产生晶格缺陷的增殖,从而导致半导体发光元件的可靠性降低。

[0314] 为了不会造成波导损失的增大,且抑制在n型半导体的异质界面的俄歇非发光再结合的发生,在异质界面附近区域掺杂高浓度杂质是有效的。并且,浓度N2以及N3只要是 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-1}$ 以上的大小即可,可以不必是相同的大小。

[0315] 并且,高浓度地对杂质进行掺杂的区域是为了通过形成逆极性的电荷来抵消异质界面中的极化电荷而被形成的。因此可以是,以在异质界面成为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上的杂质浓度的方式来进行掺杂,从而在异质界面以外的区域使杂质掺杂浓度降低。在这种情况下,高浓度的杂质区域宽度变窄是等价的,因此自由载流子损失的发生减少,波导损失变小。这样,工作电流值降低,温度特性提高。

[0316] (实施方式5)

[0317] 对实施方式5所涉及的半导体发光元件进行说明。本实施方式所涉及的半导体发光元件在具备进一步降低波导损失的构成之处,与实施方式1所涉及的半导体发光元件100不同。以下,以与实施方式1所涉及的半导体发光元件100不同之处为中心,利用图31对本实施方式所涉及的半导体发光元件进行说明。

[0318] 图31是在模式上示出本实施方式所涉及的半导体发光元件500的概略构成的截面图。如图31所示,本实施方式所涉及的半导体发光元件500除了实施方式1所涉及的半导体发光元件100的构成以外,还具备导电性氧化膜33。

[0319] 导电性氧化膜33是被配置在脊部上的接触层20与p侧电极32之间的膜。作为导电性氧化膜33例如有,掺杂了锡的氧化铟(ITO)、掺杂了Ga的氧化锌、掺杂了Al的氧化锌、掺杂了In和Ga的氧化锌等针对可见光具有透过性的、示出低电阻的电传导性的氧化膜。

[0320] 在这种情况下,导电性氧化膜33的折射率低,通过被形成在接触层20与p侧电极32之间,从而能够抑制波导中传播的光在p侧电极中的吸收损失。而且,由于折射率低,因此对光的约束作用强,即使像图31所示那样,将脊部高度H设定得较低为 $0.45 \mu\text{m}$ 以下,由于光分布会渗出到p侧电极32,从而能够抑制吸收损失的发生。形成脊部的p型AlGaN层,由于电阻率比n型的AlGaN高,因此将脊部高度H(脊部中的第2半导体层19的膜厚)设定得薄,则对半导体发光元件500的串联电阻的降低有效。

[0321] 在本实施方式所涉及的半导体发光元件500中,作为导电性氧化膜33,采用膜厚 $0.2 \mu\text{m}$ 的ITO。

[0322] 接着,利用图32对本实施方式所涉及的半导体发光元件500的效果进行说明。图32是示出本实施方式所涉及的半导体发光元件500的光限制系数以及有效折射率差的计算结果的坐标图。图32的坐标图(a)、(b)、(c)、(d)以及(e)分别示出了将脊部高度H设为 $0.25 \mu\text{m}$ 、 $0.35 \mu\text{m}$ 、 $0.45 \mu\text{m}$ 、 $0.55 \mu\text{m}$ 以及 $0.65 \mu\text{m}$ 的情况下的计算结果。在图32中示出了,将第2光导向层

14以及第3光导向层16的膜厚作为参数,波导损失(各坐标图内的实线)、向阱层15b与阱层15d的层叠方向上的光分布的光限制系数(各坐标图内的二点划线)、以及脊部内外的有效折射率差 ΔN (虚线)的计算结果。

[0323] 脊部内外的有效折射率差 ΔN 是指,脊部内部的层叠方向上的光分布的有效折射率与脊部外的层叠方向上的光分布的有效折射率的差。当 ΔN 大时,光分布在脊部内外的水平方向(与层叠界面平行的方向)上的限制增大,水平方向的光分布被有效地限制在脊部内部。在有效折射率差 ΔN 变小时,能够在波导中传播的侧向横模的最高阶数变小。

[0324] 在将阶数最低的基横模设为0阶模时,如果至少3种以上的阶数的光分布不同时工作,则在电流-光输出特性中容易产生非线性的弯折(弯曲:kink),半导体发光元件的光输出功率的稳定性受到损失。因此,需要至少以2阶模的高阶侧向横模不被截止的方式,将有效折射率差 ΔN 设定为某一定值以上。

[0325] 若脊部宽度 W 大,则被截止的侧向横模的最高阶数增大,所需要的有效折射率差 ΔN 变小。在脊部宽度 W 为 $10\mu\text{m}$ 至 $30\mu\text{m}$ 的情况下,若有效折射率差 ΔN 不在 3×10^{-3} 以上,则稳定的3种以上不同阶数的侧向横模难于同时进行激光振动。在脊部宽度 W 为 $40\mu\text{m}$ 以上的情况下,只要有效折射率差 ΔN 为 1×10^{-4} 以上,至少从基横模到2阶的高阶侧向横模能够稳定地同时进行激光振动,从而能够抑制弯曲(kink)的发生。在 W 为 $50\mu\text{m}$ 以上的情况下,能够在脊部条纹进行波导的侧向横模的阶数急剧增多,只要有效折射率差 ΔN 比0大,至少从基横模到2阶的高阶侧向横模能够稳定地同时进行激光振动。

[0326] 在此,作为导电性氧化膜33,将ITO膜形成在脊部上的接触层20与p侧电极32之间。在这种情况下,如图32所示,在脊部高度 H 为 $0.25\mu\text{m}$ 以上 $0.65\mu\text{m}$ 以下的范围时,为了将有效折射率差 ΔN 设为 1×10^{-4} 以上,可以知道只要将第2光导向层14和第3光导向层16的合计膜厚设为 $0.45\mu\text{m}$ 以下即可。并且,在脊部高度 H 为 $0.25\mu\text{m}$ 以上 $0.65\mu\text{m}$ 以下的范围时,为了将有效折射率差 ΔN 设为 3×10^{-3} 以上,可以知道只要将第2光导向层和第3光导向层的合计膜厚设为 $0.3\mu\text{m}$ 以下即可。若脊部宽度 W 为 $50\mu\text{m}$ 以上,则第2光导向层14和第3光导向层16的合计膜厚越厚,波导损失就越小。但是,若第2光导向层14和第3光导向层16的合计膜厚过厚,则第2光导向层14和第3光导向层16的不掺杂区域也变厚,从而电阻增大。为此,可以将第2光导向层和第3光导向层的合计膜厚设为 $0.6\mu\text{m}$ 以下。

[0327] 并且,通过图32可以知道,若在脊部上的接触层20与p侧电极32之间形成由ITO构成的导电性氧化膜33,则即使脊部高度低仅为 $0.25\mu\text{m}$,也不会导致波导损失的增大。

[0328] 若在脊部上的接触层20与p侧电极32之间形成导电性氧化膜33,即使脊部高度 H 低仅为 $0.35\mu\text{m}$,也能够抑制波导损失的急剧增大,因此,在将脊部高度设定为 $0.25\mu\text{m}$ 以上 $0.45\mu\text{m}$ 以下的情况下,就能够降低半导体发光元件的串联电阻,因此是非常有效的。

[0329] 在本实施方式所涉及的半导体发光元件500中,在实施方式1所涉及的半导体发光元件100中,将由膜厚 $0.2\mu\text{m}$ 的ITO构成的导电性氧化膜33形成在脊部上。在该半导体发光元件500中,通过将脊部高度 H 设为 $0.25\mu\text{m}$ 、将第2光导向层14和第3光导向层16的合计膜厚设为 $0.25\mu\text{m}$,从而能够将波导损失抑制为 1.6cm^{-1} 。在该半导体发光元件500中,由于有效折射率差 ΔN 为 1×10^{-3} 左右比较小,因此若将脊部宽度 W 设为 $40\mu\text{m}$ 以上,就能够抑制电流-光输出特性中的弯曲的发生。

[0330] 并且,即使在实施方式1所涉及的半导体发光元件中,若将脊部的高度 H 设为 $0.45\mu\text{m}$

m、将第2光导向层和第3光导向层的合计膜厚设为 $0.25\mu\text{m}$ ，则能够实现波导损失为 1.8cm^{-1} 和 2cm^{-1} 以下的损失非常少的波导。即使在这种构成中，由于有效折射率差 ΔN 为 1×10^{-3} 左右比较小，因此，只要将脊部宽度 W 设为 $40\mu\text{m}$ 以上，就能够抑制电流-光输出特性中的弯曲的发生。

[0331] 并且，若在脊部上的接触层20与p侧电极32之间形成由ITO构成的导电性氧化膜33，在脊部高度 H 为 $0.25\mu\text{m}$ 至 $0.65\mu\text{m}$ 的范围内，若将第2光导向层和第3光导向层的合计膜厚设为 $0.3\mu\text{m}$ 以上，波导损失则成为 3cm^{-1} 以下。若将第2光导向层14和第3光导向层16的合计膜厚设为 $0.39\mu\text{m}$ 以上，则波导损失成为 2cm^{-1} 以下。在脊部宽度 W 为 $50\mu\text{m}$ 以上的情况下，虽然有效折射率差 ΔN 变小，但是不容易发生弯曲，在将第2光导向层和第3光导向层的合计膜厚设为 $0.5\mu\text{m}$ 以上时，则能够实现 1.5cm^{-1} 以下超低损失的波导。

[0332] 并且，在脊部上的接触层20与p侧电极32之间没有形成由ITO构成的导电性氧化膜33的情况下，通过与上述同样的计算，在脊部高度 H 为 $0.45\mu\text{m}$ 至 $0.65\mu\text{m}$ 的范围内，在将第2光导向层14和第3光导向层16的合计膜厚设为 $0.31\mu\text{m}$ 以上时，波导损失成为 4cm^{-1} 以下。并且，在将第2光导向层14和第3光导向层16的合计膜厚设为 $0.36\mu\text{m}$ 以上时，波导损失成为 3cm^{-1} 以下，在将第2光导向层14和第3光导向层16的合计膜厚设为 $0.4\mu\text{m}$ 以上时，波导损失成为 2cm^{-1} 以下。在脊部宽度 W 为 $50\mu\text{m}$ 以上的情况下，虽然有效折射率差 ΔN 变小，但是不容易发生弯曲，若将第2光导向层14和第3光导向层16的合计膜厚设为 $() .5\mu\text{m}$ 以上，则能够实现 1.5cm^{-1} 以下的超低损失的波导。

[0333] 在脊部高度 H 为 $0.55\mu\text{m}$ 以上 $0.65\mu\text{m}$ 以下时，若将第2光导向层14和第3光导向层16的合计膜厚设为 $0.25\mu\text{m}$ 以上，则波导损失成为 5cm^{-1} 以下，若将第2光导向层14和第3光导向层16的合计膜厚设为 $0.33\mu\text{m}$ 以上，则波导损失为 4cm^{-1} 以下，若将第2光导向层14和第3光导向层16的膜厚设为 $0.42\mu\text{m}$ 以上，则波导损失成为 2cm^{-1} 以下。

[0334] 并且，在脊部上形成由ITO构成的导电性氧化膜33时，由于导电性氧化膜33的折射率低，因此，在波导形成的光分布向p侧电极32的扩散减少。这样，在p侧电极的光吸收减少，波导损失减少。如以上所述，为了波导损失的减少，可以将第2光导向层14和第3光导向层16的合计膜厚设定得较厚。这是因为，层叠方向上的光分布集中到折射率高的活性层，这不仅抑制了向p侧电极32的光分布的扩散，在电子或空穴浓度高的n型层或p型层，光分布的存在比例减小，从而自由载流子损失减少的缘故。

[0335] 在此，在第2光导向层14以及第3光导向层16的界面附近的区域产生极化电荷。为了降低极化电荷的影响，可以仅在极化电荷发生的界面附近区域进行掺杂。在除该界面附近以外的区域，不要掺杂杂质，这样能够使第2光导向层14和第3光导向层16的电子、空穴的浓度减少，从而光分布所受到的自由载流子损失减少。

[0336] 然而，通过杂质掺杂，光分布在脊部内外的有效折射率差 ΔN 降低，水平横方向上对光的限制减弱。在脊部宽度 W 为 $30\mu\text{m}$ 以下的情况下，若有效折射率差 ΔN 为 3×10^{-3} 以下，则3种以上的阶数的侧向横模难于稳定地同时进行激光振动，这样，在电流-光输出特性中发生弯曲。

[0337] 因此，要想在将第2光导向层14和第3光导向层16的合计膜厚设定得较厚的状态下来提高有效折射率差 ΔN ，使第1半导体层12的Al1组成比，高于第2半导体层19是有效的。这是因为，在AlGaIn中，若提高Al1组成比则折射率降低，因此，光分布会偏重于折射率高的第2

半导体层19侧,这样,由于在脊部的水平方向内外的结构上出现不同,因此有效折射率不同而导致的的影响增大,所以能够将有效折射率差 ΔN 提高。

[0338] 在这种情况下,在脊部上形成由ITO构成的导电性氧化膜33,只要将脊部高度H设定为较低的 $0.45\mu\text{m}$ 以下,半导体发光元件500的串联电阻就会降低,层叠方向上的光分布在作为p型层的脊部内部的存在比例减小。因此,自由载流子损失减少,从而能够进一步抑制在p侧电极32的吸收损失的发生。

[0339] 此时,如图30所示,在向第1半导体层12和第1光导向层13的界面、以及、第1光导向层13和第2光导向层14的界面的Si的掺杂浓度为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-1}$ 的情况下,在将第1半导体层12的Al组成比进行较高的设定,设为0.04以上时,则工作电压增大。另外,在向界面的Si的掺杂浓度为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-1}$ 以上的情况下,即使提高第1半导体层12的Al组成比,工作电压也不会变。据此,在向界面的Si掺杂为 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-1}$ 以上的情况下,只要Al组成比为0.08以内的范围,在界面产生的极化电荷所造成的能带结构的变形的发生就能够得到抑制。据此,能够进一步实现低工作电压化。

[0340] 在将第1半导体层12的Al组成比提高为0.04以上的情况下,掺杂 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-1}$ 以上的Si的界面,即使仅是第1半导体层12和第1光导向层13的界面以及第1光导向层13和第2光导向层14的界面之中的、第1半导体层12和第1光导向层13的界面,也能够得到低工作电压化的效果。

[0341] 这样,能够使串联电阻减少、有效折射率差 ΔN 的增大、波导损失的减少同时进行。因此,能够实现低工作电压特性以及发光效率高的、具有不容易发生弯曲的电流-光输出特性的半导体发光元件。

[0342] (变形例等)

[0343] 以上基于各实施方式,对本公开所涉及的半导体发光元件进行了说明,但是本公开并非受上述的各实施方式所限。

[0344] 例如,在上述各实施方式中,虽然对振动波长450nm波段的蓝色激光元件进行了说明,本公开也能够适用振动波长405nm的蓝紫激光元件。

[0345] 并且,在上述各实施方式中,虽然示出了半导体发光元件为半导体激光元件的例子,不过半导体发光元件并非受半导体激光元件所限。例如,半导体发光元件也可以是超辐射发光二极管(Superluminescent diode)。

[0346] 并且,在上述各实施方式以及变形例所涉及的半导体发光元件中,虽然采用脊部结构实现了电流狭窄,但是实现电流狭窄的手段并非受此所限,也可以使用电极条纹结构、埋入型结构等。

[0347] 并且,对上述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形态、以及在不脱离本公开的主旨的范围内对上述各实施方式中的构成要素以及功能进行任意的组合而实现的形态均包括在本公开内。

[0348] 本公开的半导体发光元件能够适用于例如在高温工作中也能够实现低功率消耗的光源,例如能够适用于车载前照灯光源等。

[0349] 符号说明

[0350] 11 GaN衬底

[0351] 12 第1半导体层

- [0352] 13 第1光导向层
- [0353] 14 第2光导向层
- [0354] 15、415 活性层
- [0355] 15a、15c、15e 势垒层
- [0356] 15b、15d 阱层
- [0357] 16 第3光导向层
- [0358] 16a 组成比倾斜区域
- [0359] 17 中间层
- [0360] 18、18A、18B、18C、418 电子阻挡层
- [0361] 19 第2半导体层
- [0362] 19a 低杂质浓度区域
- [0363] 19b 高杂质浓度区域
- [0364] 20 接触层
- [0365] 30 电流阻挡层
- [0366] 31 n侧电极
- [0367] 32 p侧电极
- [0368] 33 导电性氧化膜
- [0369] 100、500 半导体发光元件
- [0370] 211 n型层
- [0371] 212 活性层
- [0372] 213 p型层
- [0373] 228 p侧电子限制层
- [0374] 230 上部覆盖层。

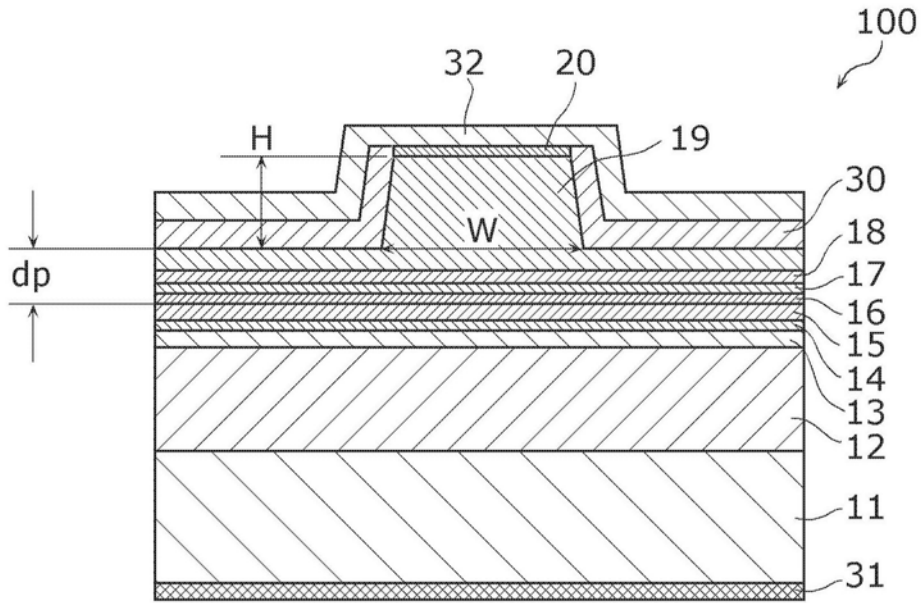


图1A

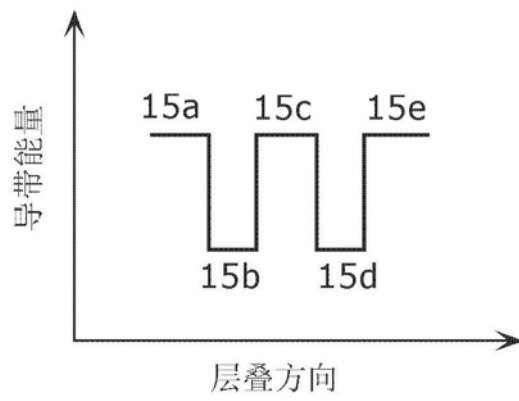


图1B

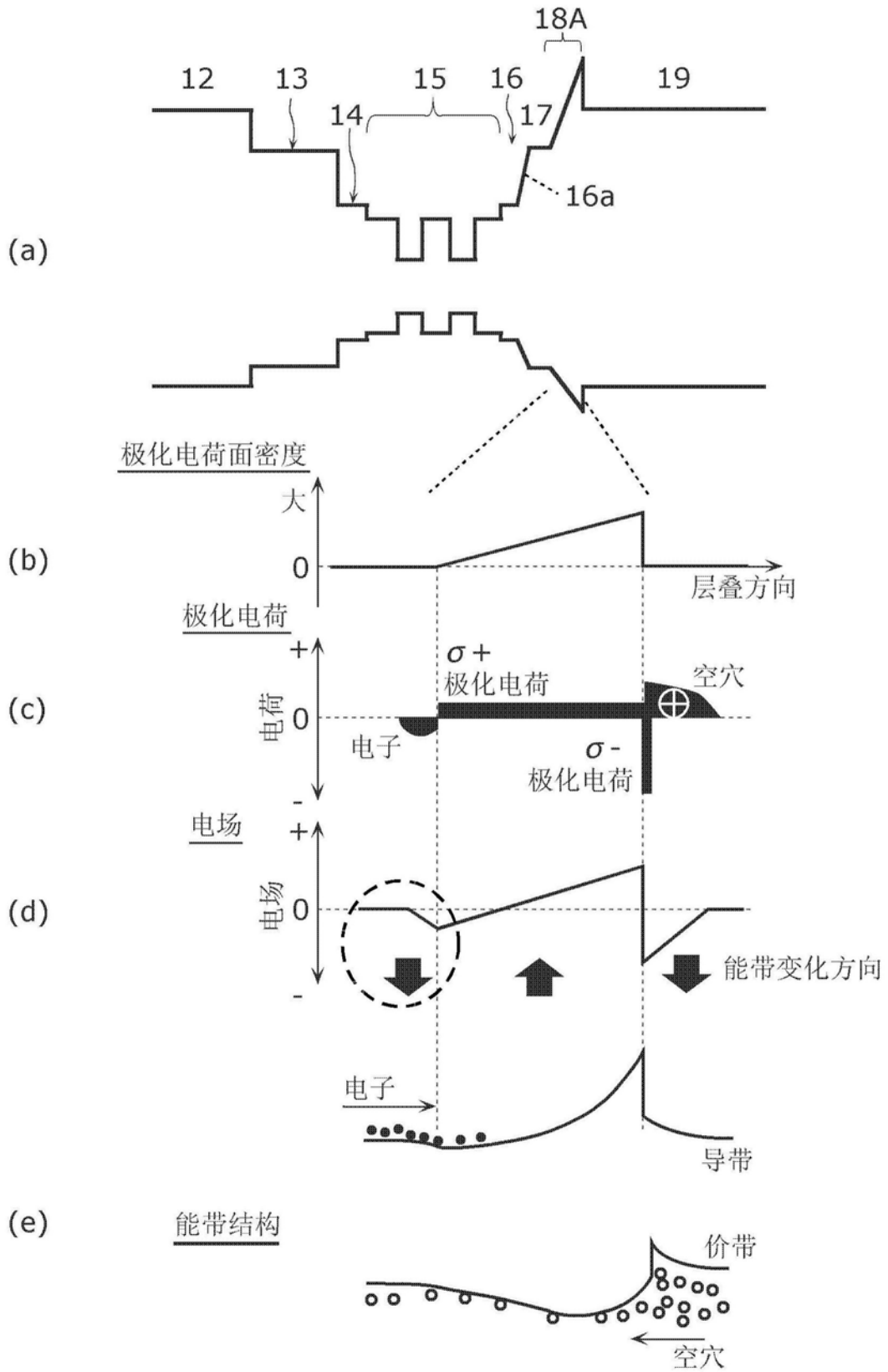


图2

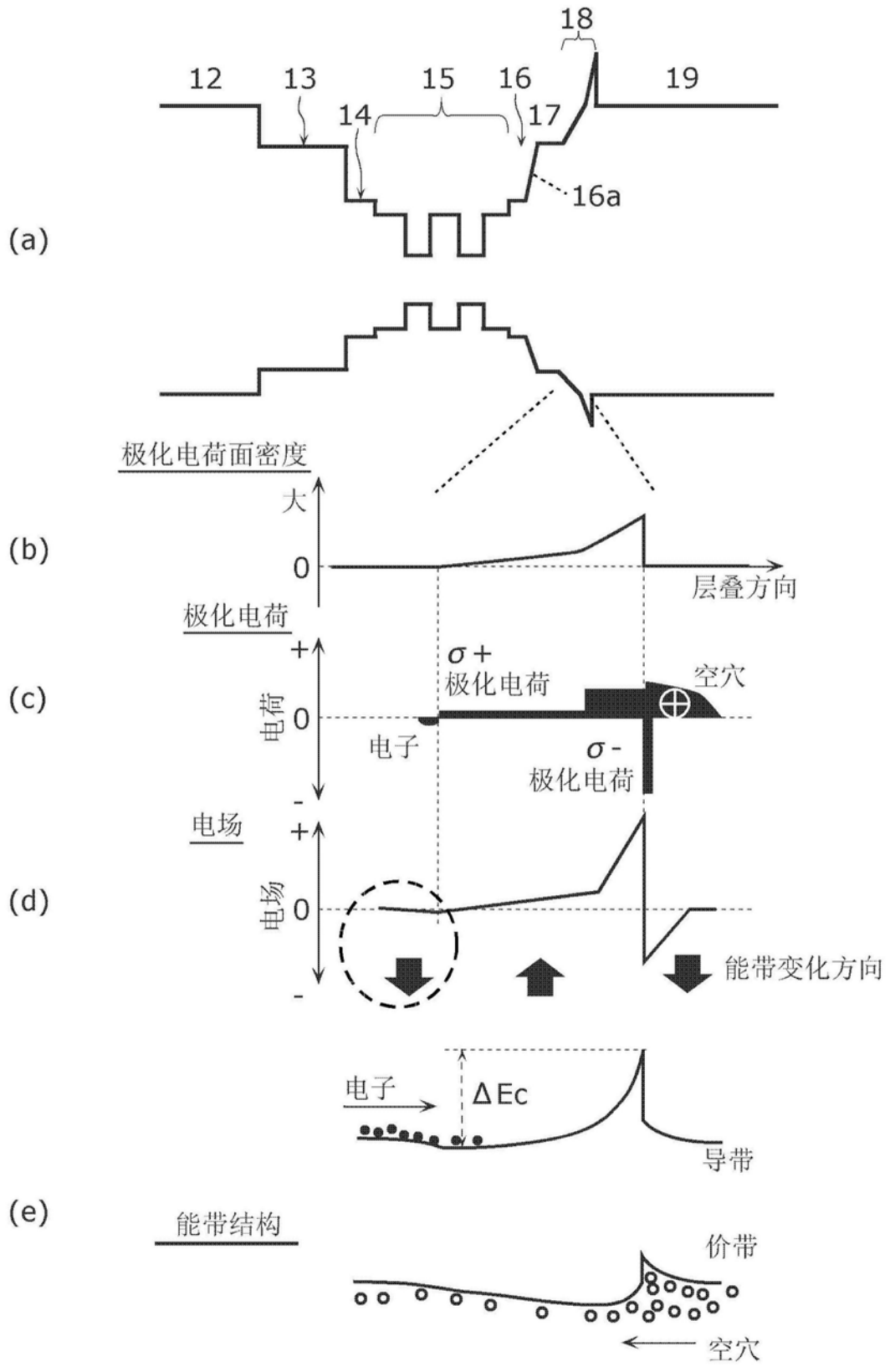


图3

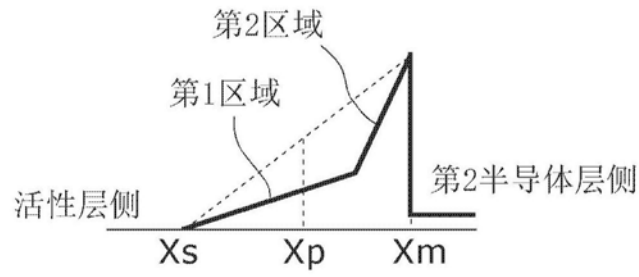


图4A

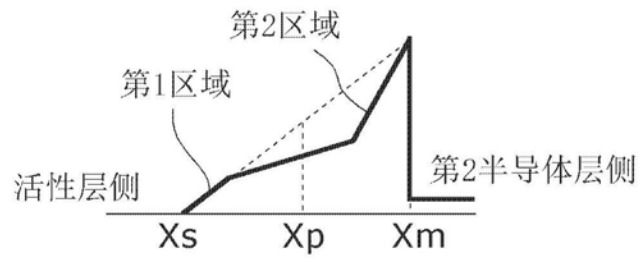


图4B

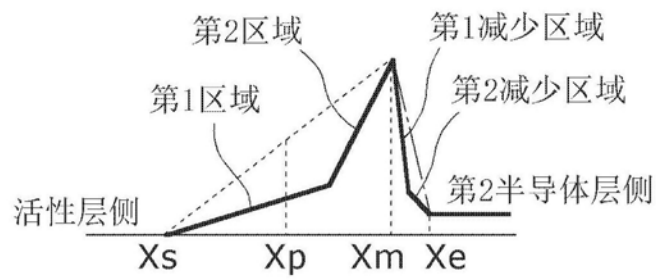


图5A

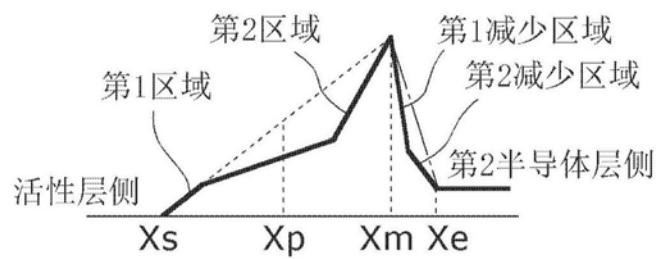


图5B

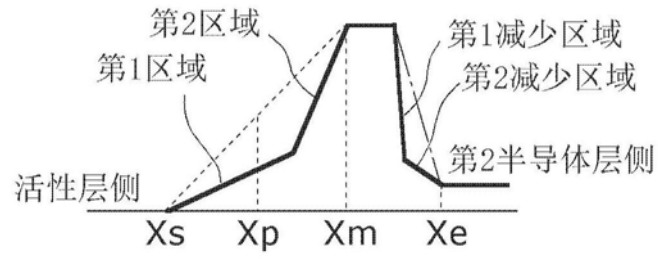


图5C

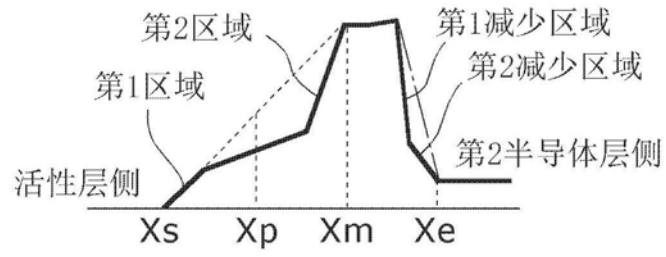


图5D

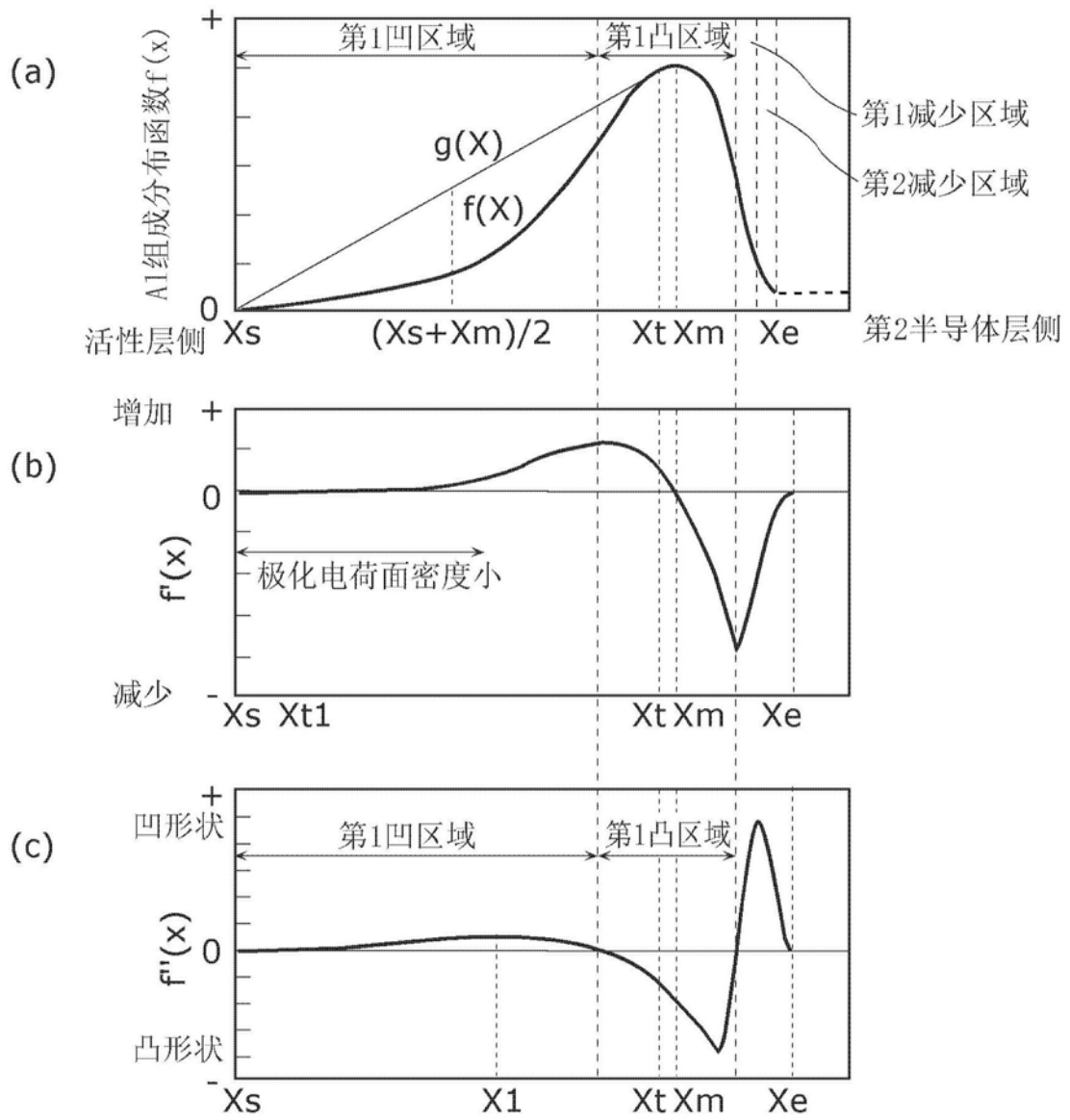


图6

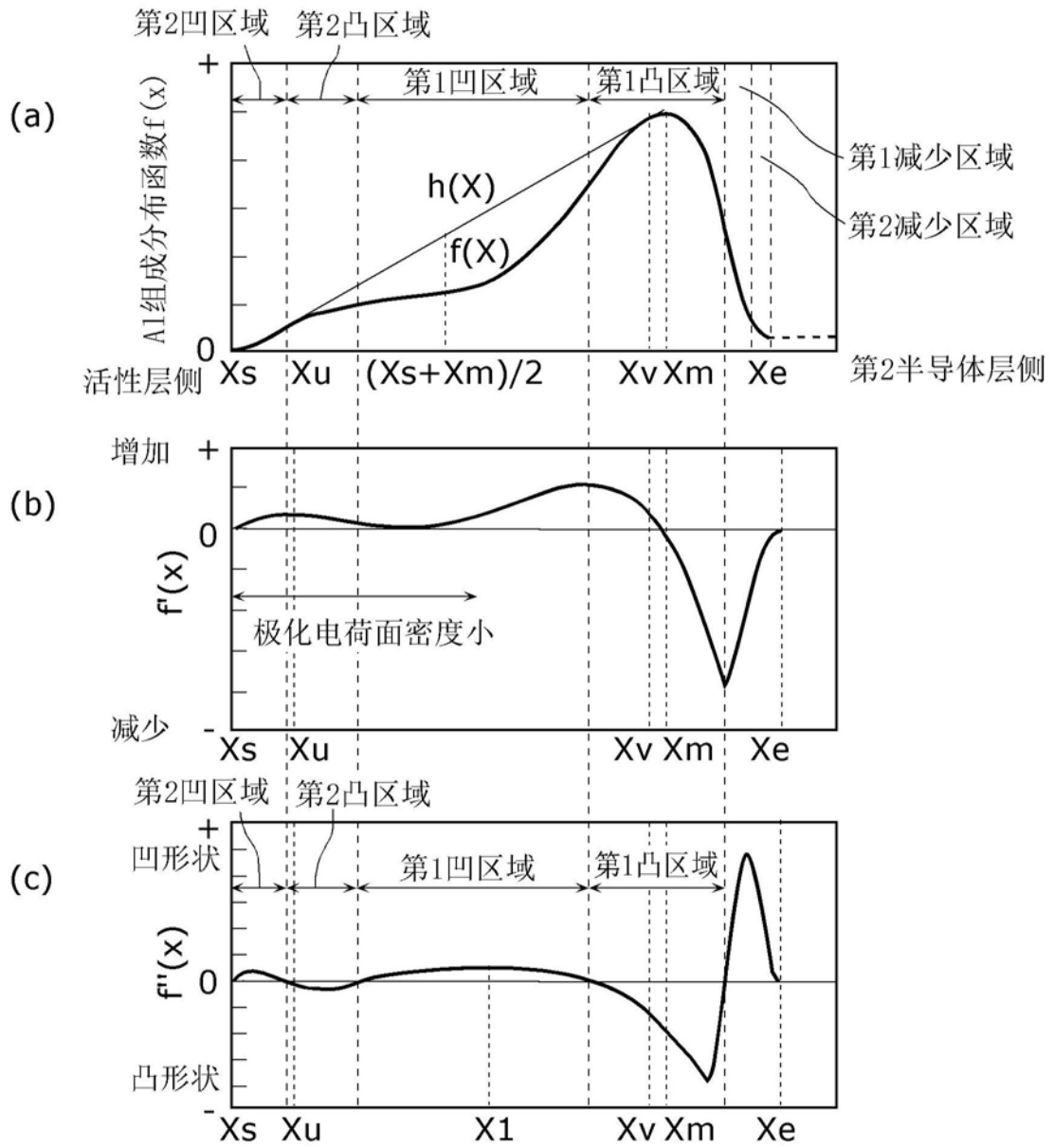


图7

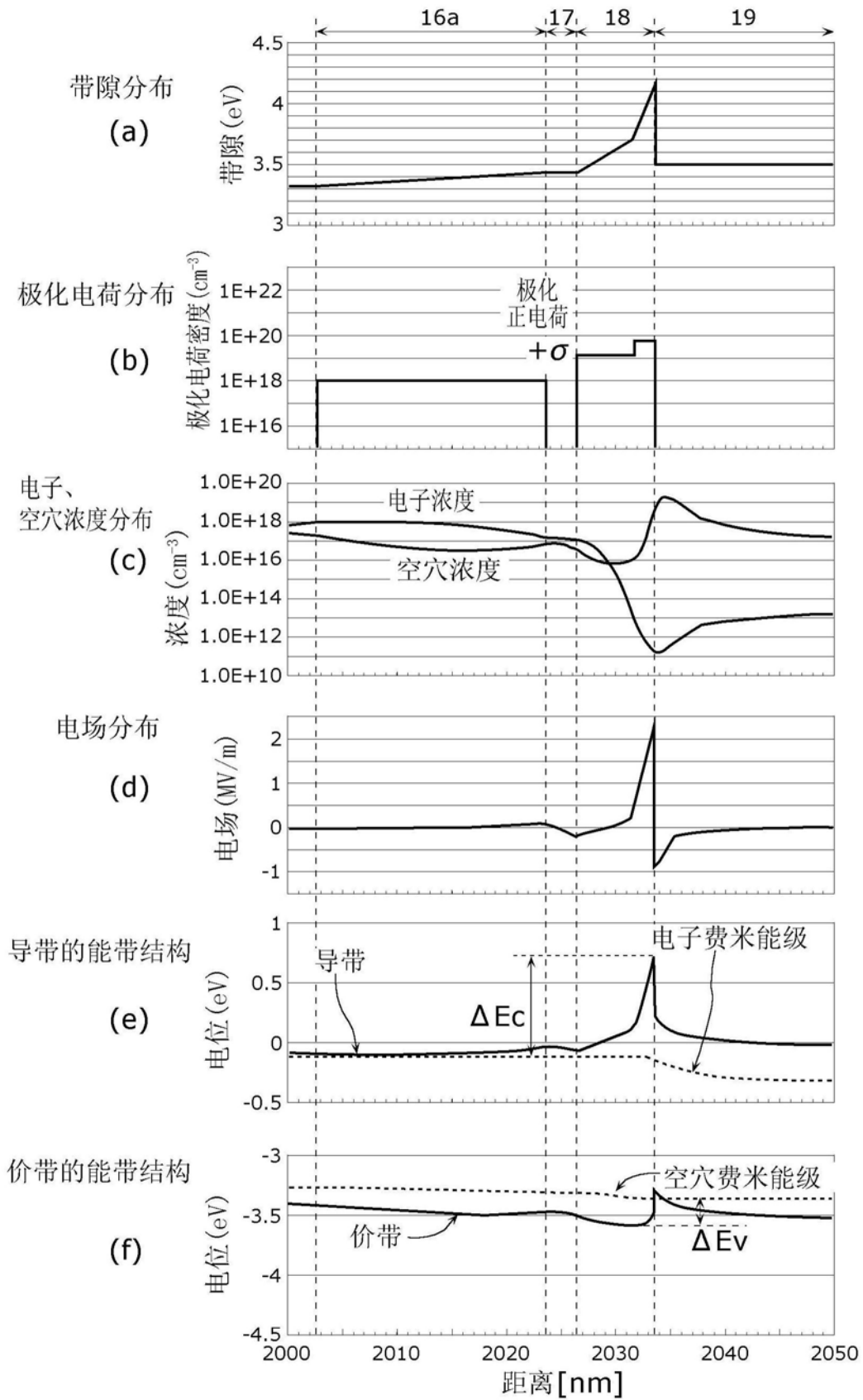


图8

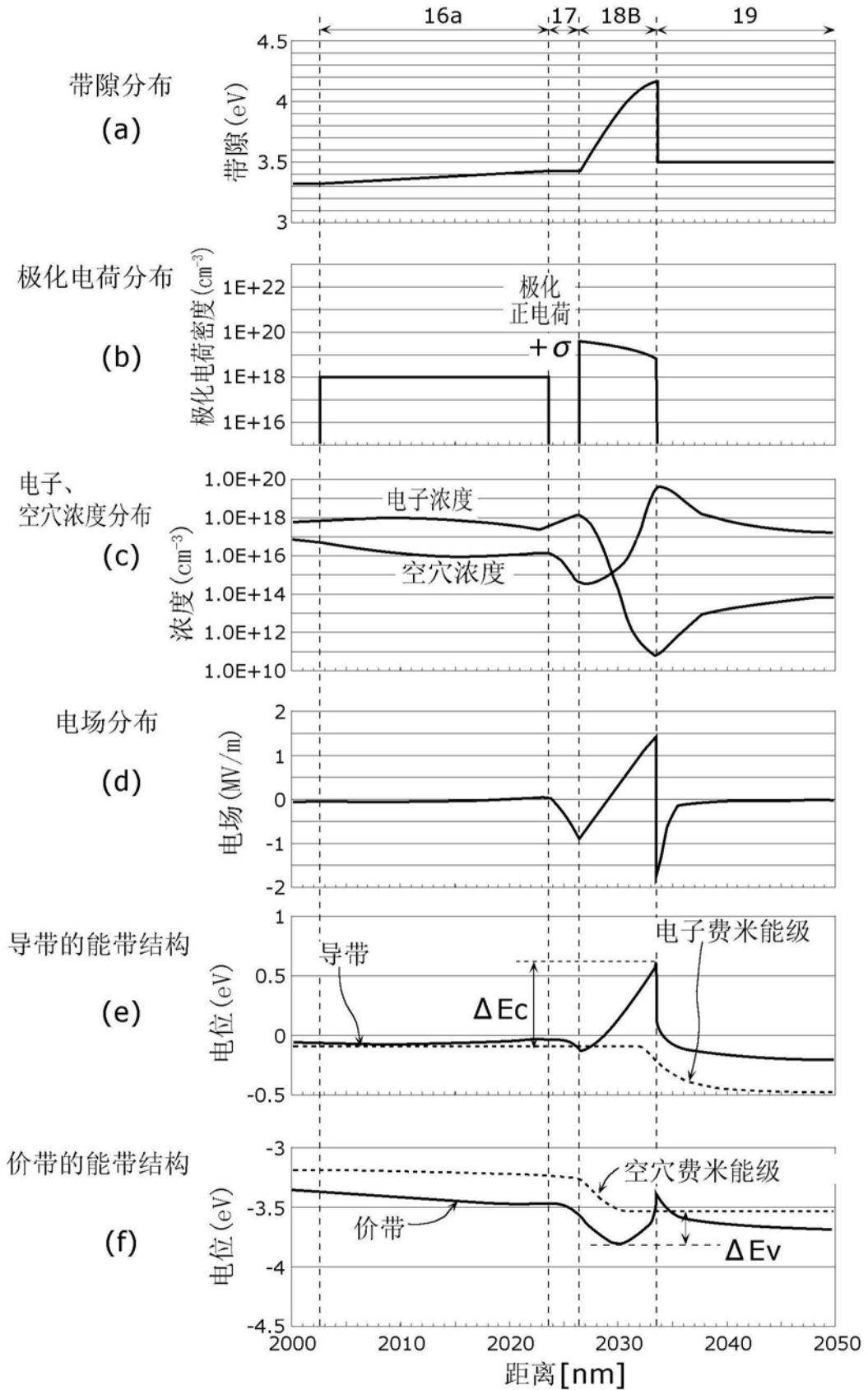


图9

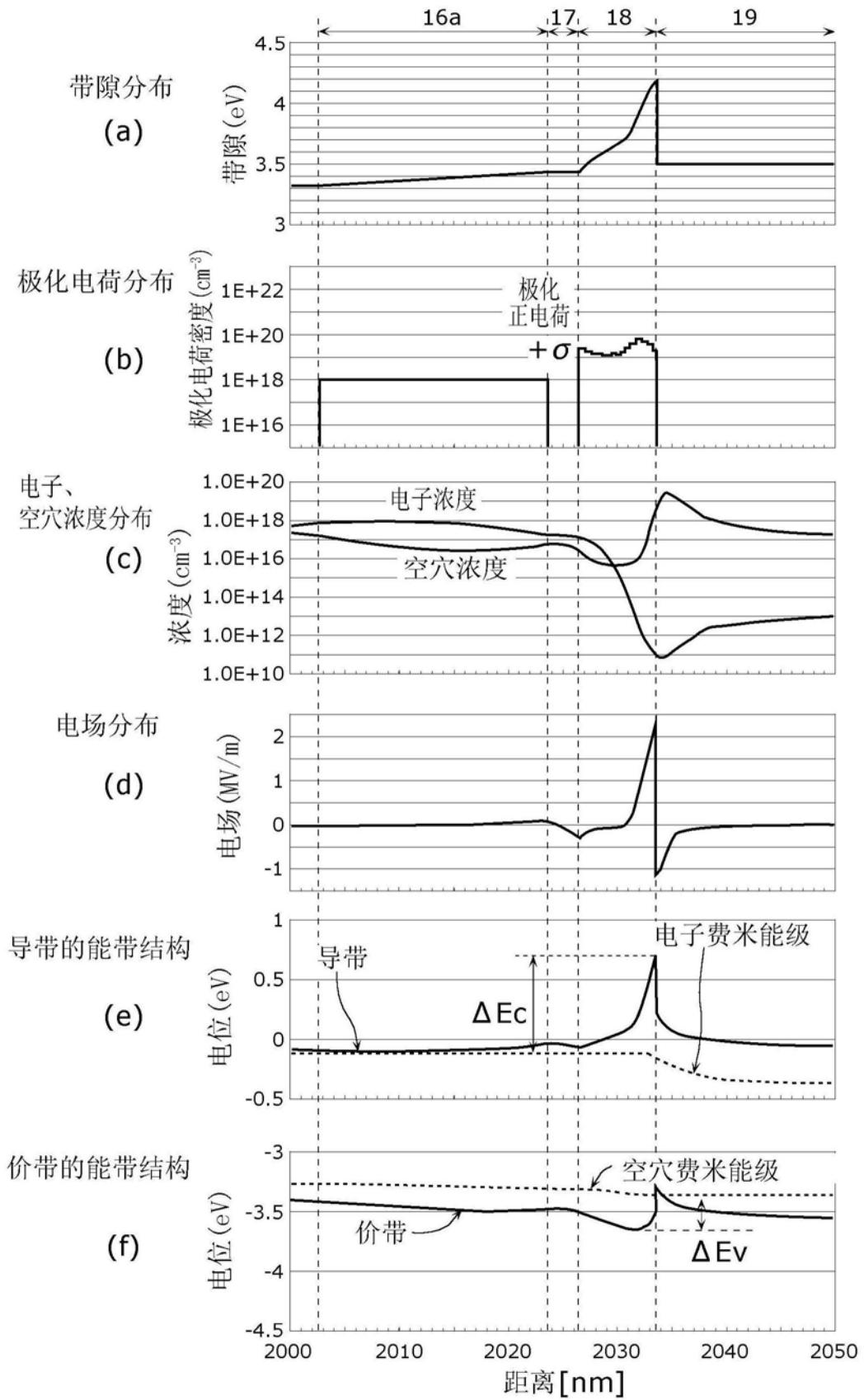


图10

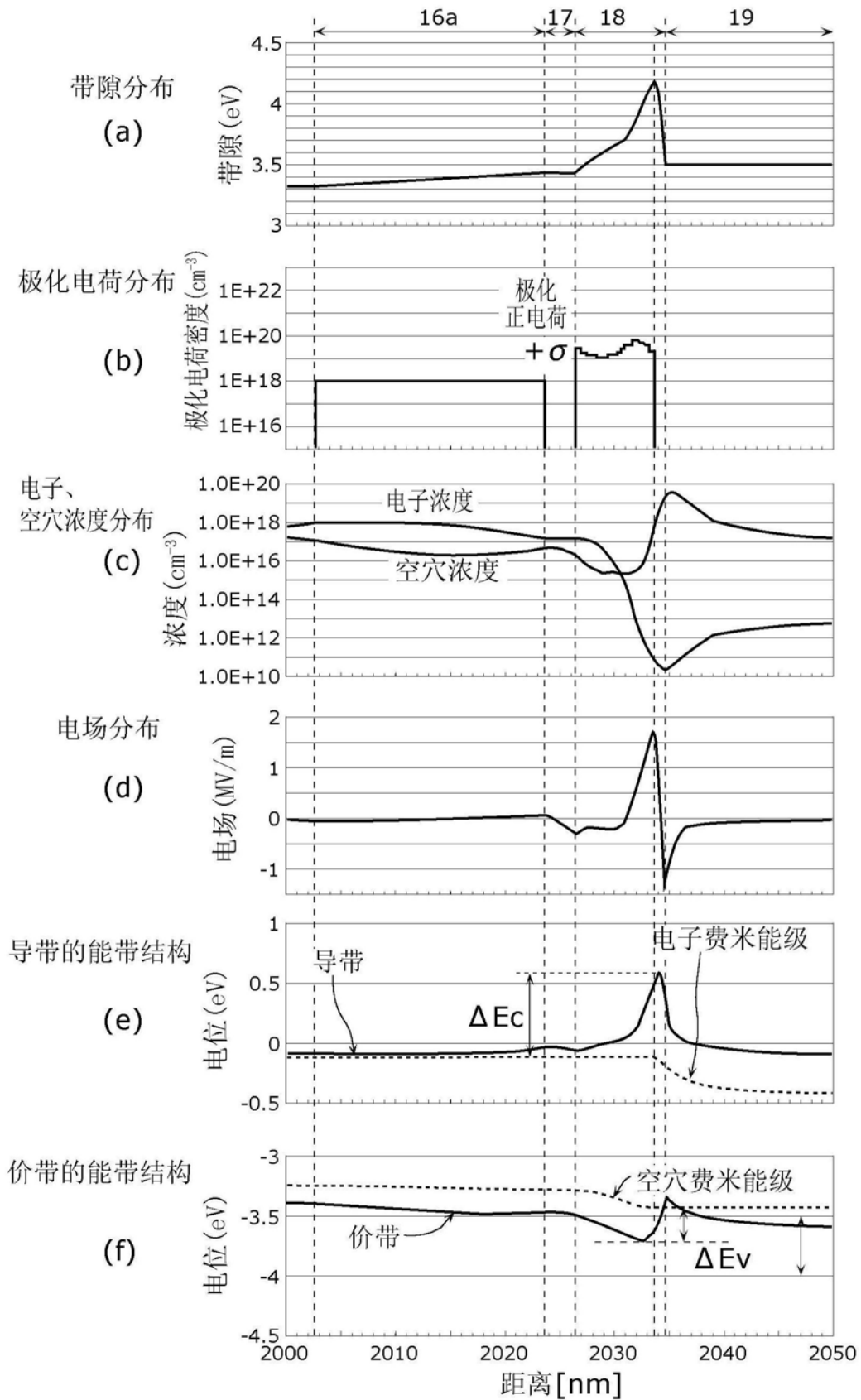


图11

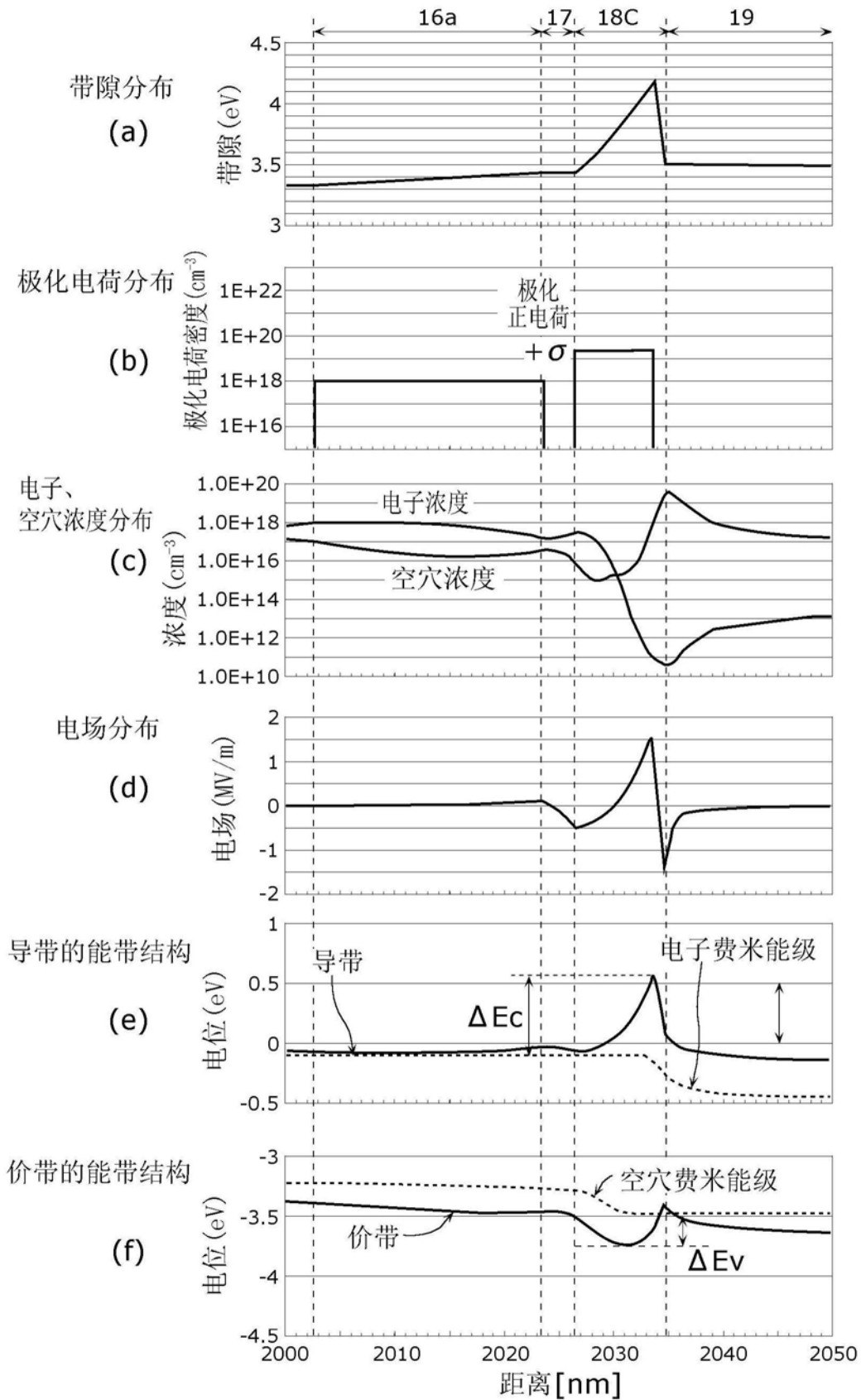


图12

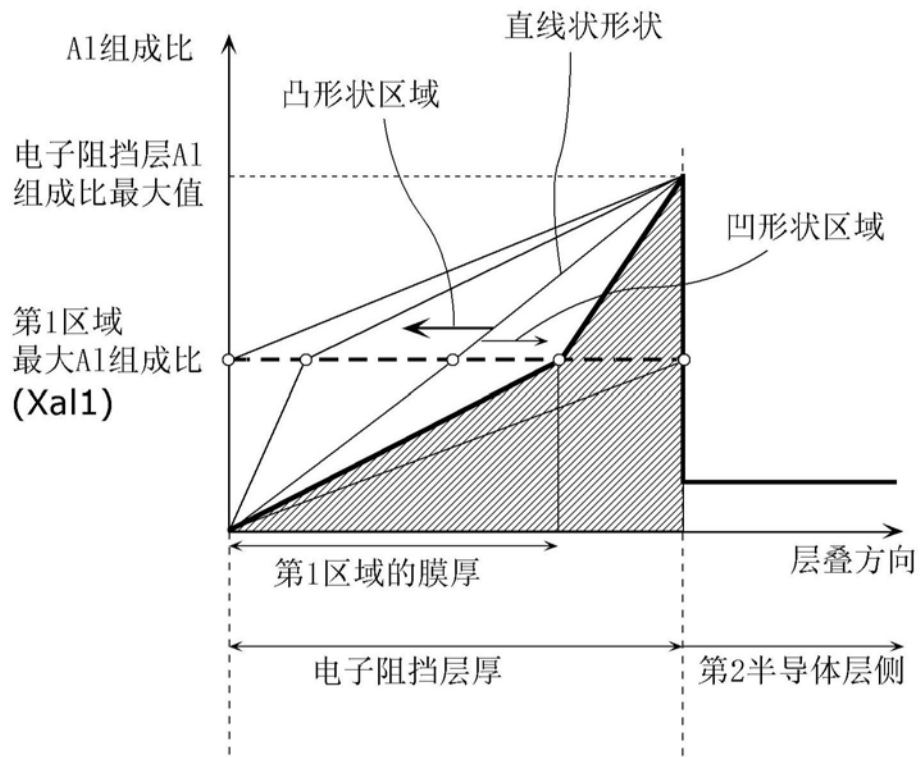


图13

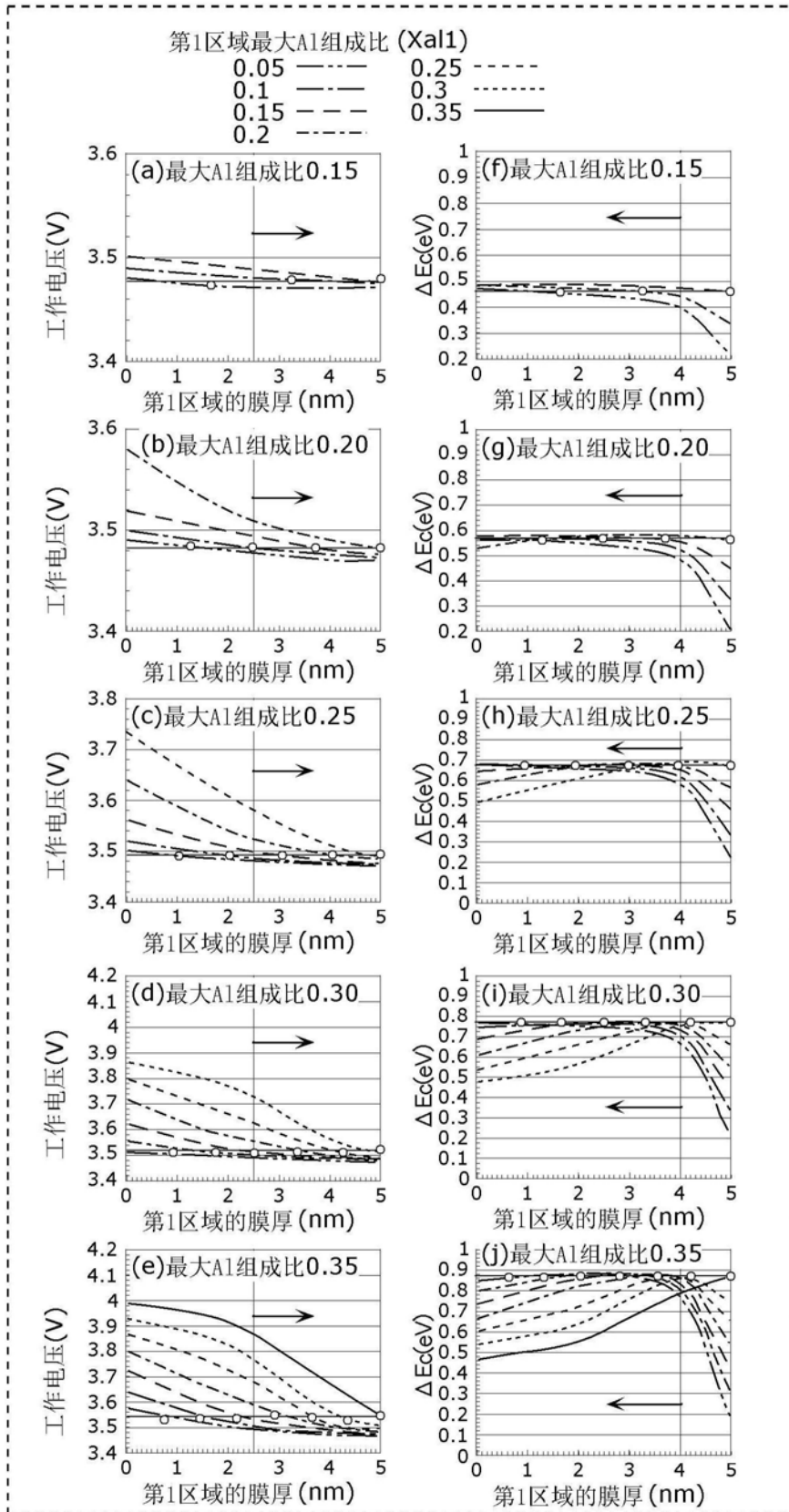


图14

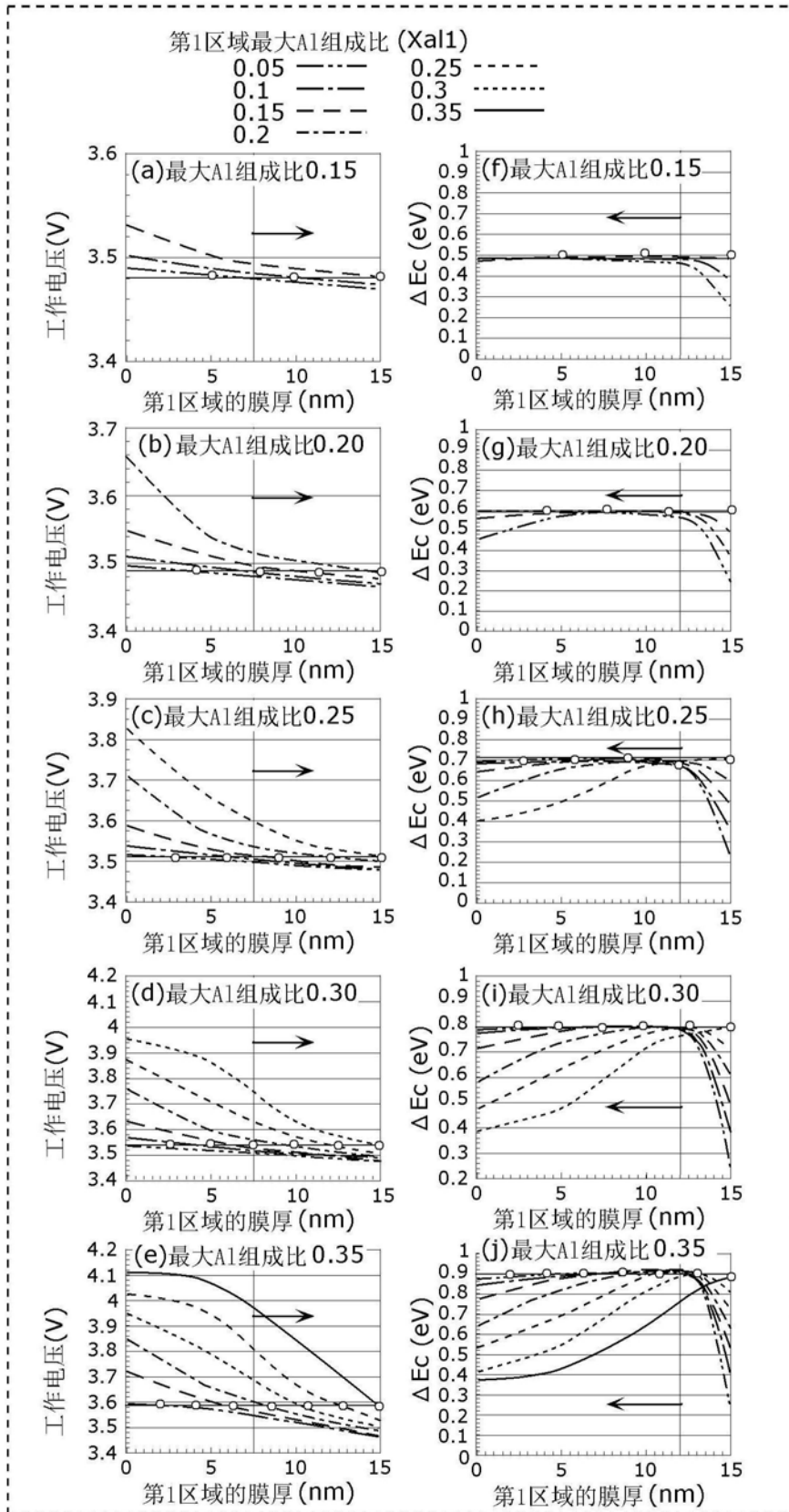


图15

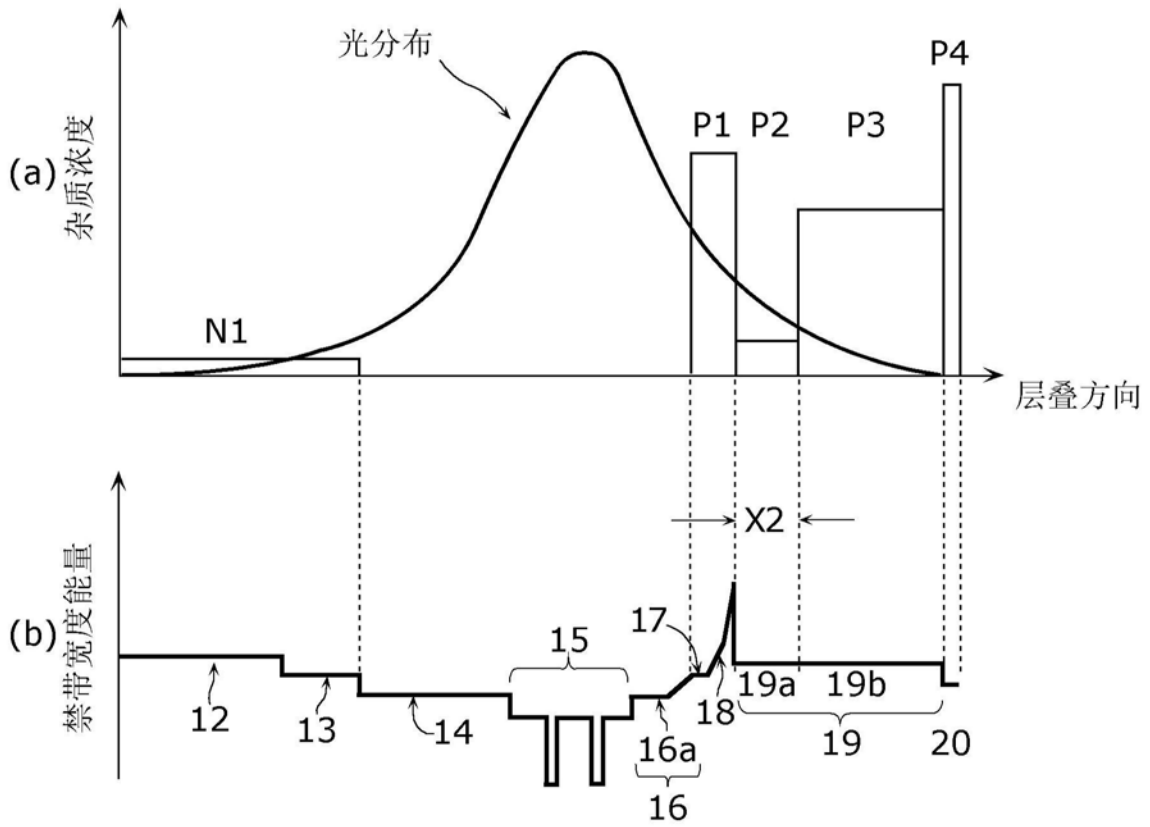


图16

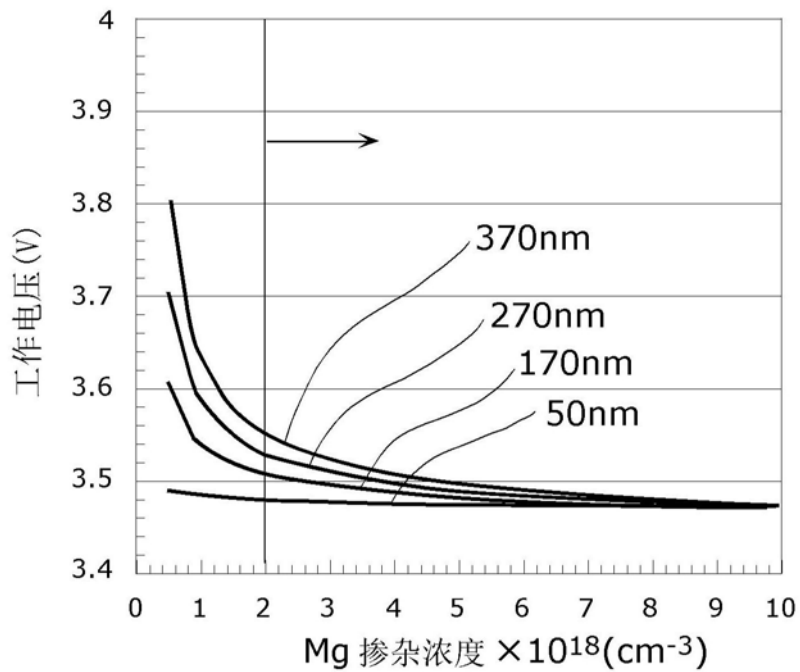


图17A

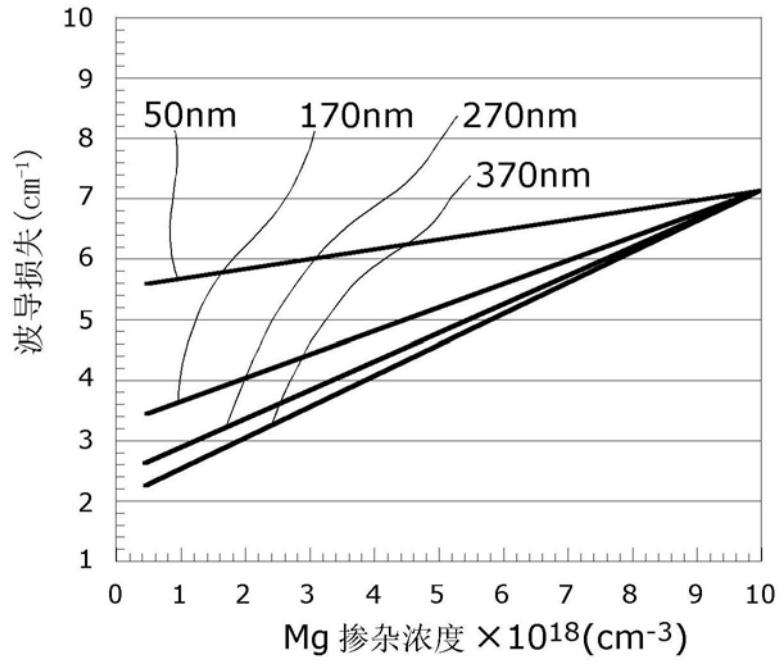


图17B

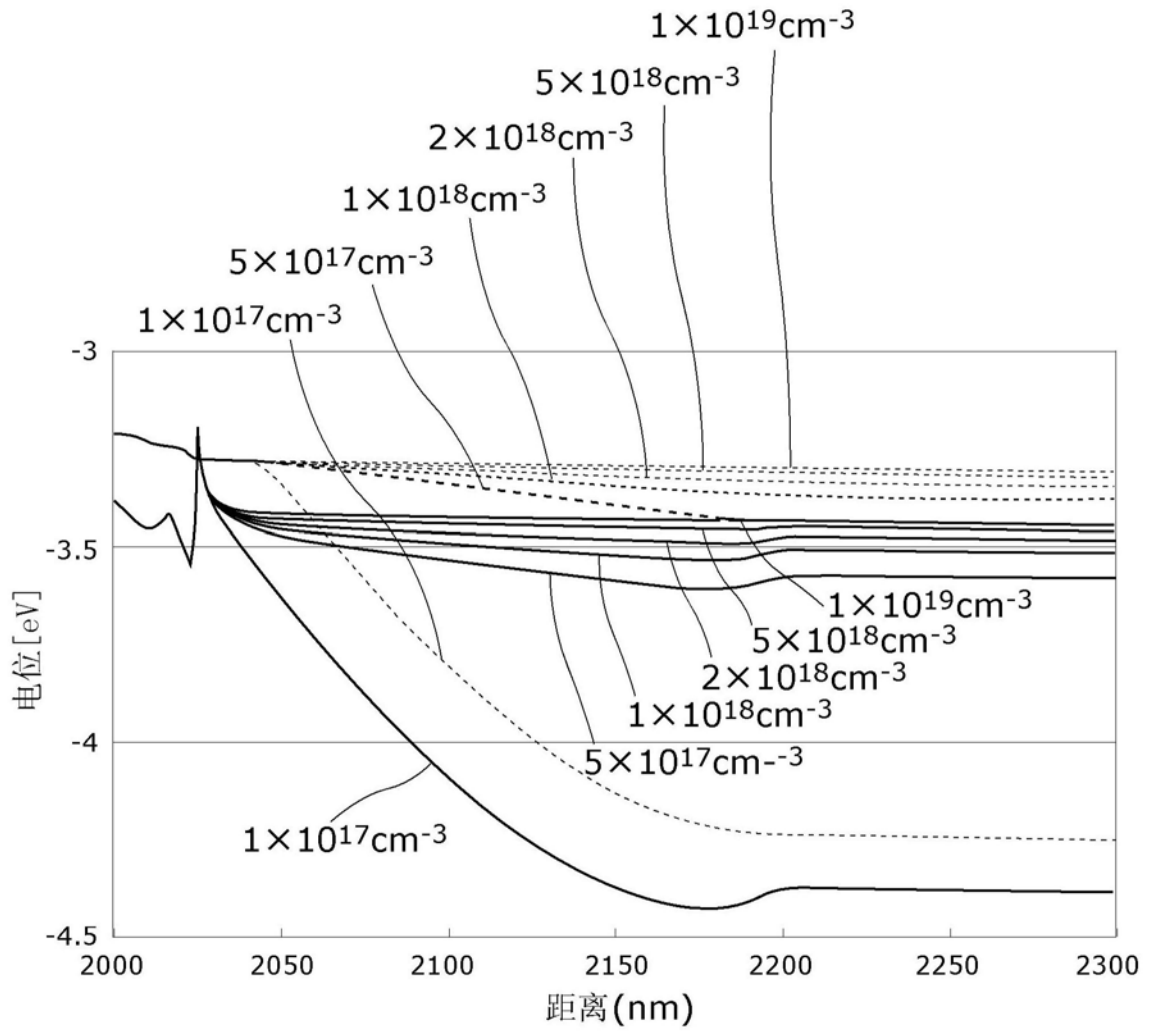


图18

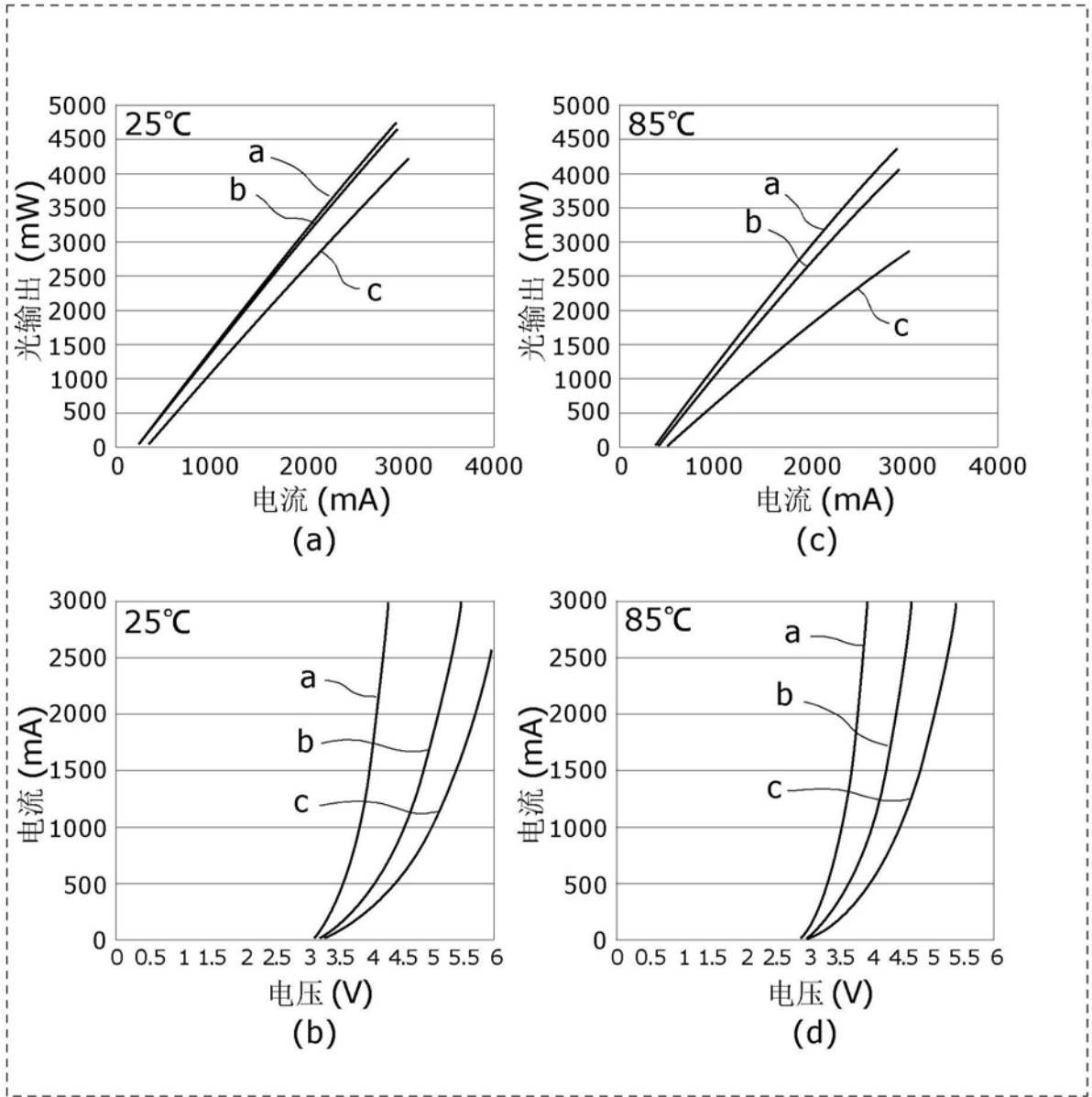


图19

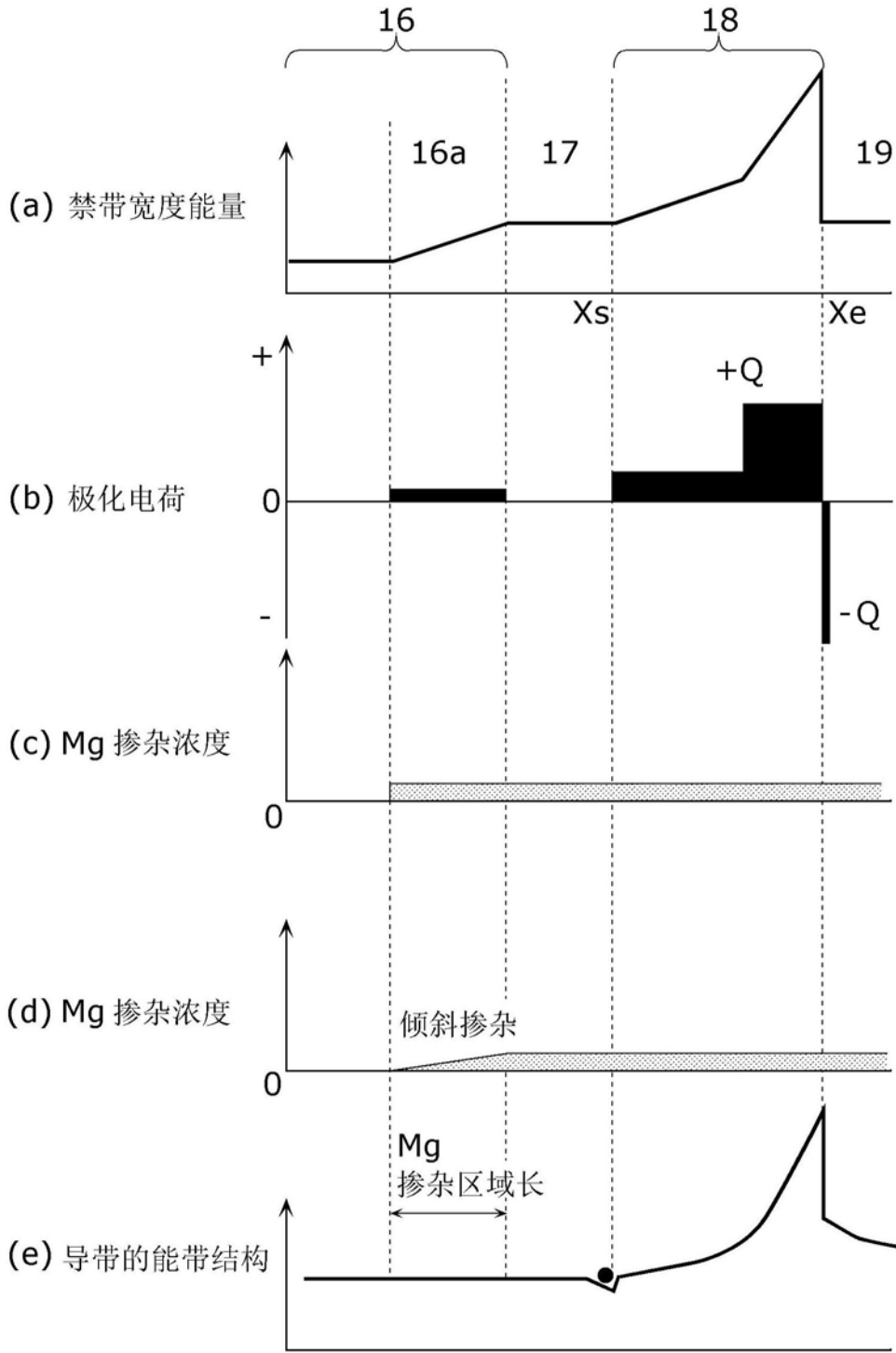


图20

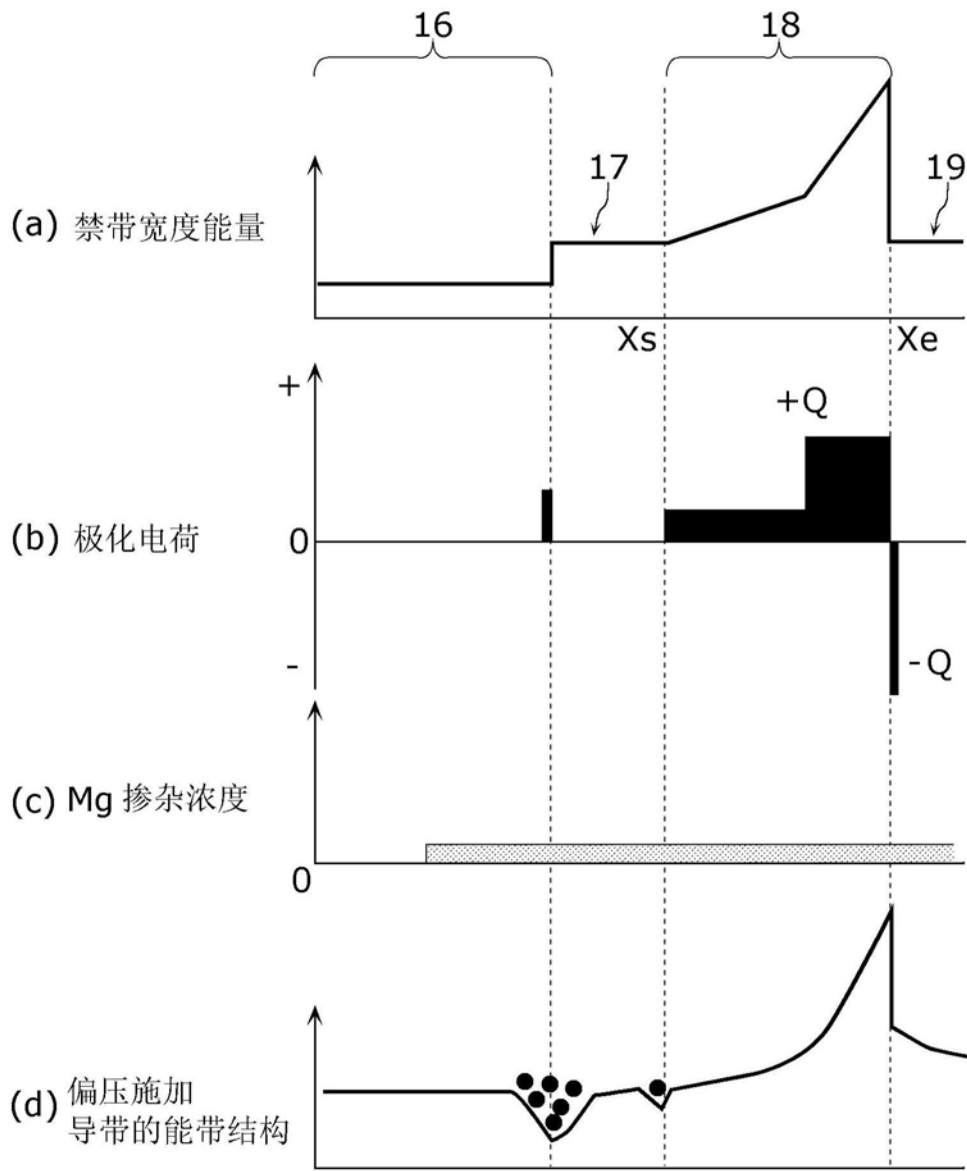


图21

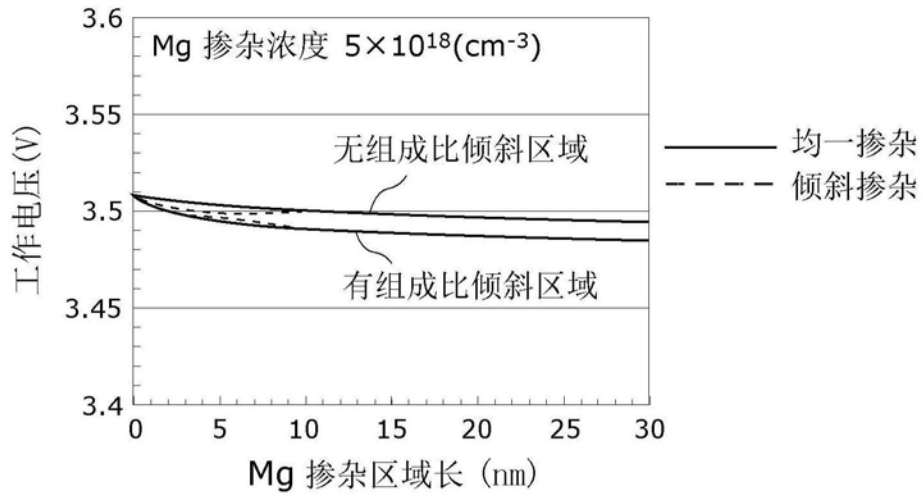


图22A

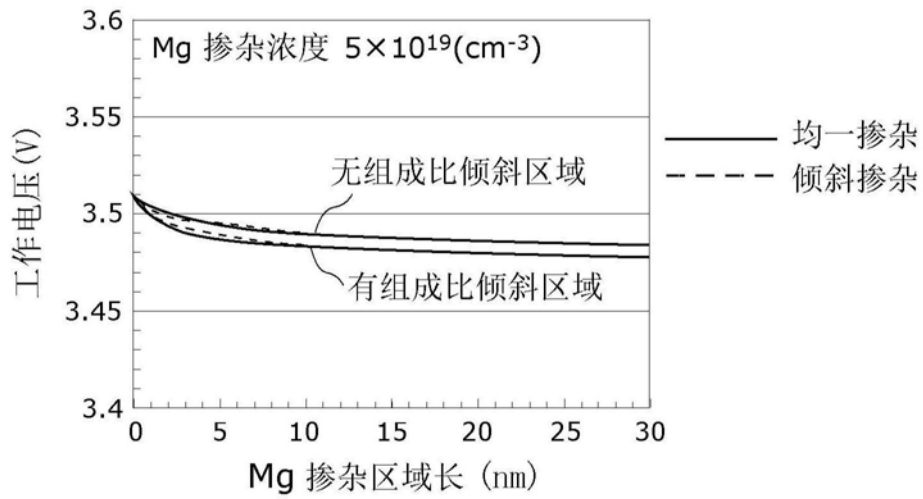


图22B

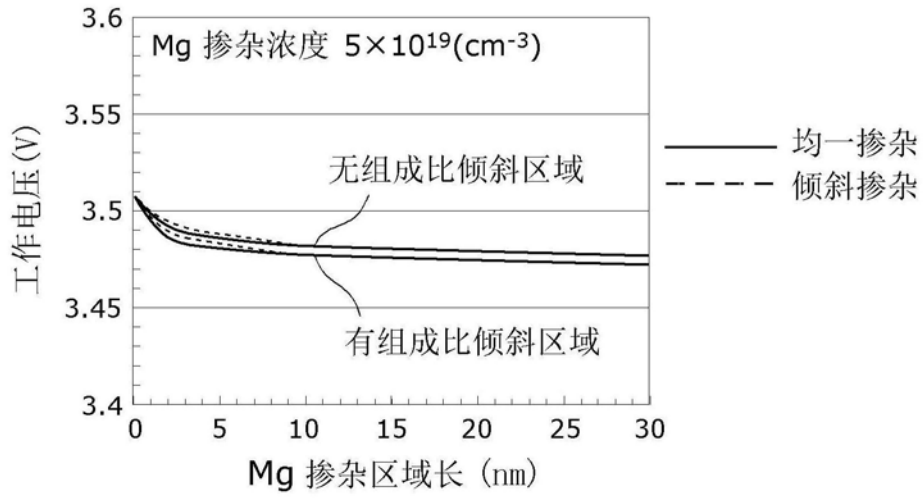


图22C

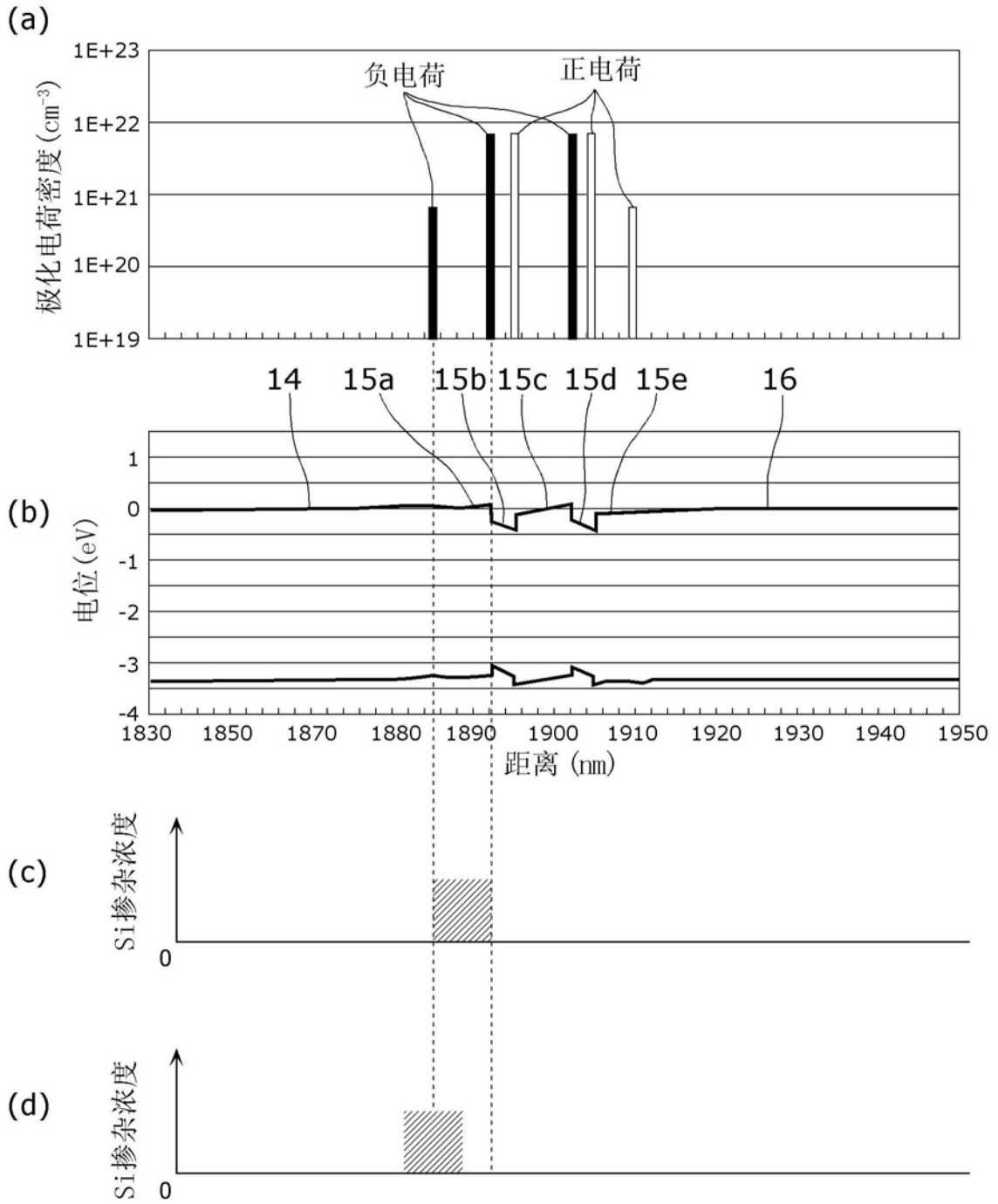


图23

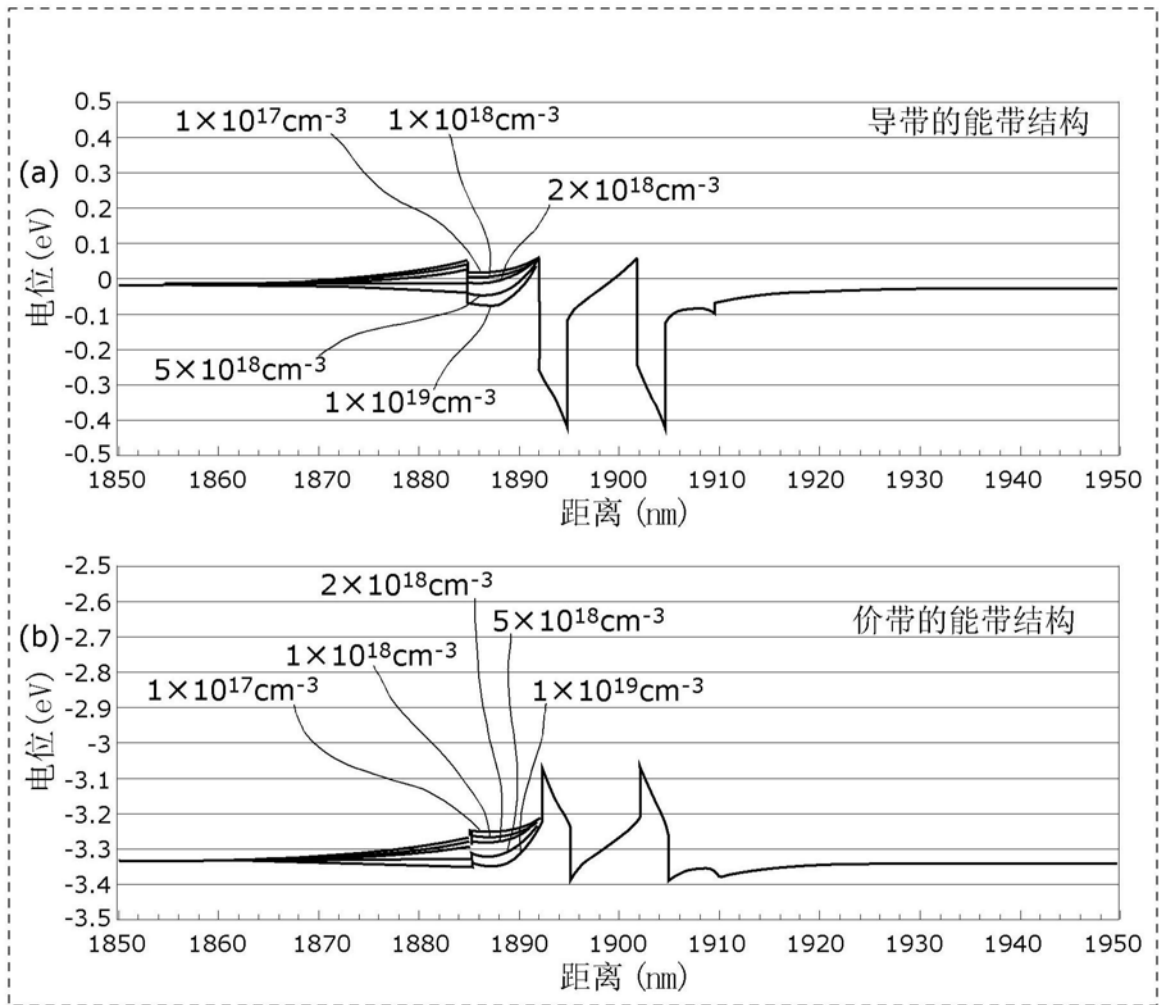


图24

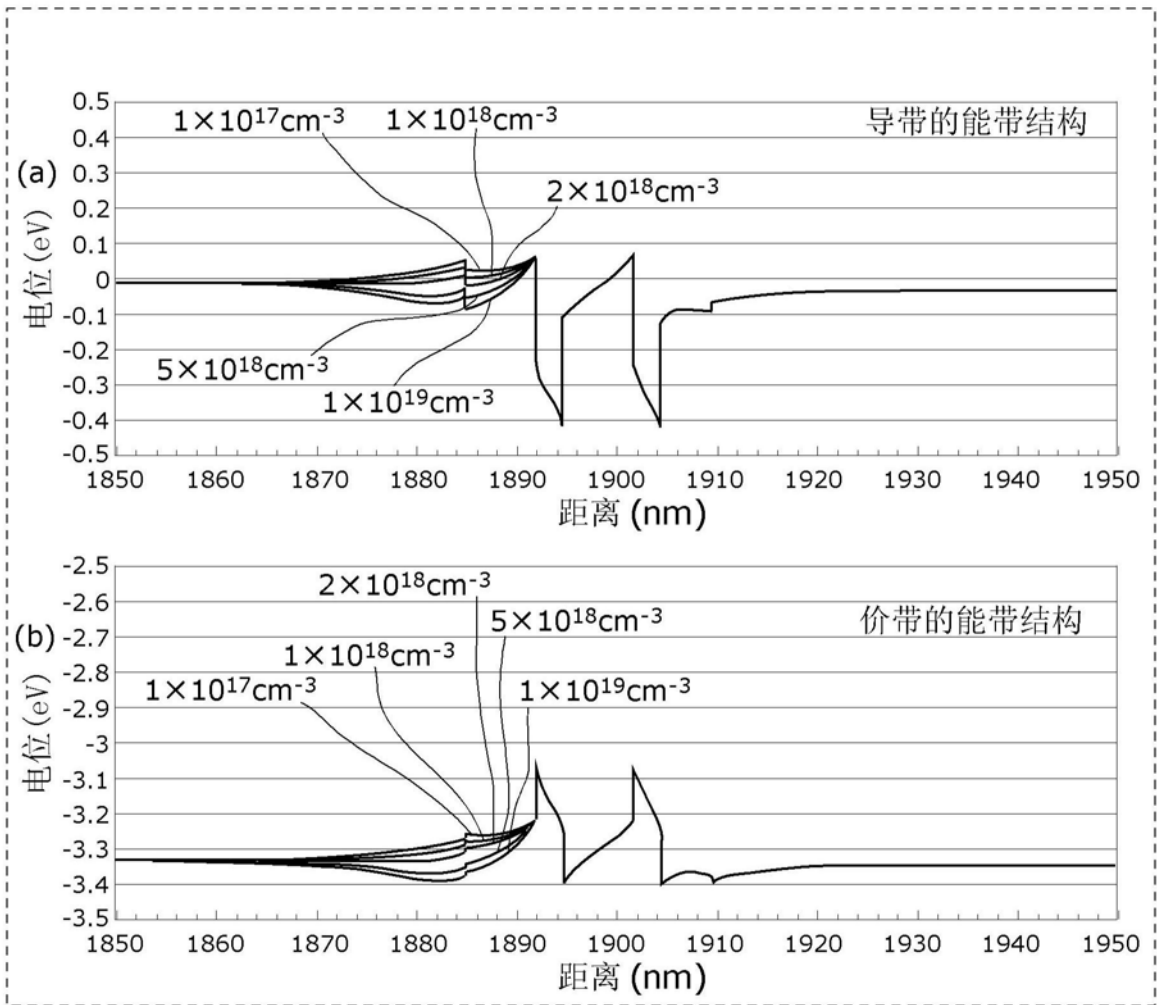


图25

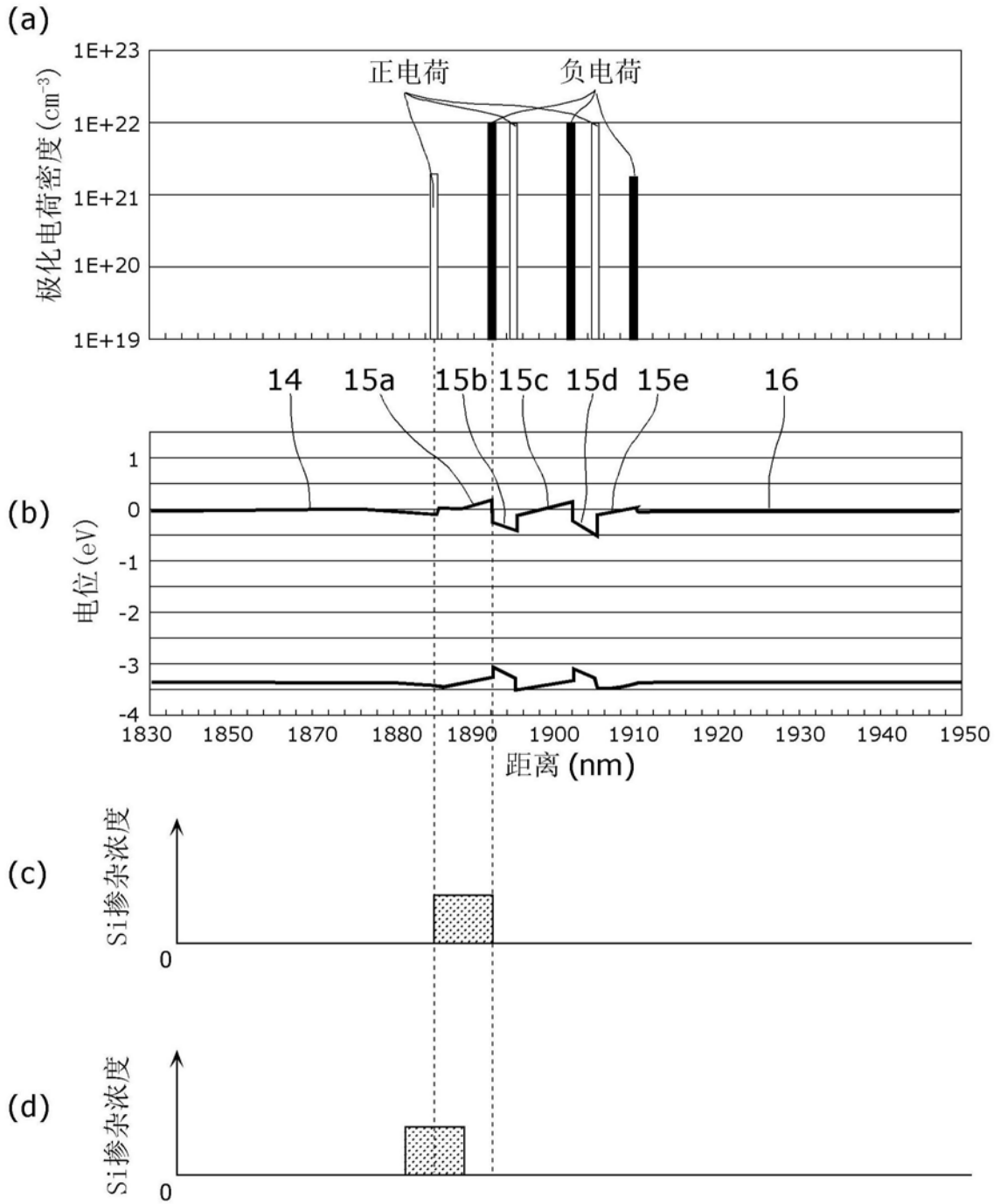


图26

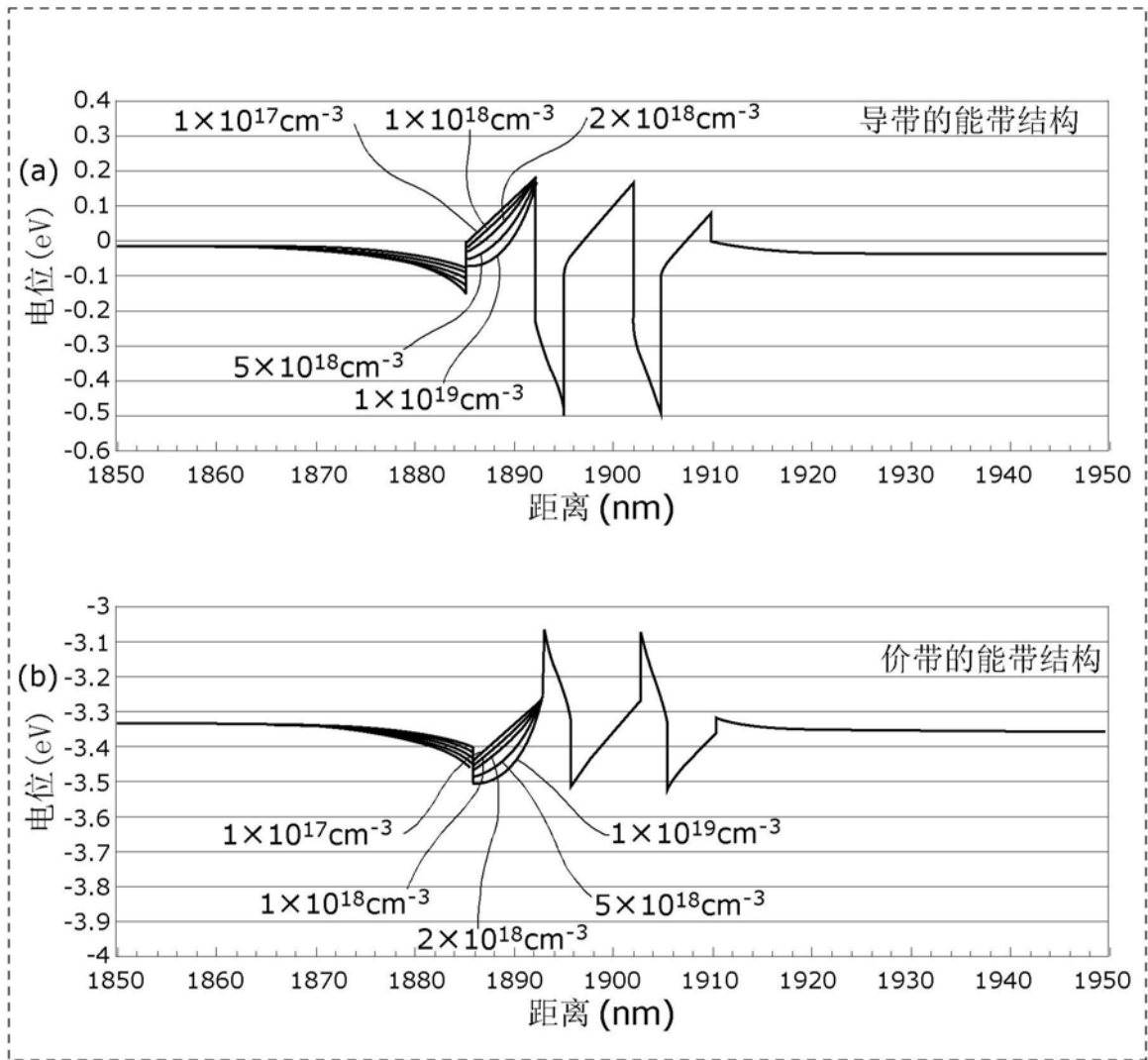


图27

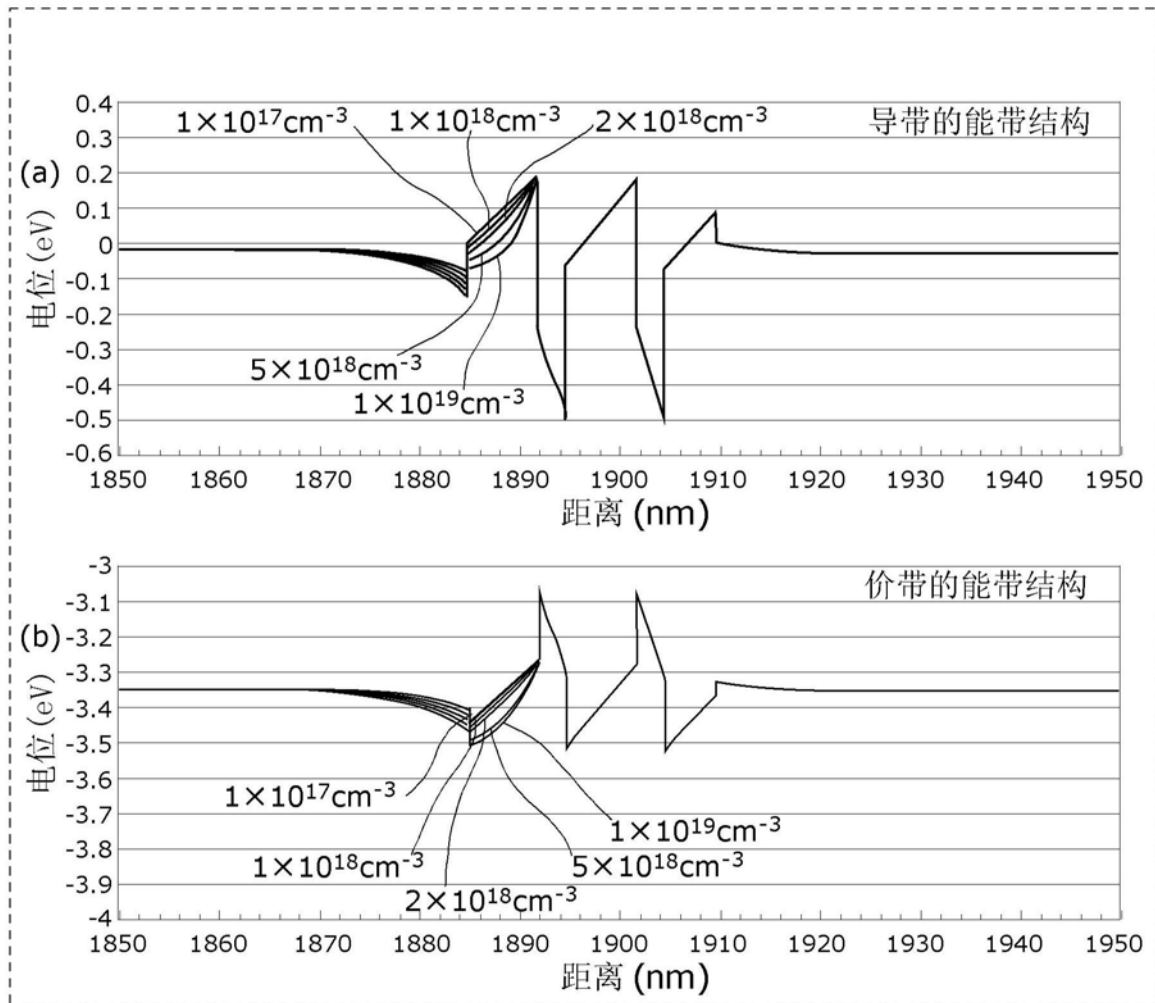


图28

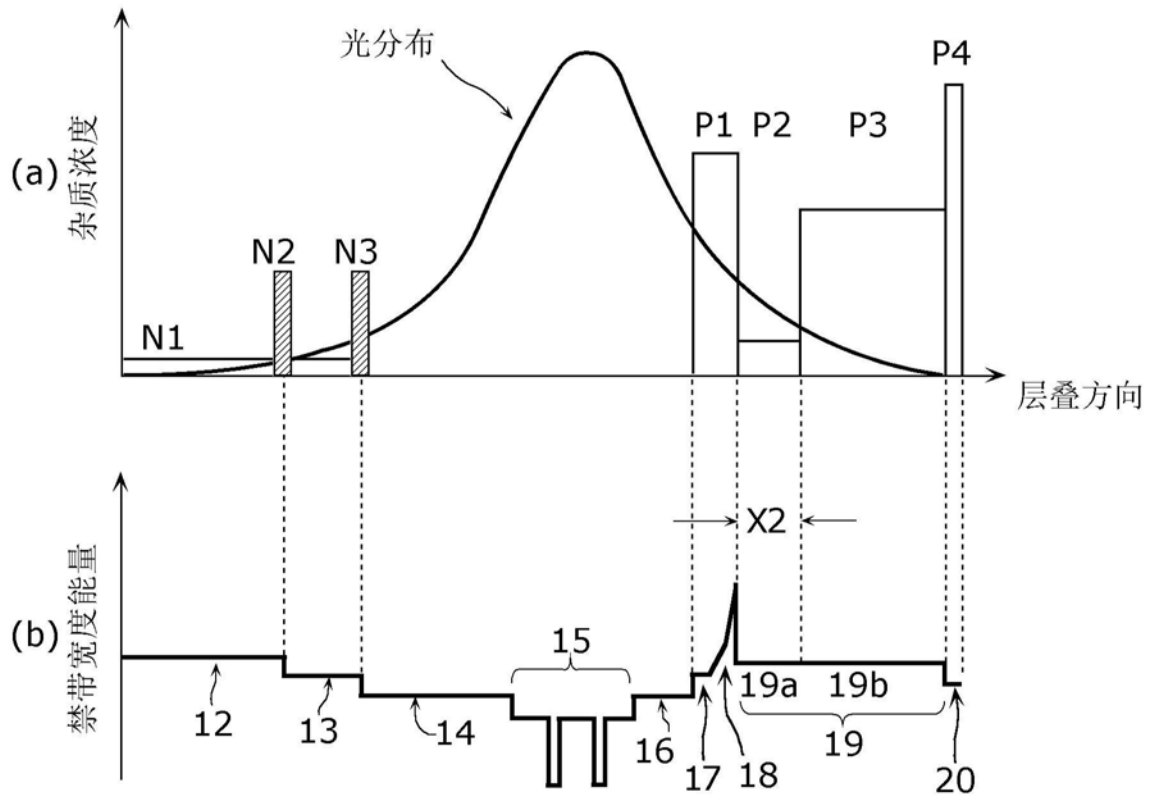


图29

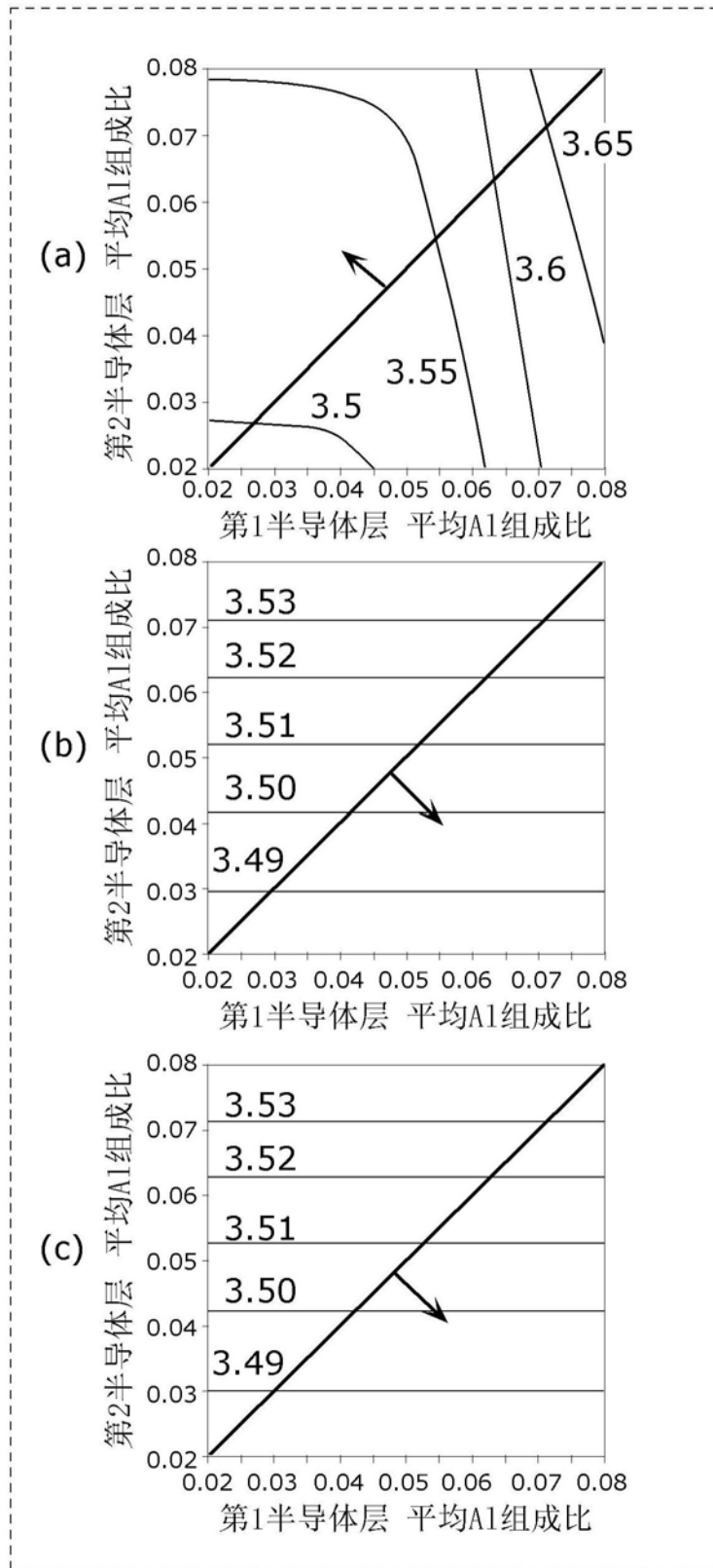


图30

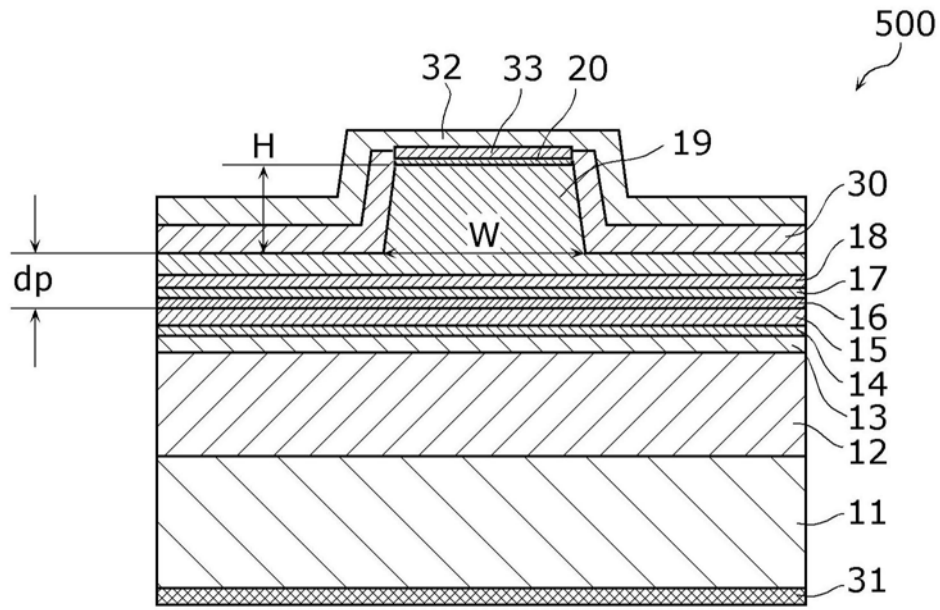


图31

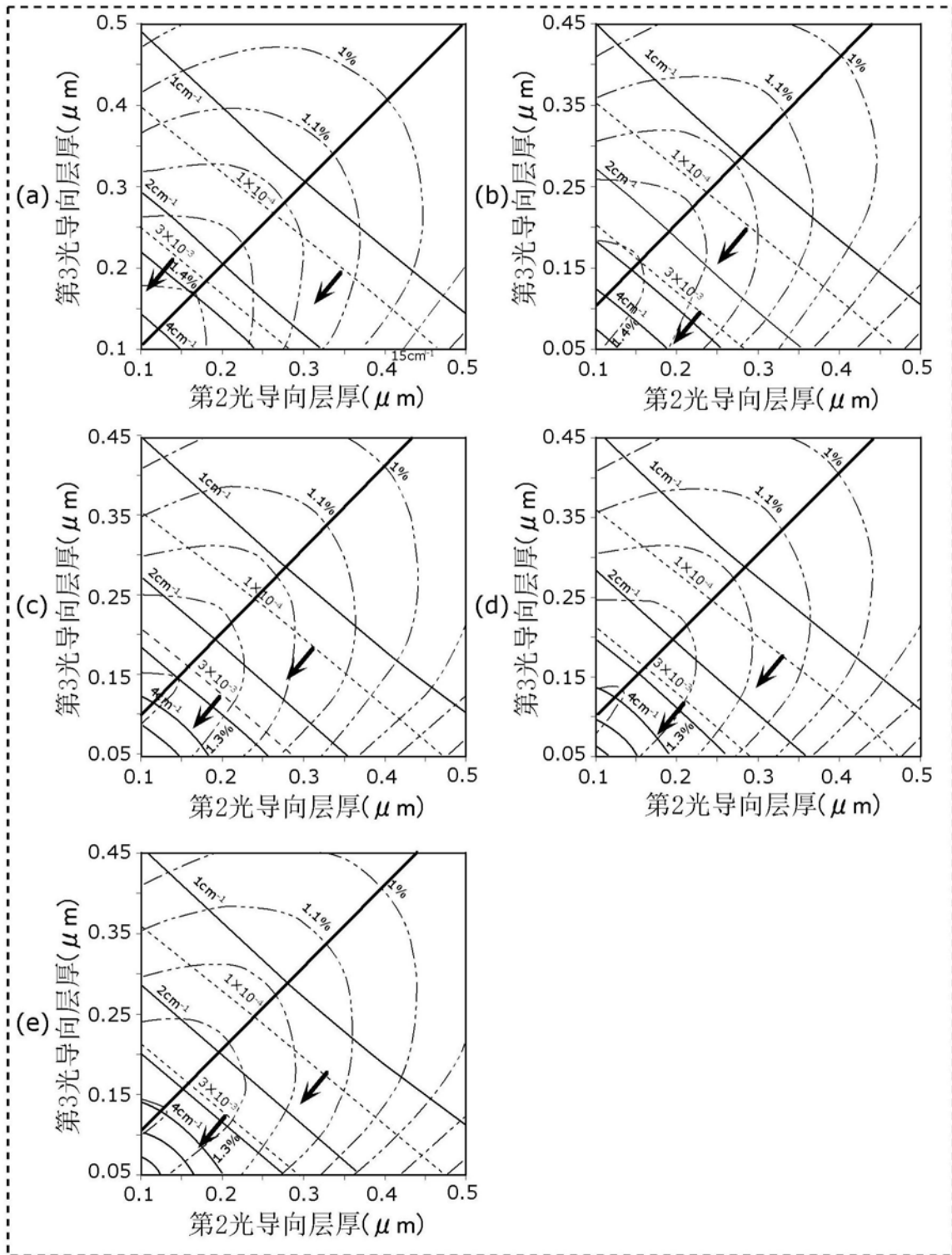


图32

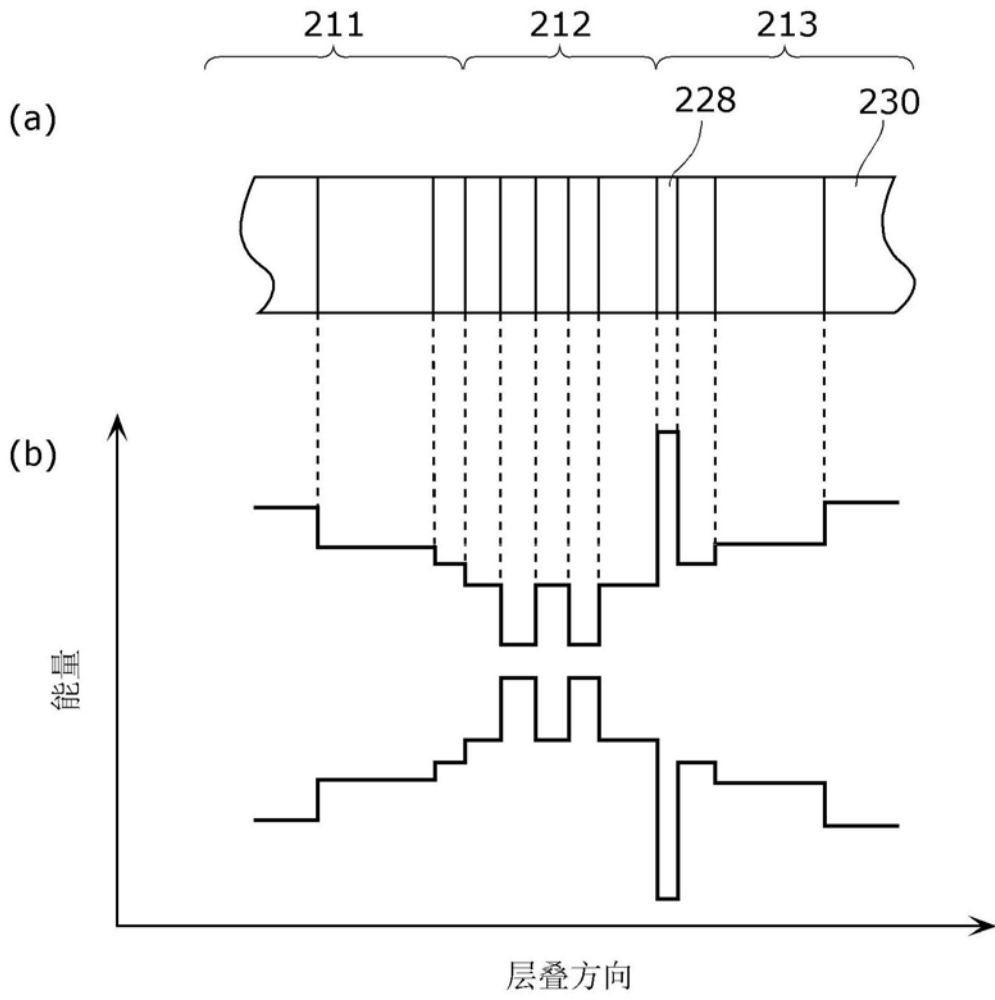


图33

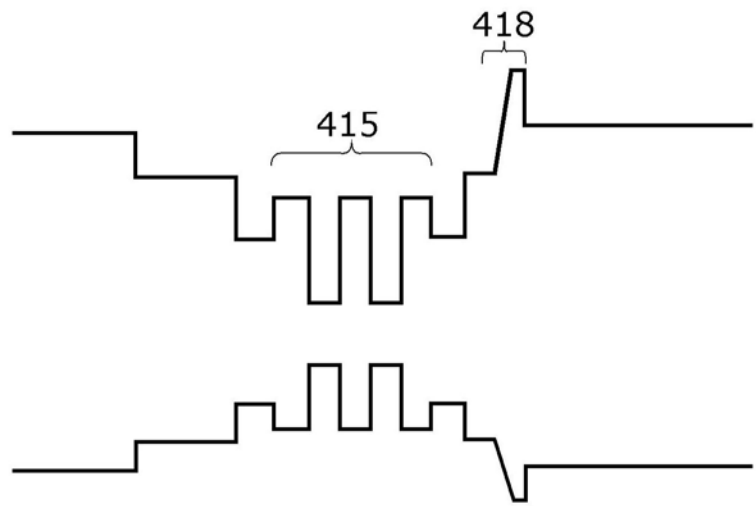


图34