(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119096437 A
(43)申请公布日 2024.12.06

(21)申请号 202380035842.8

(22)申请日 2023.04.26

(30)优先权数据
2022-073930 2022.04.28 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.10.23

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2023/016403 2023.04.26

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/210676 JA 2023.11.02

(71)申请人 新唐科技日本株式会社
地址 日本

(72)发明人 山田笃志 久纳康光 永井洋希
中谷东吾 油本隆司

(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 安香子

(51)Int.Cl.
H01S 5/22(2006.01)
H01S 5/343(2006.01)

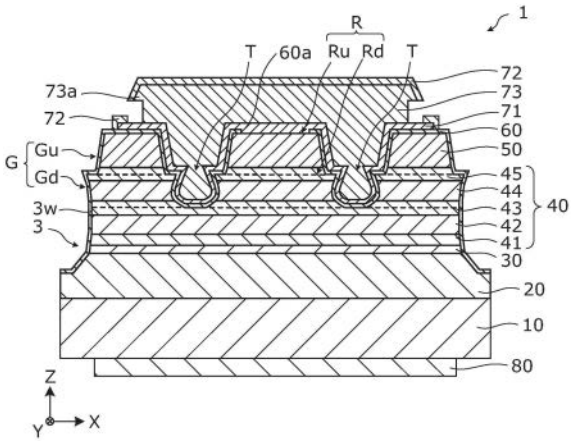
权利要求书4页 说明书17页 附图23页

(54)发明名称

半导体发光元件、以及半导体发光元件的制造方法

(57)摘要

一种半导体发光元件(1),其具备活性层(30)、P型包覆层(40)、接触层(50)及绝缘膜(60),在包括P型包覆层(40)及接触层(50)的区域形成有脊部(R),脊部(R)包括下脊部(Rd)和上脊部(Ru),下脊部(Rd)包括P型包覆层(40),上脊部(Ru)配置在下脊部(Rd)的顶面(Rdt)且包括接触层(50),下脊部(Rd)的顶面(Rdt)具有位于下脊部(Rd)的侧面(Rds)与上脊部(Ru)的底面(Rub)之间的平坦部(Rdf),上脊部(Ru)的底面(Rub)的宽度比下脊部(Rd)的顶面(Rdt)的宽度及下脊部(Rd)的层叠方向中央位置上的宽度小,绝缘膜(60)从下脊部(Rd)的侧面(Rds)开始一直连续地覆盖到上脊部(Ru)的顶面(Rut)的一部分为止。



CN 119096437 A

1.一种半导体发光元件,是射出光的半导体发光元件,

所述半导体发光元件具备:

衬底;

配置在所述衬底的上方的N型包覆层;

配置在所述N型包覆层的上方的活性层;

配置在所述活性层的上方的P型包覆层;

配置在所述P型包覆层的上方的接触层;以及

配置在所述P型包覆层的上方的绝缘膜,

在包括所述P型包覆层以及所述接触层的区域形成有在所述光的传播方向上延伸的脊部,

所述脊部包括下脊部和上脊部,所述下脊部包括所述P型包覆层,所述上脊部配置在所述下脊部的顶面且包括所述接触层,

所述下脊部的顶面具有位于所述下脊部的侧面与所述上脊部的底面之间的平坦部,且该平坦部在所述光的传播方向上延伸,

所述上脊部的底面的宽度比所述下脊部的顶面的宽度以及所述下脊部的层叠方向中央位置上的宽度小,

所述绝缘膜从所述下脊部的侧面开始连续地覆盖到所述上脊部的顶面的一部分为止。

2.一种半导体发光元件,是射出光的半导体发光元件,

所述半导体发光元件具备:

衬底;

配置在所述衬底的上方的N型包覆层;

配置在所述N型包覆层的上方的活性层;

配置在所述活性层的上方的P型包覆层;以及

配置在所述P型包覆层的上方的接触层,

在包括所述P型包覆层以及所述接触层的区域形成有在所述光的传播方向上延伸的脊部,

所述脊部包括下脊部和上脊部,所述下脊部包括所述P型包覆层,所述上脊部配置在所述下脊部的顶面且包括所述接触层,

所述P型包覆层由$Al_XGa_{1-X}As$构成,其中0＜X＜1,并且所述P型包覆层具有:下部包覆层、配置在所述下部包覆层的上方的第一包覆层、配置在所述第一包覆层的上方的第一蚀刻停止层、配置在所述第一蚀刻停止层的上方的第二包覆层、以及配置在所述第二包覆层的上方的第二蚀刻停止层,

关于所述下部包覆层的Al组分比X0、所述第一包覆层的Al组分比X1、以及所述第二包覆层的Al组分比X2,

X1＝X2＞0.8以及X1＝X2＞X0的关系成立。

3.如权利要求2所述的半导体发光元件,

所述第一蚀刻停止层的Al组分比在0.7以下。

4.如权利要求2或3所述的半导体发光元件,

所述下脊部的顶面具有位于所述下脊部的侧面与所述上脊部的底面之间的平坦部,且

该平坦部在所述光的传播方向上延伸，

所述上脊部包括所述第二蚀刻停止层的至少一部分以及所述接触层的至少一部分，

所述下脊部的所述平坦部的Al组分比在0.7以下。

5.如权利要求2至4的任一项所述的半导体发光元件，

所述第二蚀刻停止层包括随着靠近所述接触层而Al组分比增加或减少的倾斜区域。

6.如权利要求2至4的任一项所述的半导体发光元件，

所述第二蚀刻停止层包括两个以上的倾斜区域、以及相对于层叠方向位置而Al组分比不变的一个以上的恒定区域，

在所述两个以上的倾斜区域的每一个，随着靠近所述接触层而Al组分比增加或减少，

所述两个以上的倾斜区域与所述一个以上的恒定区域在所述层叠方向上交替配置。

7.如权利要求5或6所述的半导体发光元件，

所述倾斜区域是随着靠近所述接触层而Al组分比减少的区域。

8.如权利要求2至7的任一项所述的半导体发光元件，

所述下脊部的顶面的宽度与所述下脊部的层叠方向中央位置上的宽度相等，

相对于所述下脊部的底面，在所述下脊部的宽度方向的相邻位置上的所述P型包覆层的上表面位于所述第一蚀刻停止层。

9.如权利要求2至7的任一项所述的半导体发光元件，

关于所述下脊部的顶面的宽度Wdt、所述下脊部的层叠方向中央位置上的宽度Wdc、以及所述下脊部的底面的宽度Wdb，

Wdt＞Wdc以及Wdb＞Wdc的关系成立，

相对于所述下脊部的底面，在所述下脊部的宽度方向的相邻位置上的所述P型包覆层的上表面位于所述第一蚀刻停止层。

10.如权利要求2至9的任一项所述的半导体发光元件，

所述活性层具有：阱层、配置在所述阱层的上方的P侧势垒层、配置在所述P侧势垒层的上方的P侧引导层、配置在所述P侧引导层的上方的P侧包覆边界层，

剩余厚度dc比0.5μm大，所述剩余厚度dc是以所述P侧引导层与所述P侧包覆边界层的合计厚度、所述下部包覆层的厚度tpc0、所述第一包覆层的厚度tpc1、以及所述第一蚀刻停止层的厚度ts的和来定义的。

11.如权利要求2至10的任一项所述的半导体发光元件，

关于所述下部包覆层的厚度tpc0、所述第一包覆层的厚度tpc1、所述第一蚀刻停止层的厚度ts1，

ts1≤tpc0＜tpc1的关系成立。

12.如权利要求2至11的任一项所述的半导体发光元件，

所述脊部的所述光的传播方向的端部之中离所述半导体发光元件的所述光射出的端面近的一侧的端部的上表面，位于所述第二蚀刻停止层。

13.如权利要求2至12的任一项所述的半导体发光元件，

所述半导体发光元件的所述光的传播方向的端部上的所述第二包覆层的上表面在所述第二包覆层的整个宽度方向上是平坦的且是连续的，并且由所述第二蚀刻停止层覆盖，

包括所述P型包覆层以及所述接触层的区域具有隔离区域，该隔离区域配置在所述半

导体发光元件的所述光的传播方向的端面与所述上脊部之间且与所述上脊部相离，

所述隔离区域的宽度方向的端部位于与所述上脊部的宽度方向的端部相对应的位置。

14.如权利要求1至13的任一项所述的半导体发光元件，

所述上脊部的顶面的宽度比所述上脊部的底面的宽度小。

15.如权利要求1至14的任一项所述的半导体发光元件，

所述脊部以及所述脊部的下方的针对所述光的有效折射率n0、与所述脊部的宽度方向的外侧的有效折射率n1的有效折射率差在4×10^{-4}以下。

16.如权利要求1至9、11至15的任一项所述的半导体发光元件，

所述活性层具有:N侧引导层、配置在所述N侧引导层的上方的N侧势垒层、配置在所述N侧势垒层的上方的P侧势垒层、以及配置在所述P侧势垒层的上方的P侧引导层，

关于所述N侧引导层的厚度tng以及所述P侧引导层的厚度tpg，

tng＞tpg的关系成立。

17.如权利要求1至16的任一项所述的半导体发光元件，

在包括所述P型包覆层以及所述接触层的区域形成有沿着所述脊部延伸的翼部，

所述翼部包括下翼部和上翼部,所述下翼部包括所述P型包覆层,所述上翼部配置在所述下翼部的顶面且包括所述接触层，

所述下翼部的顶面具有翼平坦部,该翼平坦部是位于所述下翼部的侧面与所述上翼部的底面之间且在所述光的传播方向上延伸的平坦的区域。

18.如权利要求17所述的半导体发光元件，

在所述半导体发光元件的宽度方向的端部形成有向所述半导体发光元件的宽度方向凹陷的凹部，

所述下翼部的离所述脊部远的一侧的侧面在所述凹部中，

所述下翼部的离所述脊部远的一侧的侧面具有缩颈部,该缩颈部与所述下翼部的上端相比更位于所述半导体发光元件的宽度方向的内侧，

关于所述半导体发光元件的宽度方向上的所述凹部的位置,在所述P型包覆层中位于宽度方向的最内侧,并且随着从所述活性层靠近所述衬底而向所述半导体发光元件的宽度方向的外侧靠近。

19.如权利要求1至18的任一项所述的半导体发光元件，

在所述上脊部的与所述光的传播方向平行的方向上的截面,离所述半导体发光元件的所述光射出的端面近的一侧的所述上脊部的端部具有倒台形状。

20.如权利要求1至19的任一项所述的半导体发光元件，

所述半导体发光元件的所述光的传播方向上的端部的所述接触层的上表面,在所述接触层的整个宽度方向上是平坦的且是连续的。

21.一种半导体发光元件的制造方法,是射出光的半导体发光元件的制造方法，

所述制造方法包括如下的工序:

在衬底的上方形成N型包覆层的工序;

在所述N型包覆层的上方形成活性层的工序;

在所述活性层的上方形成P型包覆层的工序;

在所述P型包覆层的上方形成接触层的工序;

在包括所述P型包覆层以及所述接触层的区域形成脊部的工序;以及

在所述脊部形成绝缘膜的工序,

所述脊部包括下脊部和上脊部,所述下脊部包括所述P型包覆层,所述上脊部配置在所述下脊部的顶面且包括所述接触层,

形成所述脊部的工序中包括:

形成所述上脊部的工序;以及

在形成所述上脊部的工序之后形成所述下脊部的工序,

所述下脊部的顶面具有平坦部,该平坦部位于所述下脊部的侧面与所述上脊部的底面之间且在所述光的传播方向上延伸,

所述上脊部的底面的宽度比所述下脊部的顶面的宽度以及所述下脊部的层叠方向中央位置上的宽度小,

所述绝缘膜从所述下脊部的侧面开始连续地覆盖到所述上脊部的顶面的一部分为止。

22.如权利要求21所述的半导体发光元件的制造方法,

在形成所述上脊部的工序中采用湿蚀刻。

23.如权利要求21或22所述的半导体发光元件的制造方法,

在形成所述下脊部的工序中采用干蚀刻。

24.如权利要求21或22所述的半导体发光元件的制造方法,

在形成所述下脊部的工序中采用湿蚀刻。

半导体发光元件、以及半导体发光元件的制造方法

技术领域

[0001] 本公开涉及半导体发光元件以及半导体发光元件的制造方法。

背景技术

[0002] 以往激光就被用于加工,且需要具有高效且高输出的激光光源。作为这种激光光源而采用了半导体激光元件等半导体发光元件。

[0003] 作为用于使半导体发光元件高效化的技术,有已知的形成脊部以便将电流限制在脊部的技术(例如,专利文献1)。

[0004] (现有技术文献)

[0005] (专利文献)

[0006] 专利文献1日本特开2010-67763号公报

发明内容

[0007] 发明要解决的课题

[0008] 然而,在形成有脊部的半导体发光元件中存在的问题是,由于电流会流入到脊部的侧面,因此这将成为发热的原因。

[0009] 本公开为了解决这样的课题,目的在于提供一种能够抑制电流流入到脊部的侧面的半导体发光元件等。

[0010] 用于解决课题的手段

[0011] 为了解决上述课题,本公开所涉及的半导体发光元件的一个方式是射出光的半导体发光元件,所述半导体发光元件具备:衬底;配置在所述衬底的上方的N型包覆层;配置在所述N型包覆层的上方的活性层;配置在所述活性层的上方的P型包覆层;配置在所述P型包覆层的上方的接触层;以及配置在所述P型包覆层的上方的绝缘膜,在包括所述P型包覆层以及所述接触层的区域形成有在所述光的传播方向上延伸的脊部,所述脊部包括下脊部和上脊部,所述下脊部包括所述P型包覆层,所述上脊部配置在所述下脊部的顶面且包括所述接触层,所述下脊部的顶面具有位于所述下脊部的侧面与所述上脊部的底面之间的平坦部,且该平坦部在所述光的传播方向上延伸,所述上脊部的底面的宽度比所述下脊部的顶面的宽度以及所述下脊部的层叠方向中央位置上的宽度小,所述绝缘膜从所述下脊部的侧面开始连续地覆盖到所述上脊部的顶面的一部分为止。

[0012] 为了解决上述课题,本公开所涉及的半导体发光元件的其他的一个方式是射出光的半导体发光元件,所述半导体发光元件具备:衬底;配置在所述衬底的上方的N型包覆层;配置在所述N型包覆层的上方的活性层;配置在所述活性层的上方的P型包覆层;以及配置在所述P型包覆层的上方的接触层,在包括所述P型包覆层以及所述接触层的区域形成有在所述光的传播方向上延伸的脊部,所述脊部包括下脊部和上脊部,所述下脊部包括所述P型包覆层,所述上脊部配置在所述下脊部的顶面且包括所述接触层,所述P型包覆层由$Al_XGa_{1-X}As$(0＜X＜1)构成,并且所述P型包覆层具有:下部包覆层、配置在所述下部包覆层

的上方的第一包覆层、配置在所述第一包覆层的上方的第一蚀刻停止层、配置在所述第一蚀刻停止层的上方的第二包覆层、以及配置在所述第二包覆层的上方的第二蚀刻停止层，关于所述下部包覆层的Al组分比X0、所述第一包覆层的Al组分比X1、以及所述第二包覆层的Al组分比X2，X1＝X2＞0.8以及X1＝X2＞X0的关系成立。

[0013] 为了解决上述课题，本公开所涉及的半导体发光元件的制造方法的一个方式是射出光的半导体发光元件的制造方法，所述制造方法包括如下的工序：在衬底的上方形成N型包覆层的工序；在所述N型包覆层的上方形成活性层的工序；在所述活性层的上方形成P型包覆层的工序；在所述P型包覆层的上方形成接触层的工序；在包括所述P型包覆层以及所述接触层的区域形成脊部的工序；以及在所述脊部形成绝缘膜的工序，所述脊部包括下脊部和上脊部，所述下脊部包括所述P型包覆层，所述上脊部配置在所述下脊部的顶面且包括所述接触层，形成所述脊部的工序中包括：形成所述上脊部的工序；以及在形成所述上脊部的工序之后形成所述下脊部的工序，所述下脊部的顶面具有平坦部，该平坦部位于所述下脊部的侧面与所述上脊部的底面之间且在所述光的传播方向上延伸，所述上脊部的底面的宽度比所述下脊部的顶面的宽度以及所述下脊部的层叠方向中央位置上的宽度小，所述绝缘膜从所述下脊部的侧面连续地覆盖到所述上脊部的顶面的一部分为止。

[0014] 发明效果

[0015] 通过本公开，能够提供一种能够抑制电流流入到脊部的侧面的半导体发光元件等。

附图说明

[0016] 图1是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的全体构成的俯视图。

[0017] 图2是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的全体构成的第一截面图。

[0018] 图3是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的全体构成的第二截面图。

[0019] 图4是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的全体构成的第三截面图。

[0020] 图5是示意性示出实施方式所涉及的活性层的构成的截面图。

[0021] 图6是示意性示出实施方式所涉及的第二蚀刻停止层的构成的截面图。

[0022] 图7是图2所示的脊部的放大图。

[0023] 图8是图2所示的翼部的放大图。

[0024] 图9是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的制造方法的第一工序的截面图。

[0025] 图10是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的制造方法的第二工序的截面图。

[0026] 图11是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的制造方法的第三工序的第一截面图。

[0027] 图12是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的制造方法的第三工序的第二截面图。

[0028] 图13是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的制造方法的第四工序的第一截面图。

[0029] 图14是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的制造方法的第四工序的

第二截面图。

[0030] 图15是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的制造方法的第五工序的第一截面图。

[0031] 图16是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的制造方法的第五工序的第二截面图。

[0032] 图17是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的制造方法的第六工序的第一截面图。

[0033] 图18是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的制造方法的第六工序的第二截面图。

[0034] 图19是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的制造方法的第七工序的截面图。

[0035] 图20是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的制造方法的第八工序的第一截面图。

[0036] 图21是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的制造方法的第八工序的第二截面图。

[0037] 图22是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的制造方法的第九工序的截面图。

[0038] 图23是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的制造方法的第十工序的第一截面图。

[0039] 图24是示意性示出实施方式所涉及的半导体发光元件的制造方法的第十工序的第二截面图。

[0040] 图25是示出实施方式所涉及的半导体发光元件的输出功率与注入电流的关系的图表。

[0041] 图26是示出实施方式所涉及的半导体发光元件的剩余厚度与出射光的水平扩散角的关系的图表。

[0042] 图27是示出实施方式所涉及的半导体发光元件的出射光的水平扩散角与有效折射率差的关系的图表。

[0043] 图28是示意性示出实施方式的变形例1所涉及的半导体发光元件的全体构成的俯视图。

[0044] 图29是示意性示出实施方式的变形例1所涉及的半导体发光元件的全体构成的第一截面图。

[0045] 图30是示意性示出实施方式的变形例1所涉及的半导体发光元件的全体构成的第二截面图。

[0046] 图31是示意性示出实施方式的变形例1所涉及的半导体发光元件的全体构成的第三截面图。

[0047] 图32是示意性示出实施方式的变形例1所涉及的半导体发光元件的全体构成的第四截面图。

[0048] 图33是示意性示出实施方式的变形例2所涉及的半导体发光元件的全体构成的俯视图。

[0049] 图34是示意性示出实施方式的变形例2所涉及的半导体发光元件的全体构成的第一截面图。

[0050] 图35是示意性示出实施方式的变形例2所涉及的半导体发光元件的全体构成的第二截面图。

[0051] 图36是示意性示出实施方式的变形例2所涉及的半导体发光元件的全体构成的第三截面图。

具体实施方式

[0052] 以下,参照附图对本公开的实施方式进行说明。另外,以下将要说明的实施方式均为示出本公开的一个具体例子。因此,以下的实施方式中所示的数值、形状、材料、构成要素、以及构成要素的配置位置和连接形态等都是一个例子,其主旨并非是对本公开进行限定。

[0053] 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不一定一致。另外,在各个图中对于实质上相同的构成赋予相同的标号,并省略或简化重复的说明。

[0054] 并且,在说明书中,“上方”以及“下方”这样的用语不是指绝对空间识别中的上方向(铅垂上方)以及下方向(铅垂下方),而是作为基于层叠结构中的层叠顺序而由相对的位置关系规定的用语来使用。此外,“上方”以及“下方”这样的用语,不仅能够适用于两个构成要素相互隔开间隔配置而在两个构成要素之间存在其他的构成要素的情况,而且也能够适用于两个构成要素以相互相接的状态来配置的情况。

[0055] (实施方式)

[0056] 对实施方式所涉及的半导体发光元件进行说明。

[0057] [1.全体构成]

[0058] 首先,利用图1至图4对本实施方式所涉及的半导体发光元件的全体构成进行说明。图1是示意性示出本实施方式所涉及的半导体发光元件1的全体构成的俯视图。图2至图4分别是示意性示出本实施方式所涉及的半导体发光元件1的全体构成的截面图。图2以及图3分别示出了图1的II-II线以及III-III线处的半导体发光元件1的截面。并且,在图4中仅示出了图1的IV-IV线处的半导体发光元件1的截面中包括端面1F的一部分。另外,在各个图中示出了彼此正交的X轴、Y轴以及Z轴。X轴、Y轴以及Z轴是右手坐标系的正交坐标系。半导体发光元件1的层叠方向(即半导体发光元件1所具备的各层的厚度方向)与Z轴方向平行,光(激光光束)的主要传播方向与Y轴方向平行。

[0059] 半导体发光元件1是通过提供来的电流来射出光的元件。在本实施方式中,半导体发光元件1是射出近红外区域的波长(900nm以上980nm以下左右)的激光光束的半导体激光元件。更具体而言,半导体发光元件1射出波长为976nm左右的激光光束。如图1所示,半导体发光元件1具有形成谐振器的两个端面1F以及1R。端面1F是射出激光光束的前端面,端面1R是反射率比端面1F高的后端面。并且,半导体发光元件1具有形成在端面1F与端面1R之间的波导。关于半导体发光元件1的谐振器长即激光光束的传播方向(各个图的Y轴方向,即振动方向)上的端面1F与1R之间的距离没有特殊的限定,在本实施方式中为2mm以上。并且,半导体发光元件1的谐振器长也可以是5mm以上。半导体发光元件1具备被配置在激光光束的传播方向的端部的反射膜2F以及2R。反射膜2F以及2R分别是用于调整端面1F以及1R的反射率

的膜。在本实施方式中,反射膜2F以及2R各自为介电多层膜。反射膜2F的反射率比反射膜2R低。

[0060] 如图2所示,半导体发光元件1具备衬底10、N型包覆层20、活性层30、P型包覆层40、接触层50、以及绝缘膜60。在本实施方式中,半导体发光元件1进一步具备N型缓冲层(未图示)、N型缓冲边界层(未图示)、第一P侧电极71、焊盘电极73、第二P侧电极72、以及N侧电极80。

[0061] 衬底10是成为半导体发光元件1的基台的板状部件。在本实施方式中,衬底10为N型GaAs衬底。

[0062] N型缓冲层是配置在衬底10的上方的N型的半导体层。在本实施方式中,N型缓冲层是膜厚为0.5μm的N型GaAs层。

[0063] N型缓冲边界层是配置在N型缓冲层与N型包覆层20之间的N型的半导体层。在本实施方式中,N型缓冲边界层是膜厚为0.05μm的N型$Al_{X22}Ga_{1-X22}As$层(0.15≤X22≤0.25)。N型缓冲边界层的Al组分比X22随着靠近N型包覆层20而增大。N型缓冲边界层的Al组分比X22在与N型缓冲层的边界面为0.15,在与N型包覆层20的边界面为0.25。

[0064] N型包覆层20是配置在衬底10的上方的N型的半导体层。N型包覆层20的平均折射率比活性层30的平均折射率低。在本实施方式中,N型包覆层20配置在N型缓冲边界层上。N型包覆层20是膜厚为3.1μm的N型$Al_{0.25}Ga_{0.75}As$层。

[0065] 活性层30是配置在N型包覆层20的上方的发光层。在本实施方式中,活性层30具有量子阱结构。利用图5来对活性层30的构成进行说明。图5是示意性示出本实施方式所涉及的活性层30的构成的截面图。图5示出了图1的II-II线处的活性层30的截面。如图5所示,活性层30具有N侧包覆边界层31、N侧引导层32、N侧势垒层33、阱层34、P侧势垒层35、P侧引导层36、以及P侧包覆边界层37。

[0066] 如图3以及图4所示,活性层30具有位于半导体发光元件1的端面1F附近的窗口区30w(即非发光区域)。窗口区30w是包括N侧势垒层33、阱层34、以及P侧势垒层35的量子阱结构的一部分被无序化的区域,在窗口区30w中与活性层30的窗口区30w以外的区域相比带隙能量大。据此,在端面1F附近的发光以及光的吸收得到抑制,从而能够抑制端面1F附近的发热。因此,能够抑制半导体发光元件1的端面1F附近的COD(Catastrophic Optical Damage:光学灾变损伤)。在本实施方式中,活性层30也具有位于端面1R附近的窗口区30w。窗口区30w在活性层30中从端面1F侧的端部沿着光的传播方向而形成到规定的长度。窗口区30w在光的传播方向上的长度可以与上脊部Ru的端面1F侧的端部到P型包覆层40的端面1F侧的端部的长度相等。在此的这些长度相等的记载所表示的状态并非受这些长度完全相等的状态所限,也包括实质上相等的状态。这些长度相等的记载所表示的状态中例如也包括这些长度的差在各长度的10%以下的状态。

[0067] 图5所示的N侧包覆边界层31是配置在N型包覆层20(参照图2至图4)的上方的半导体层。在本实施方式中,N侧包覆边界层31是配置在N型包覆层20与N侧引导层32之间的膜厚为0.83μm的N型$Al_{X31}Ga_{1-X31}As$层(0.25≥X31≥0.20)。N侧包覆边界层31的Al组分比X31随着靠近N侧引导层32而减少。N侧包覆边界层31的Al组分比X31在与N型包覆层20的边界面为0.25,在与N侧引导层32的边界面为0.20。

[0068] N侧引导层32是配置在N型包覆层20(参照图2至图4)的上方的半导体层。N侧引导

层32的平均折射率比N型包覆层20的平均折射率高。在本实施方式中,N侧引导层32配置在N侧包覆边界层31的上方。N侧引导层32是膜厚为0.27μm的N型$Al_{0.20}Ga_{0.80}As$层。

[0069] N侧势垒层33是配置在N型包覆层20的上方的作为量子阱结构的势垒发挥作用的半导体层。在本实施方式中,N侧势垒层33配置在N侧引导层32的上方。N侧势垒层33是膜厚为0.010μm的未掺杂$Al_{0.16}Ga_{0.84}As$层。

[0070] 阱层34是配置在N型包覆层20的上方的作为量子阱结构的阱发挥作用的半导体层。在本实施方式中,阱层34被配置在N侧势垒层33的上方。阱层34是膜厚为0.0090μm的未掺杂$In_{0.14}Ga_{0.86}As$层。

[0071] P侧势垒层35是配置在N型包覆层20(参照图2至图4)的上方的作为量子阱结构的势垒发挥作用的半导体层。在本实施方式中,P侧势垒层35被配置在阱层34的上方。P侧势垒层35是膜厚为0.010μm的未掺杂$Al_{0.16}Ga_{0.84}As$层。

[0072] P侧引导层36是配置在N型包覆层20(参照图2至图4)的上方的半导体层。P侧引导层36的平均折射率比P型包覆层40(参照图2至图4)的平均折射率高。在本实施方式中,P侧引导层36配置在P侧势垒层35的上方。P侧引导层36是膜厚为0.29μm的P型$Al_{X36}Ga_{1-X36}As$层($0.20 \leqslant X36 \leqslant 0.21$)。P侧引导层36的Al组分比X36在P侧引导层36的与P侧势垒层35的边界面的距离为0.010μm以下的区域中是0.20。P侧引导层36的Al组分比X36在P侧引导层36的与P侧势垒层35的边界面的距离比0.010μm大的区域中,随着靠近P侧包覆边界层37而增大。P侧引导层36的Al组分比X36在与P侧包覆边界层37的边界面为0.21。

[0073] P侧包覆边界层37是配置在N型包覆层20(参照图2至图4)的上方的半导体层。在本实施方式中,P侧包覆边界层37是配置在P侧引导层36与P型包覆层40(参照图2至图4)之间的膜厚为0.1μm的N型$Al_{X37}Ga_{1-X37}As$层($0.21 \geqslant X37 \geqslant 0.75$)。P侧包覆边界层37的Al组分比X37随着靠近P型包覆层40而增大。P侧包覆边界层37的Al组分比X37在与P侧引导层36的边界面为0.21,在与P型包覆层40的边界面为0.75。

[0074] 图2至图4所示的P型包覆层40是配置在活性层30的上方的P型的半导体层。P型包覆层40的平均折射率比活性层30的平均折射率低。在本实施方式中,P型包覆层40由$Al_XGa_{1-X}As$($0<X<1$)构成,且具有下部包覆层41、第一包覆层42、第一蚀刻停止层43、第二包覆层44、第二蚀刻停止层45。

[0075] 下部包覆层41是配置在活性层30的上方的P型的半导体层。在本实施方式中,下部包覆层41是膜厚为0.050μm的P型$Al_{0.75}Ga_{0.25}As$层。

[0076] 第一包覆层42是配置在活性层30的上方的P型的半导体层。在本实施方式中,第一包覆层42是配置在下部包覆层41的上方的膜厚为0.10μm的P型$Al_{0.85}Ga_{0.15}As$层。

[0077] 第一蚀刻停止层43是配置在活性层30的上方的P型的半导体层。在本实施方式中,第一蚀刻停止层43被配置在第一包覆层42的上方。第一蚀刻停止层43的Al组分比在0.7以下。第一蚀刻停止层43是膜厚为0.05μm的P型$Al_{0.70}Ga_{0.30}As$层。

[0078] 第二包覆层44是配置在活性层30的上方的P型的半导体层。在本实施方式中,第二包覆层44是配置在第一蚀刻停止层43的上方的膜厚为0.20μm的P型$Al_{0.85}Ga_{0.15}As$层。

[0079] 在本实施方式中,关于下部包覆层41的Al组分比X0、第一包覆层42的Al组分比X1、以及第二包覆层44的Al组分比X2,如下的关系成立:

[0080] $X1=X2>0.8$以及$X1=X2>X0$。

[0081] 第二蚀刻停止层45是配置在活性层30的上方的P型的半导体层。在本实施方式中，第二蚀刻停止层45是配置在第二包覆层44的上方的膜厚为0.050μm的P型$Al_{X45}Ga_{1-X45}As$层(0.70≥X45≥0.15)。第二蚀刻停止层45具有随着靠近接触层而Al组分比减少的两个以上的倾斜区域、以及相对于层叠方向位置而Al组分比不变的一个以上的恒定区域。两个以上的倾斜区域与一个以上的恒定区域在层叠方向上交替配置。以下利用图6对本实施方式所涉及的第二蚀刻停止层45的构成进行说明。图6是示意性示出本实施方式所涉及的第二蚀刻停止层45的构成的截面图。图6示出了图1的II-II线处的脊部R的第二蚀刻停止层45的截面。如图6所示，第二蚀刻停止层45具有两个倾斜区域45b和45d以及两个恒定区域45a和45c。

[0082] 恒定区域45a是配置在第二包覆层44的上方的膜厚为0.050μm的P型$Al_{0.70}Ga_{0.30}As$层。倾斜区域45b是配置在恒定区域45a的上方的膜厚为0.01μm的P型$Al_{X45}Ga_{1-X45}As$层。倾斜区域45b的Al组分比X45随着靠近接触层50而减少。倾斜区域45b的Al组分比X45在与恒定区域45a的边界面为0.70，在与恒定区域45c的边界面为0.60。恒定区域45c是配置在倾斜区域45b的上方的膜厚为0.030μm的P型$Al_{0.60}Ga_{0.40}As$层。倾斜区域45d是配置在恒定区域45c的上方的膜厚为0.010μm的P型$Al_{X45}Ga_{1-X45}As$层。倾斜区域45d的Al组分比X45随着靠近接触层50而减少。倾斜区域45d的Al组分比X45在与恒定区域45c的边界面为0.60，在与接触层50的边界面为0.15。

[0083] 接触层50是配置在P型包覆层40的上方的与第一P侧电极71欧姆接触的P型的半导体层。在本实施方式中，接触层50是膜厚为0.25μm的P型GaAs层。

[0084] 如图1以及图2所示，在包括P型包覆层40以及接触层50的区域形成有沿着光的传播方向延伸的脊部R。沿着脊部R而形成波导。另外，图1示出了脊部R的上表面的轮廓。以下结合图1至图4并利用图7来对脊部R的构成进行说明。图7是图2所示的脊部R的放大图。如图2所示，脊部R包括下脊部Rd和上脊部Ru，下脊部Rd包括P型包覆层40，上脊部Ru配置在下脊部Rd的顶面Rdt且包括接触层50。下脊部Rd的顶面Rdt具有位于下脊部Rd的侧面Rds与上脊部Ru的底面Rub之间的且在光的传播方向上延伸的平坦部Rdf。上脊部Ru的底面Rub的宽度Wub比下脊部Rd的顶面Rdt的宽度Wdt、以及下脊部Rd的层叠方向中央位置Rdc上的宽度Wdc小。另外，在此的脊部R的宽度是指，垂直于层叠方向(即Z轴方向)以及脊部R的长度方向(即光的传播方向或Y轴方向)的方向(即X轴方向)上的脊部R的尺寸。上脊部Ru的顶面Rut的宽度Wut比上脊部Ru的底面Rub的宽度Wub小。即上脊部Ru的与脊部R的长度方向垂直的截面具有正台(forward mesas)形状。上脊部Ru的侧面Rus形成正台形状的倾斜面。

[0085] 上脊部Ru包括接触层50的至少一部分。在本实施方式中，上脊部Ru包括第二蚀刻停止层45以及接触层50各自的至少一部分。

[0086] 如图1、图3以及图4所示，上脊部Ru没有形成在半导体发光元件1的端面1F附近。换而言之，脊部R的光的传播方向上的端部之中、离半导体发光元件1的光射出的端面1F近的一侧的端部的上表面位于第二蚀刻停止层45。即，在脊部R的光的传播方向上的端部之中、离半导体发光元件1的光射出的端面1F近的一侧的端部没有形成接触层50。据此，在将半导体发光元件1以结朝下(即倒装芯片)的方式来安装到衬底等时，能够抑制应力被集中地施加到脊部R的端部。因此，能够抑制半导体发光元件1的端面1F附近的损伤。另外，在本实施方式中，上脊部Ru也没有形成在半导体发光元件1的端面1R附近。

[0087] 如图4所示,在上脊部Ru的与光的传播方向(以及层叠方向)平行方向的截面上,离半导体发光元件1的光射出端面1F近的一侧的上脊部Ru的端部具有倒台形状。换而言之,上脊部Ru的上端与下端相比更位于离端面1F近的位置。

[0088] 如图7所示,下脊部Rd包括第二包覆层44以及第二蚀刻停止层45的各自至少一部分。在本实施方式中,下脊部Rd包括第一蚀刻停止层43、第二包覆层44以及第二蚀刻停止层45的各自的至少一部分。下脊部Rd的顶面Rdt位于第二蚀刻停止层45。因此,作为下脊部Rd的顶面Rdt的一部分的平坦部Rdf也位于第二蚀刻停止层45。平坦部Rdf的Al组分比在0.7以下。

[0089] 关于下脊部Rd的顶面Rdt的宽度Wdt、下脊部Rd的层叠方向中央位置Rdc上的宽度Wdc以及下脊部Rd的底面Rdb的宽度Wdb,如下的关系成立,即:

[0090] Wdt＞Wdc以及Wdb＞Wdc。

[0091] 另外,下脊部Rd的顶面Rdt的宽度Wdt也可以与下脊部Rd的层叠方向中央位置Rdc上的宽度Wdc相等。并且在此的宽度Wdt与宽度Wdc相等的记载所表示的状态是,不仅受限于宽度Wdt与宽度Wdc完全相等的状态,而且还包括实质上相等的状态。在宽度Wdt与宽度Wdc相等的记载所表示的状态中,例如还包括宽度Wdt与宽度Wdc的差在各个宽度的3％以下的状态。

[0092] 相对于下脊部Rd的底面Rdb,在下脊部Rd的宽度方向(即X轴方向)上相邻位置上的P型包覆层40的上表面(即图7所示的底部Tb)位于第一蚀刻停止层43。换而言之,下脊部Rd的底面Rdb位于第一蚀刻停止层43。

[0093] 在本实施方式中,在包括P型包覆层40以及接触层50的区域形成有沿着脊部R延伸的翼部G。换而言之,在翼部G与脊部R之间形成有槽部T。另外,在图1中示出了翼部G的上表面的轮廓。以下利用图8对翼部G进行说明。图8是图2所示的翼部G的放大图。

[0094] 如图8所示,翼部G包括下翼部Gd和上翼部Gu,下翼部Gd包括P型包覆层40,上翼部Gu配置在下翼部Gd的顶面Gdt且包括接触层50。下翼部Gd的顶面Gdt具有翼平坦部Gdf,翼平坦部Gdf是位于下翼部Gd的侧面Gds与上翼部Gu的底面Gub之间且沿着光的传播方向延伸的平坦的区域。在本实施方式中,在两个翼部G之间形成有脊部R。通过这样的翼部G,能够抑制在将半导体发光元件1安装到安装衬底等时给脊部R施加的应力。

[0095] 在半导体发光元件1的宽度方向的端部(即X轴方向的端部),形成有向半导体发光元件1的宽度方向凹陷的凹部3。在翼部G的X轴方向外侧形成有凹部3。凹部3是在将半导体发光元件1进行单片化时使用的分离槽的一部分。如图8等所示,半导体发光元件1的侧面之中与凹部3对应的部分向X轴方向的内侧缩进。下翼部Gd的远离脊部R的一侧的侧面Gds包括在凹部3中。下翼部Gd的远离脊部R的一侧的侧面Gds具有缩颈部3w,缩颈部3w相对于下翼部Gd的上端(侧面Gds之中与顶面Gdt对应的位置),更位于半导体发光元件1的宽度方向上的内侧。

[0096] 关于半导体发光元件1的宽度方向上的凹部3的位置,在P型包覆层40中位于宽度方向的最内侧(即靠近脊部R)。也就是说,凹部3在P型包覆层40中是最缩进的部分。关于半导体发光元件1的宽度方向上的凹部3的位置,从下翼部Gd的上端开始,随着从活性层30向衬底10靠近而逐渐地向半导体发光元件1的宽度方向的外侧(即,向远离脊部R的方向)靠近。

[0097] 上翼部Gu在垂直于翼部G的长度方向的截面具有正台形状。在上翼部Gu的侧面Gus形成正台形状的倾斜面。

[0098] 绝缘膜60是配置在P型包覆层40的上方的电绝缘膜。如图7所示,绝缘膜60从下脊部Rd的侧面Rds开始连续地覆盖到上脊部Ru的顶面Rut的一部分为止。即绝缘膜60连续地覆盖下脊部Rd的侧面Rds、平坦部Rdf、上脊部Ru的侧面Rus、以及顶面Rut。在本实施方式中,在绝缘膜60的与上脊部Ru的顶面Rut对应的位置形成有开口部60a。电流经由开口部60a从第一P侧电极71注入到接触层50。也就是说,开口部60a是向接触层50注入电流的电流注入窗口区。衬底10上形成的半导体层叠体的上表面之中除了开口部60a以外全都由绝缘膜60连续地覆盖。据此,能够抑制电流流出到脊部R以外的区域。绝缘膜60的材料只要具有电绝缘性则没有特殊的限定。在本实施方式中,绝缘膜60是膜厚为100nm的氮化硅膜。

[0099] 第一P侧电极71是配置在接触层50的上方的导电层。如图7所示,第一P侧电极71在脊部R的上表面即在上脊部Ru的顶面Rut与接触层50相接。如图7以及图8所示,第一P侧电极71从一方的翼部G的上表面(即上翼部Gu的顶面Gut)除了开口部60a以外连续地覆盖到另一方的翼部G的上表面。第一P侧电极71的材料只要具有导电性则没有特殊的限定。第一P侧电极71例如包括从接触层50侧开始依次层叠的膜厚为50nm的Ti膜、膜厚为150nm的Pt膜、以及膜厚为50nm的Au膜。

[0100] 图2以及图4所示的焊盘电极73是配置在第一P侧电极71的上方的焊盘状的导电层。在本实施方式中,焊盘电极73在X轴方向端部具有檐状部73a。檐状部73a是在焊盘电极73的X轴方向端部的上端向X轴方向外侧凸出的部分。焊盘电极73的构成没有特殊的限定。在本实施方式中,焊盘电极73是膜厚为2.5μm的镀金膜。

[0101] 图2至图4所示的第二P侧电极72是配置在焊盘电极73的上方的导电层。第二P侧电极72也可以配置在第一P侧电极71以及绝缘膜60的上表面之中没有配置焊盘电极73的区域。第二P侧电极72的构成没有特殊的限定。在本实施方式中,第二P侧电极72是从焊盘电极73侧依次层叠的膜厚为50nm的Ti膜、膜厚为150nm的Pt膜、膜厚为300nm的Au膜。

[0102] 图2、图4所示的N侧电极80是配置在衬底10的下方的主面(即衬底10的主面之中层叠有半导体层的主面的背面的主面)的导电层。N侧电极80的构成没有特殊的限定。在本实施方式中,N侧电极80包括从衬底10侧依次层叠的膜厚为90nm的AuGe膜、膜厚为20nm的Ni膜、膜厚为50nm的Au膜、膜厚为100nm的Ti膜、膜厚为50nm的Pt膜、膜厚为50nm的Ti膜、膜厚为100nm的Pt膜、以及膜厚为500nm的Au膜。

[0103] [2.制造方法]

[0104] 利用图9至图24对本实施方式所涉及的半导体发光元件1的制造方法进行说明。图9至图24是示意性示出本实施方式所涉及的半导体发光元件1的制造方法的各工序的截面图。在图9、图11、图13、图15、图17、图19、图20、图22、以及、图23示出了与图1所示的半导体发光元件1的II-II线处对应的截面。在图10、图12、图14、图16、图18、图21、以及、图24中示出了与图1所示的半导体发光元件1的III-III线处对应的截面。

[0105] 首先如图9所示,准备衬底10以形成各半导体层。形成各半导体层的工序包括:在衬底10的上方形成N型包覆层20的工序、在N型包覆层20的上方形成活性层30的工序、在活性层30的上方形成P型包覆层40的工序、以及在P型包覆层40的上方形成接触层50的工序。在本实施方式中,形成各半导体层的工序中还包括:在形成N型包覆层20的工序前,在衬底

10的上方形成N型缓冲层的工序;以及在N型缓冲层的上方形成N型缓冲边界层的工序。各半导体层例如利用MOCVD(Metalorganic Chemical Vapor Deposition:金属有机化合物化学气相沉积)通过结晶生长来形成。

[0106] 接着如图10所示,在活性层30之中的与端面1F附近对应的区域形成窗口区30w。具体而言,例如在活性层30通过扩散Zn等杂质来形成窗口区30w。在本实施方式中,也在与端面1R附近对应的区域形成窗口区30w。

[0107] 接下来,在包括P型包覆层40以及接触层50的区域形成脊部R。形成脊部R的工序包括:形成上脊部Ru的工序、以及在形成上脊部Ru的工序后形成下脊部Rd(参照图2)的工序。首先如图11以及图12所示,形成上脊部Ru。在本实施方式中,上翼部Gu也同时形成。并且在本实施方式中,在形成上脊部Ru的工序中采用湿蚀刻。据此,能够以上脊部Ru成为正台形状的方式来使侧面Rus倾斜。因此,能够提高侧面Rus与绝缘膜60的紧密性。

[0108] 在本工序中,具体而言是通过在接触层50上使用光刻技术,以规定的图案来形成由SiO_2等构成的掩膜。在此之后,通过湿蚀刻技术来去除接触层50之中没有由掩膜覆盖的部分。在进行湿蚀刻时,以第二蚀刻停止层45与接触层50相比蚀刻速度慢的方式,来决定蚀刻中使用的药液以及各半导体层的构成。据此,易于在第二蚀刻停止层45停止蚀刻。也就是说,能够提高对上脊部Ru以及上翼部Gu的高度的控制性。在本实施方式中,通过湿蚀刻来去除接触层50和第二蚀刻停止层45的一部分。即上脊部Ru的底面Rub以及上翼部Gu的底面Gub位于第二蚀刻停止层45。

[0109] 并且在本实施方式中,由于第二蚀刻停止层45具有相对于层叠方向位置而Al组分比不变的恒定区域45a和45c(参照图6),从而与第二蚀刻停止层45全体由倾斜区域构成的情况相比,能够更确实地在第二蚀刻停止层45使蚀刻停止。

[0110] 作为蚀刻中使用的药液,例如能够使用包括酒石酸和过氧化氢的溶液。酒石酸与过氧化氢的混合比例如是2:1。

[0111] 通过以上这种方法,如图11以及图12所示,能够形成在与光的传播方向垂直的截面具有正台形状的上脊部Ru以及上翼部Gu。另外如图12所示,在半导体发光元件1的端面1F(以及端面1R)附近没有形成上脊部Ru。如图4所示,在上脊部Ru的与光的传播方向(以及层叠方向)平行的方向上的截面,离端面1F近的一侧的上脊部Ru的端部具有倒台形状。

[0112] 接着如以上所述,在形成上脊部Ru以及上翼部Gu之后,如图13以及图14所示,形成下脊部Rd以及下翼部Gd。在本实施方式中,在形成下脊部Rd的工序中使用湿蚀刻。具体而言,通过光刻技术,以SiO_2构成的掩膜覆盖上脊部Ru以及上翼部Gu的方式来形成掩膜。在此,也在与平坦部Rdf以及翼平坦部Gdf对应的区域形成掩膜。在此之后,利用湿蚀刻技术,通过对P型包覆层40之中没有由掩膜覆盖的区域直到第一蚀刻停止层43为止进行蚀刻,来形成槽部T。据此,能够形成具有平坦部Rdf的下脊部Rd、以及具有翼平坦部Gdf的下翼部Gd。在进行湿蚀刻时,以第一蚀刻停止层43比第二包覆层44的蚀刻速度慢的方式,来决定蚀刻中使用的药液以及各半导体层的构成。据此,在第一蚀刻停止层43容易停止蚀刻。即能够提高对下脊部Rd以及下翼部Gd的高度的控制性。在本实施方式中,通过湿蚀刻来去除第二蚀刻停止层45、第二包覆层44、以及第一蚀刻停止层43的一部分。即下脊部Rd的底面Rdb以及下翼部Gd的底面Gdb位于第一蚀刻停止层43。

[0113] 作为蚀刻中使用的药液,例如能够使用包括硫酸、过氧化氢、以及水的溶液。硫酸

与过氧化氢与水的混合比例如是1:1:6。

[0114] 通过以上的方法,能够如图13以及图14所示那样形成下脊部Rd以及下翼部Gd。在本实施方式中,下脊部Rd以及下翼部Gd从P型包覆层40的端面1F侧的端部一直连续地形成到端面1R侧的端部。

[0115] 另外,在形成下脊部Rd的工序中也可以采用干蚀刻。通过采用干蚀刻,从而能够提高通过蚀刻来去除膜厚的控制性。因此,能够减少半导体发光元件1的脊部R的内部与外部的有效折射率差ΔN以及射出光的扩散角的个体差异。在此,有效折射率差是指,脊部R以及脊部R的下方对光的有效折射率n0与脊部R的宽度方向上的外侧的有效折射率n1的差。脊部R的宽度方向上的外侧是指,比脊部R的最大宽度的位置(X轴方向上)更外侧。在本实施方式中,脊部R的最大宽度是下脊部Rd的底面Rdb的宽度Wdb。有效折射率是指,在半导体发光元件1中进行波导的光的分布(在本实施方式中是激光振荡时产生的光分布)与半导体发光元件1的折射率分布相乘后的值。干蚀刻例如能够通过采用(化学上的)反应性蚀刻,来形成具有上述的形状的下脊部Rd以及下翼部Gd。作为干蚀刻用的气体例如能够采用$SiCl_4$。按照在进行蚀刻时的$SiCl_4$的流量,来使下脊部Rd的侧面Rds的倾斜角度发生变化。例如通过将$SiCl_4$的流量设定为10sccm以上,从而能够形成相对于衬底10的主面具有接近于垂直的角度的倾斜角度的下脊部Rd的侧面Rds。

[0116] 接着如图15以及图16所示,在半导体发光元件1的宽度方向的端部形成向半导体发光元件1的宽度方向凹陷的凹部3。凹部3是在半导体发光元件1的单片化中所利用的分离槽的一部分。也就是说,在图13以及图14示出的状态下的多个半导体层叠体在X轴方向上连接的状态下,在彼此相邻的半导体层叠体之间形成分离槽,并沿着分离槽来使半导体层叠体分离。据此,形成了图15以及图16所示的凹部3。

[0117] 接着如图17所示,在脊部R形成绝缘膜60。绝缘膜60从下脊部Rd的侧面Rds开始连续地覆盖到上脊部Ru的顶面Rut的一部分为止。在本实施方式中是在图15以及图16所示的半导体层叠体的整个上表面形成绝缘膜60。在本实施方式中,作为绝缘膜60而采用CVD法等来形成氮化硅膜。

[0118] 接着如图19所示,在绝缘膜60之中的与上脊部Ru的顶面Rut对应的区域形成开口部60a。具体而言,在与绝缘膜60的开口部60a对应的区域以外的区域形成掩膜。例如通过对与绝缘膜60中的开口部60a对应的区域进行蚀刻,来形成开口部60a。

[0119] 接着如图20以及图21所示,形成第一P侧电极71。第一P侧电极71至少形成在绝缘膜60的开口部60a。在本实施方式中,第一P侧电极71从一方的上翼部Gu的顶面Gut连续地一直覆盖到另一方的上翼部Gu的顶面Gut。第一P侧电极71例如利用光刻技术以及蒸镀法来形成。

[0120] 接着如图22所示,形成焊盘电极73。焊盘电极73至少被形成在绝缘膜60的开口部60a的上方。在本实施方式中,在第一P侧电极71上的区域中从一方的上翼部Gu的顶面Gut一直连续地覆盖到另一方的上翼部Gu的顶面Gut。焊盘电极73例如采用电镀的方法来形成。焊盘电极73如图22所示,可以在X轴方向端部具有檐状部73a。

[0121] 接着如图23以及图24所示,形成第二P侧电极72。第二P侧电极72在焊盘电极73上的区域中,至少被形成在绝缘膜60的开口部60a的上方。在本实施方式中,第二P侧电极72覆盖焊盘电极73的整个上表面。并且,第二P侧电极72覆盖被配置在焊盘电极73的边缘的第一

P侧电极71的上表面的至少一部分。第二P侧电极72也可以不覆盖焊盘电极73的侧面之中的位于檐状部73a的下方的区域。第二P侧电极72例如采用光刻技术以及蒸镀法来形成。

[0122] 接着如图2以及图4所示,在衬底10的下表面(衬底10的主面之中层叠了各半导体层的主面的背面的主面)形成N侧电极80。N侧电极80至少被形成在与绝缘膜60的开口部60a相向的位置。N侧电极80例如采用光刻技术以及蒸镀法来形成。

[0123] 通过以上的工序,能够形成本实施方式所涉及的半导体发光元件1。

[0124] [3.效果]

[0125] 对本实施方式所涉及的半导体发光元件1的效果进行说明。

[0126] 如以上所述,本实施方式所涉及的半导体发光元件1具有上脊部Ru以及下脊部Rd。下脊部Rd的顶面Rdt具有位于下脊部Rd的侧面Rds与上脊部Ru的底面Rub之间的且在光的传播方向上延伸的平坦部Rdf。上脊部Ru的底面Rub的宽度Wub比下脊部Rd的顶面Rdt的宽度Wdt以及下脊部Rd的层叠方向中央位置Rdc上的宽度Wdc小。

[0127] 这样,通过上脊部Ru的底面Rub的宽度Wub比下脊部Rd的顶面Rdt的宽度Wdt以及下脊部Rd的层叠方向中央位置Rdc上的宽度Wdc小,从而,从上脊部Ru的顶面Rut注入的电流将流入到下脊部Rd的顶面Rdt之中比侧面Rds更靠内侧的区域。因此,能够抑制电流流入到下脊部Rd的侧面Rds。据此,电流流入到下脊部Rd的侧面Rds而造成的发热得到抑制,从而能够实现半导体发光元件1的高输出。并且,能够减少由于半导体发光元件1的发热而导致的故障。

[0128] 并且,通过下脊部Rd具有平坦部Rdf,从而能够提高绝缘膜60与脊部R的紧密性。因此,能够提高第一P侧电极71与脊部R的侧面(侧面Rds以及侧面Rus)之间的绝缘性。

[0129] 并且,P型包覆层40由$Al_XGa_{1-X}As$ (0＜X＜1)构成,关于第一包覆层42的Al组分比X1以及第二包覆层44的Al组分比X2,X1＝X2＞0.8的关系成立,因此与Al组分比X1以及X2为0.8以下的情况相比,能够降低P型包覆层40的平均折射率。关于这种构成的效果,将利用图25来说明。图25是示出本实施方式所涉及的半导体发光元件1的输出功率与注入电流的关系的图表。图25中示出了测量阶段的温度(Tc)为25℃,Al组分比X1以及X2为0.85的情况下的关系由实线表示。在图25中作为比较例还以虚线示出了Al组分比X1以及X2为0.75的半导体发光元件的输出功率与注入电流的关系。

[0130] 在本实施方式所涉及的半导体发光元件1中,由于Al组分比X1以及X2比0.8大,因此能够降低P型包覆层40的平均折射率。据此,由于能够使活性层30与P型包覆层40的平均折射率差增大,因此能够提高将光限制在活性层30附近的效果。据此如图25所示,在本实施方式所涉及的半导体发光元件1中,与比较例的半导体发光元件相比能够使最大输出功率提高3.5W左右。

[0131] 并且,在本实施方式所涉及的半导体发光元件1中,第一蚀刻停止层43的Al组分比在0.7以下。如第一包覆层42那样,在Al组分比X1比0.8大的情况下容易氧化,通过蚀刻等中使用的药液则容易侵蚀。然而,通过在第一包覆层42上配置Al组分比为0.7以下的第一蚀刻停止层43,从而能够将蚀刻停止在第一蚀刻停止层43,因此能够抑制第一包覆层42的露出。据此,能够抑制第一包覆层42的氧化以及侵蚀。

[0132] 并且在本实施方式中,下脊部Rd的平坦部Rdf的Al组分比在0.7以下。即平坦部Rdf位于第二蚀刻停止层45。据此,在平坦部Rdf能够停止蚀刻,因此能够减少Al组分比X2比0.8

大的第二包覆层44的露出。因此,能够抑制第二包覆层44的氧化以及侵蚀。

[0133] 并且在本实施方式中,第二蚀刻停止层45包括随着靠近接触层50而Al组分比减少的倾斜区域45b和45d。据此,能够抑制层叠方向上的组分急剧地变化,从而能够抑制由于带隙的急剧变化而产生的能量势垒。因此,由于能够抑制第二蚀刻停止层45中的电阻,从而能够抑制半导体发光元件1的工作电压。

[0134] 并且在本实施方式中,第二蚀刻停止层45包括相对于层叠方向位置而Al组分比不变的一个以上的恒定区域45a和45c。据此,能够提高第二蚀刻停止层45中的停止蚀刻的性能。并且,通过两个以上的倾斜区域45b和45d与一个以上的恒定区域45a和45c在层叠方向上交替地配置,从而既能够抑制第二蚀刻停止层45中的电阻,又能够提高停止蚀刻的性能。

[0135] 并且在本实施方式中,关于下脊部Rd的顶面Rdt的宽度Wdt、下脊部Rd的层叠方向中央位置Rdc上的宽度Wdc、以及、下脊部Rd的底面Rdb的宽度Wdb,Wdt＞Wdc以及Wdb＞Wdc的关系成立。据此,在下脊部Rd中能够使电流狭窄。

[0136] 并且在本实施方式中,上脊部Ru的顶面Rut的宽度Wut比上脊部Ru的底面Rub的宽度Wub小。据此,能够使上脊部Ru的侧面Rus倾斜,从而能够提高侧面Rus与绝缘膜60的紧密性。

[0137] 并且在本实施方式中,脊部R的光的传播方向上的端部之中离半导体发光元件1的光射出的端面1F近的一方的端部的上表面位于第二蚀刻停止层45。在离脊部R的端面1F近的一方的端部没有形成上脊部Ru。即在脊部R的光的传播方向上的端部之中离半导体发光元件1的光射出的端面1F近的一方的端部没有形成接触层50。据此,在将半导体发光元件1以结朝下的方式来安装到安装衬底等时,能够抑制应力被集中地施加到脊部R的端部。因此,能够抑制半导体发光元件1的端面1F附近的损伤。

[0138] 并且在本实施方式中,活性层30具有阱层34、配置在阱层34的上方的P侧势垒层35、配置在P侧势垒层35的上方的P侧引导层36、以及P侧包覆边界层37。以P侧引导层36与P侧包覆边界层37的合计厚度、下部包覆层41的厚度tpc0、第一包覆层42的厚度tpc1、以及第一蚀刻停止层43的厚度ts的和来定义的剩余厚度dc比0.5μm大。关于这种构成的效果将利用图26来说明。图26是示出本实施方式所涉及的半导体发光元件1的剩余厚度dc与出射光的水平扩散角的关系的图表。在此,水平扩散角是指各个图的X轴方向上的扩散角。如图26所示,通过使剩余厚度dc比0.5μm大,因此能够抑制出射光的水平扩散角。并且,例如在构成具备半导体发光元件1、以及配置在半导体发光元件1的端面1F附近的透镜的带透镜的发光模块的情况下,通过抑制出射光的水平扩散角,从而能够提高出射光与透镜的结合效率。

[0139] 并且在本实施方式中,脊部R以及脊部R的下方的针对光的有效折射率n0与脊部R的宽度方向上的外侧的有效折射率n1的有效折射率差ΔN在4×10^{-4}以下。关于上述的有效折射率差所产生的效果,将利用图27来进行说明。图27是示出本实施方式所涉及的半导体发光元件1的出射光的水平扩散角与有效折射率差ΔN的关系的图表。如图27所示,通过使有效折射率差ΔN在4×10^{-4}以下,从而能够将水平扩散角抑制在10.5度以下。因此,在构成上述的带有透镜的发光模块的情况下,通过抑制出射光的水平扩散角,从而能够提高出射光与透镜的结合效率。

[0140] 并且在本实施方式中,关于下部包覆层41的厚度tpc0、第一包覆层42的厚度tpc1、第一蚀刻停止层43的厚度ts1,ts1≤tpc0＜tpc1的关系成立。这样,通过增加比第一包覆层

42折射率高的下部包覆层41的厚度,从而能够抑制光从第一包覆层42向比第一包覆层42的折射率高的第一蚀刻停止层43的泄漏。并且,通过减小电阻比较大的第一蚀刻停止层43的厚度ts1,从而能够抑制半导体发光元件1的工作电压。

[0141] 并且在本实施方式中,关于N侧引导层32的厚度tng以及P侧引导层36的厚度tpg,tng＞tpg的关系成立。这样,能够使光的强度分布的峰值位置相对于阱层34而言更靠近N侧引导层32。据此,由于能够降低半导体发光元件1中的波导损耗,因此能够提高斜率效率。

[0142] 并且在本实施方式中,下翼部Gd的顶面Gdt具有翼平坦部Gdf,翼平坦部Gdf是位于下翼部Gd的侧面Gds与上翼部Gu的底面Gub之间且在光的传播方向上延伸的平坦的区域。据此,能够提高翼部G与绝缘膜60的紧密性。

[0143] [4.变形例1]

[0144] 对本实施方式的变形例1所涉及的半导体发光元件进行说明。本变形例所涉及的半导体发光元件在光的传播方向的端部附近的构成上与实施方式所涉及的半导体发光元件1不同,其他的构成相同。以下针对本变形例所涉及的半导体发光元件,以与实施方式所涉及的半导体发光元件1的不同之处为中心,利用图28至图32来进行说明。图28是示意性示出本变形例所涉及的半导体发光元件1a的全体构成的俯视图。图29至图32分别是示意性示出本变形例所涉及的半导体发光元件1a的全体构成的截面图。图29、图30以及图31分别示出了图28的XXIX-XXIX线、XXX-XXX线、以及XXXI-XXXI线处的半导体发光元件1a的截面。并且,在图32中仅示出了图28的XXXII-XXXII线处的半导体发光元件1a的截面之中包括端面1F的一部分。

[0145] 如图28以及图32所示,本变形例所涉及的半导体发光元件1a在光的传播方向的端部附近的构成上与实施方式所涉及的半导体发光元件1不同,图28至图32所示的其他的构成相同。更详细而言,本变形例所涉及的半导体发光元件1a在脊部R与端面1F之间的构成、以及脊部R与端面1R之间的构成上与实施方式所涉及的半导体发光元件1不同。

[0146] 如图32所示,在本变形例所涉及的半导体发光元件1a中,包括P型包覆层40以及接触层50的区域具有配置在半导体发光元件1a的光的传播方向的端面1F与上脊部Ru之间的且与上脊部Ru相离的隔离区域De。换而言之,如图32所示,在上脊部Ru与隔离区域De之间形成有槽部Te。在本变形例中,在槽部Te中去除了接触层50以及P型包覆层40的一部分(第二蚀刻停止层45的一部分)。

[0147] 在本变形例中,如图28以及图31所示,隔离区域De配置在两个翼部G之间。并且,隔离区域De与两个翼部G连接。换而言之,半导体发光元件1a的光的传播方向上的端部的接触层50的上表面在接触层50的整个宽度方向(即X轴方向)上是平坦的且是连续的。

[0148] 这样,在本变形例所涉及的半导体发光元件1a的光的传播方向上的端部中,由于是接触层50以及第二蚀刻停止层45覆盖Al组分比高的第二包覆层44等,因此能够抑制第二包覆层44等的氧化以及侵蚀。通过抑制Al组分比高的第二包覆层44的氧化以及侵蚀,从而能够提高包括这些层的半导体层叠体与绝缘膜60之间的紧密性。

[0149] 并且,半导体发光元件1a在被单片化时由于是在与光的传播方向上的端部对应的位置被劈开的,因此若接触层50与绝缘膜60的紧密性低,则会出现绝缘膜60剥离的情况。然而在本变形例所涉及的半导体发光元件1a中,如以上所述,由于能够提高与光的传播方向上的端部对应的位置的绝缘膜60与接触层50的紧密性,因此能够抑制绝缘膜60的剥离。

[0150] 并且如图32所示,从接触层50的光的传播方向上的端缘到焊盘电极73的光的传播方向上的端缘的距离D1,比隔离区域De的光的传播方向上的两端之间的距离(即隔离区域De的长度)D2小且比零大。例如,距离D1在10μm左右,距离D2在20μm以上150μm以下。距离D1只要是在对半导体发光元件1a进行单片化时的劈开位置的控制精度以上则越小越好。

[0151] [6.变形例2]

[0152] 对本实施方式的变形例2所涉及的半导体发光元件进行说明。本变形例所涉及的半导体发光元件在隔离区域De的构成上与变形例1所涉及的半导体发光元件1a不同,其他的构成相同。以下针对本变形例所涉及的半导体发光元件,以与变形例1所涉及的半导体发光元件1a的不同之处为中心,利用图33至图36来说明。图33是示意性示出本变形例所涉及的半导体发光元件1b的全体构成的俯视图。图34至图36分别是示意性示出本变形例所涉及的半导体发光元件1b的全体构成的截面图。在图34、图35以及图36中分别示出了图33的XXXIV-XXXIV线、XXXV-XXXV线、以及XXXVI-XXXVI线处的半导体发光元件1b的截面。

[0153] 如图33以及图36所示,本变形例所涉及的半导体发光元件1b在隔离区域De的构成上与变形例1所涉及的半导体发光元件1a不同,图34至图35所示的其他的构成相同。

[0154] 在本变形例所涉及的半导体发光元件1b中,如图33以及图36所示,隔离区域De与翼部G(上翼部Gu)没有连接。即接触层50没有由隔离区域De和翼部G连接。并且如图33所示,隔离区域De的宽度方向的端部位于与上脊部Ru的宽度方向的端部对应的位置。换而言之,隔离区域De的宽度方向的端部在X轴方向上的位置与上脊部Ru的宽度方向的端部在X轴方向上的位置相等。在此,这些位置相等的记载所表示的状态不仅限定于这些位置完全相等的状态,而且还包括实质上相等的状态。在这些位置相等的记载所表示的状态中,例如也包括这些位置的差在脊部R的宽度的10%以下的状态。

[0155] 在本变形例中也与变形例1同样,在半导体发光元件1b的光的传播方向上的端部由于没有形成焊盘电极73,因此隔离区域De的至少一部分未被焊盘电极73覆盖。因此,能够根据半导体发光元件1b的外观来确认隔离区域De的宽度方向上的端部的位置。另外在本变形例中,隔离区域De的宽度方向上的位置由于与脊部R的宽度方向上的位置对应,因此能够根据隔离区域De的宽度方向上的端部的位置来确认波导的位置,即能够根据半导体发光元件1b的外观来确认端面1F上的射出光的位置(X轴方向上的位置)。

[0156] 如以上所述,在本变形例所涉及的半导体发光元件1b中,虽然是接触层50由隔离区域De和翼部G而分离,但是P型包覆层40的第二蚀刻停止层45以及第二包覆层44没有分离。换而言之,半导体发光元件1b的光的传播方向上的端部的第二包覆层44的上表面在第二包覆层44的整个宽度方向上是平坦的且是连续的,并且由第二蚀刻停止层45覆盖。

[0157] 据此,由于第二蚀刻停止层45覆盖Al组分比高的第二包覆层44等,因此能够抑制第二包覆层44等的氧化以及侵蚀。通过抑制Al组分比高的第二包覆层44的氧化以及侵蚀,从而能够提高包括这些层的半导体层叠体与绝缘膜60之间的紧密性。据此,与变形例1所涉及的半导体发光元件1a同样,能够抑制在劈开时的绝缘膜60的剥离。

[0158] (其他的变形例等)

[0159] 以上基于实施方式以及变形例对本公开所涉及的半导体发光元件进行了说明,不过本公开并非受上述的实施方式以及变形例所限。

[0160] 例如在上述的实施方式中,虽然示出了半导体发光元件1是半导体激光元件的例

子,不过半导体发光元件1并非受限于半导体激光元件。例如,半导体发光元件也可以是超辐射发光二极管。

[0161] 并且在上述的实施方式中,半导体发光元件1虽然具有两个翼部G,不过半导体发光元件1也可以仅具有一个翼部G。

[0162] 并且在上述的实施方式中,半导体发光元件1的活性层30虽然具有单量子阱结构,不过也可以具有多量子阱结构。

[0163] 并且在上述的实施方式中,半导体发光元件1的活性层30虽然在端面1F以及端面1R附近具有窗口区30w,但是半导体发光元件1也可以不具有窗口区30w。

[0164] 并且在上述的实施方式中,虽然第二蚀刻停止层45的倾斜区域45b、45d是随着靠近接触层50而Al组分比减少的区域,不过也可以是随着靠近接触层50而Al组分比增加的区域。

[0165] 并且,针对上述的实施方式以及变形例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的实施方式以及变形例中的构成要素以及功能进行任意组合而实现的形态均包括在本公开的范围内。

[0166] 产业上的可利用性

[0167] 本公开的半导体发光元件等例如作为高输出且高效的光源能够利用于激光加工用的光源中。

[0168] 附图标记说明

[0169] 1、1a、1b半导体发光元件

[0170] 1F、1R端面

[0171] 2F、2R反射膜

[0172] 3凹部

[0173] 3w缩颈部

[0174] 10衬底

[0175] 20N型包覆层

[0176] 30活性层

[0177] 30w窗口区

[0178] 31N侧包覆边界层

[0179] 32N侧引导层

[0180] 33N侧势垒层

[0181] 34阱层

[0182] 35P侧势垒层

[0183] 36P侧引导层

[0184] 37P侧包覆边界层

[0185] 40P型包覆层

[0186] 41下部包覆层

[0187] 42第一包覆层

[0188] 43第一蚀刻停止层

[0189] 44第二包覆层

[0190] 45第二蚀刻停止层

[0191] 45a、45c恒定区域

[0192] 45b、45d倾斜区域

[0193] 50接触层

[0194] 60绝缘膜

[0195] 60a开口部

[0196] 71第一P侧电极

[0197] 72第二P侧电极

[0198] 73焊盘电极

[0199] 73a檐状部

[0200] 80N侧电极

[0201] De隔离区域

[0202] G翼部

[0203] Gd下翼部

[0204] Gdb、Gub、Rdb、Rub底面

[0205] Gdf翼平坦部

[0206] Gds、Gus、Rds、Rus侧面

[0207] Gdt、Gut、Rdt、Rut顶面

[0208] Gu上翼部

[0209] R脊部

[0210] Rd下脊部

[0211] Rdc层叠方向中央位置

[0212] Rdf平坦部

[0213] Ru上脊部

[0214] T、Te槽部

[0215] Tb底部

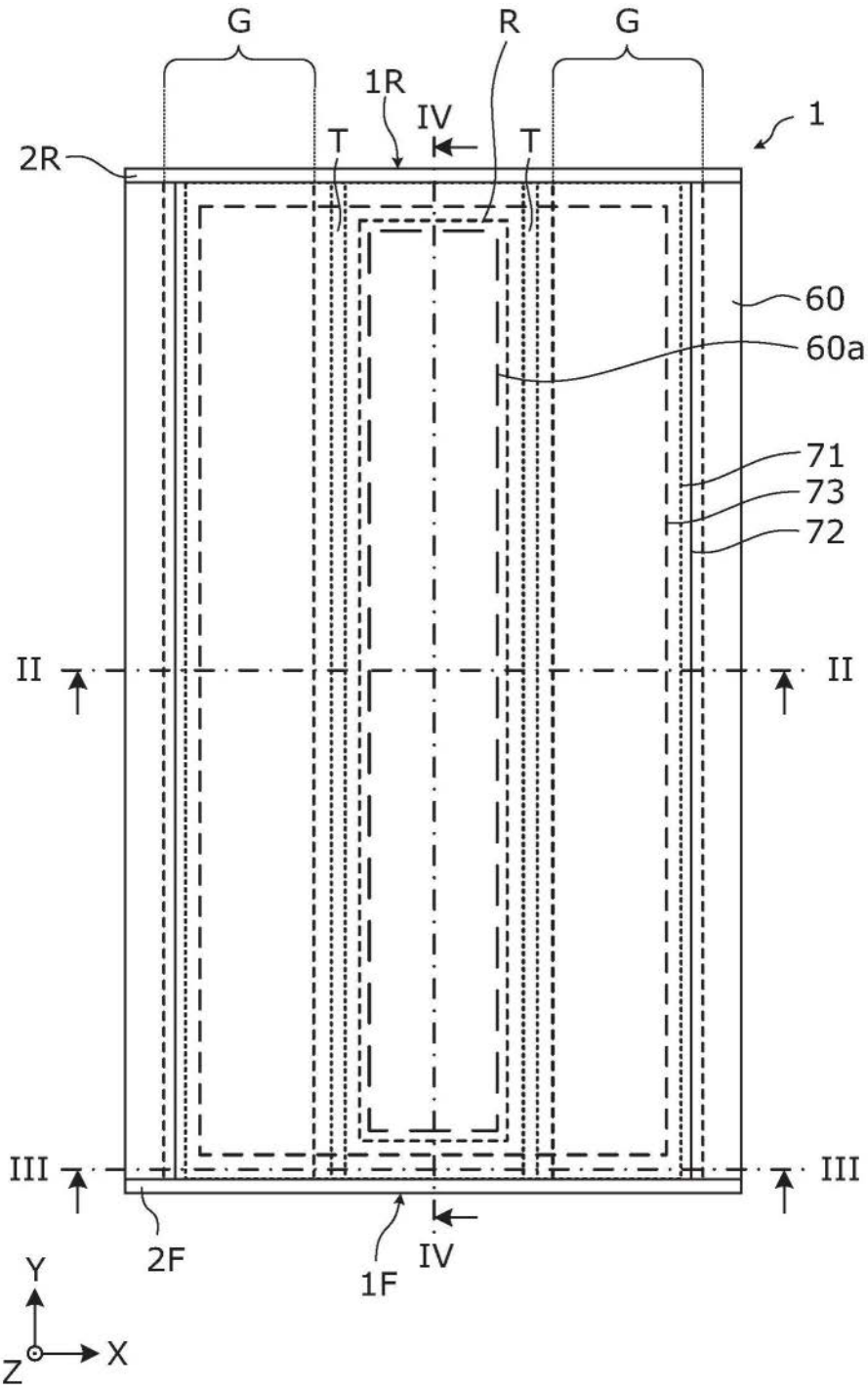


图1

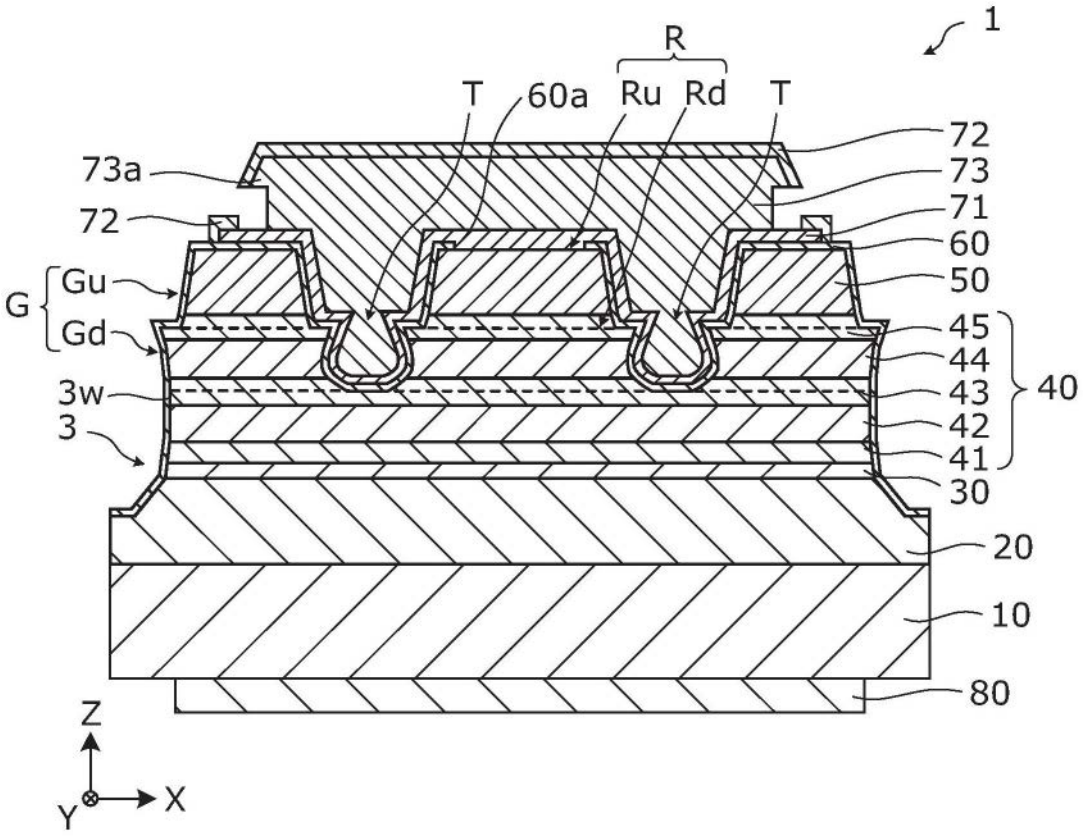

1
R
T
60a
Ru
Rd
T
72
73a
73
72
71
60
G
Gu
Gd
50
45
44
3w
43
40
3
42
41
30
20
10
80
Z
Y
X

图2

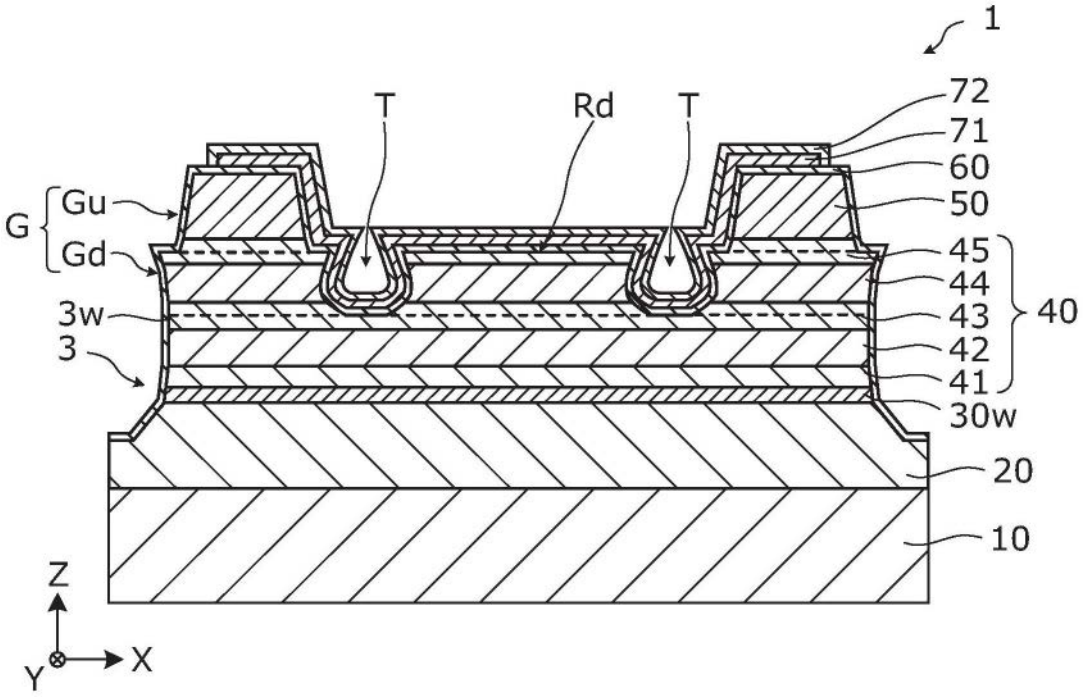

1
T
Rd
T
72
71
60
G
Gu
Gd
50
45
44
3w
43
40
3
42
41
30w
20
10
Z
Y
X

图3

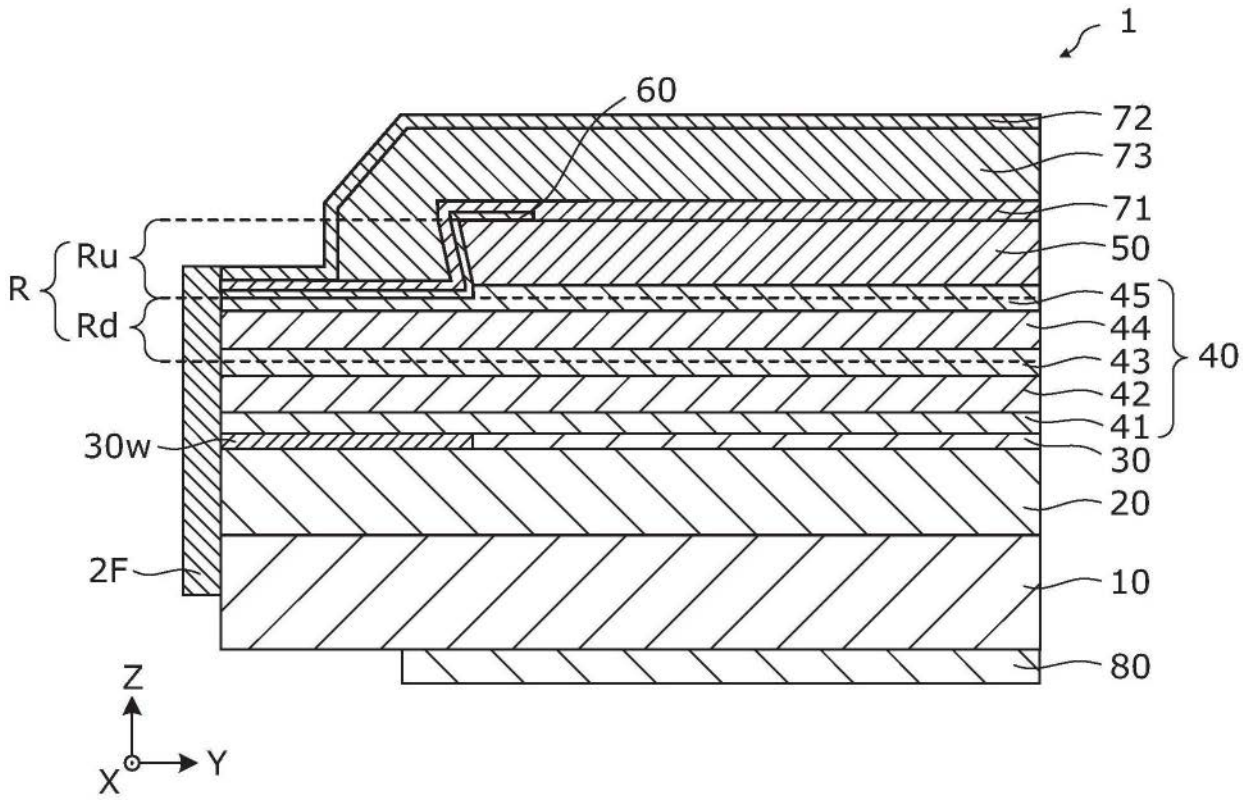

1
60
72
73
71
50
45
44
43
42
41
40
30
20
10
80
Ru
Rd
R
30w
2F
Z
X
Y

图4

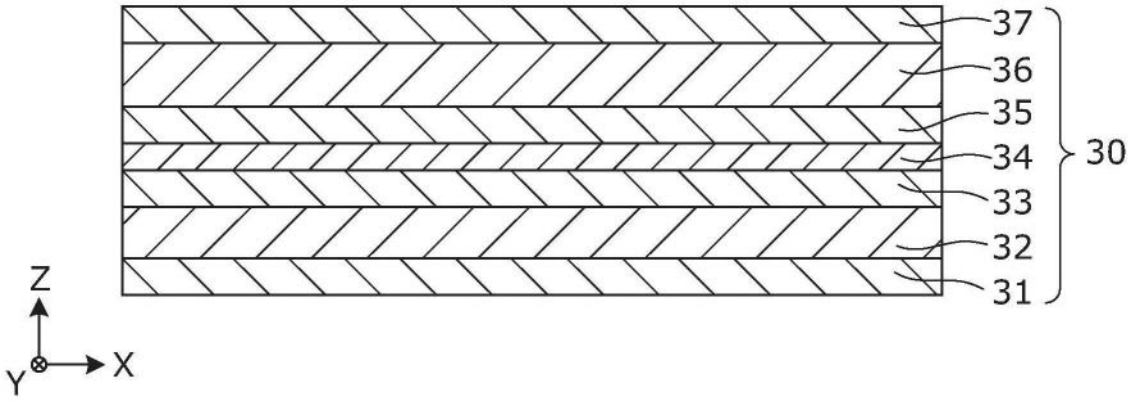

37
36
35
34
33
32
31
30
Z
Y
X

图5

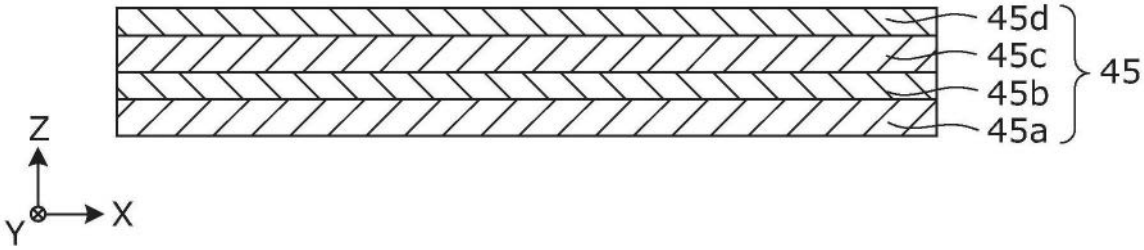

45d
45c
45b
45a
45
Z
Y
X

图6

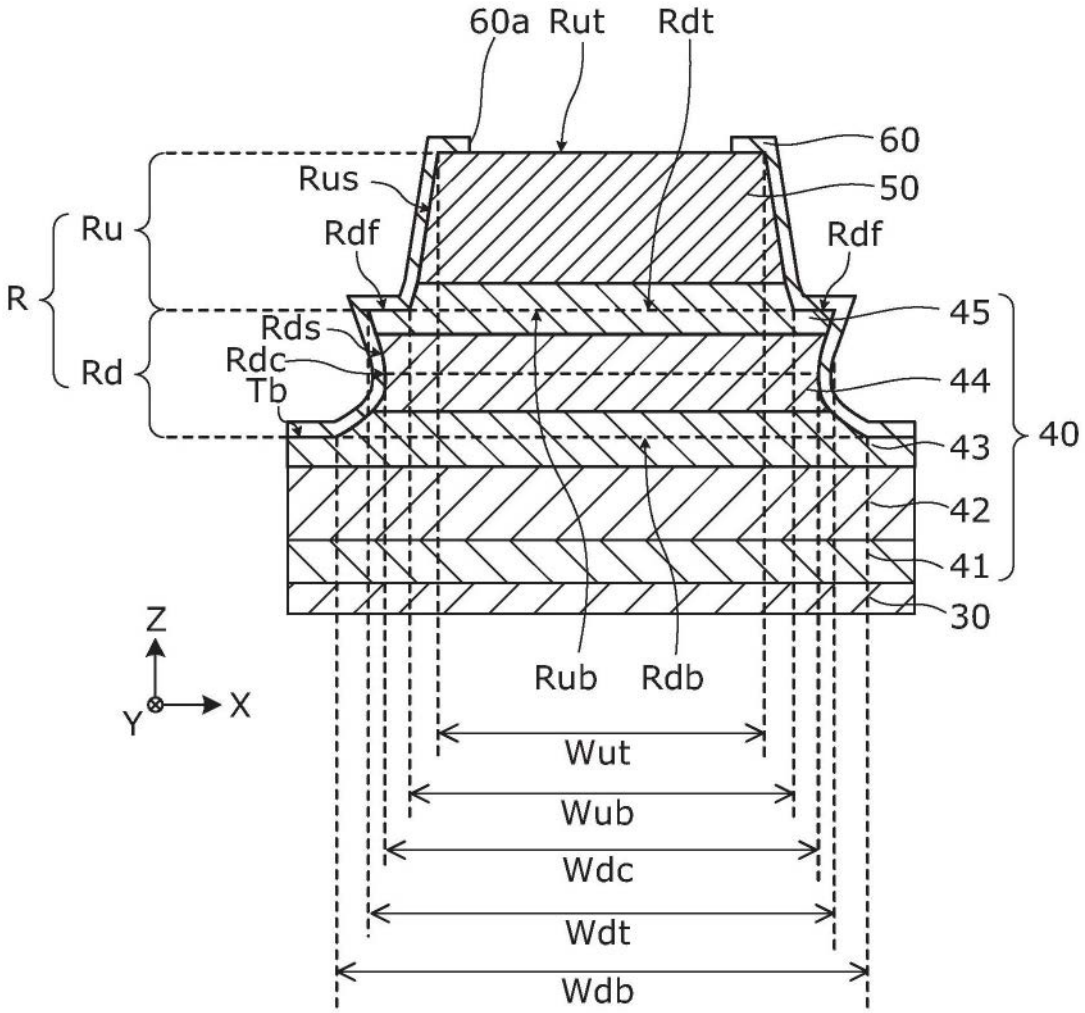

60a
Rut
Rdt
60
Rus
50
Ru
Rdf
Rdf
R
45
Rds
Rdc
Rd
Tb
44
43
40
42
41
30
Z
Y
X
Rub
Rdb
Wut
Wub
Wdc
Wdt
Wdb

图7

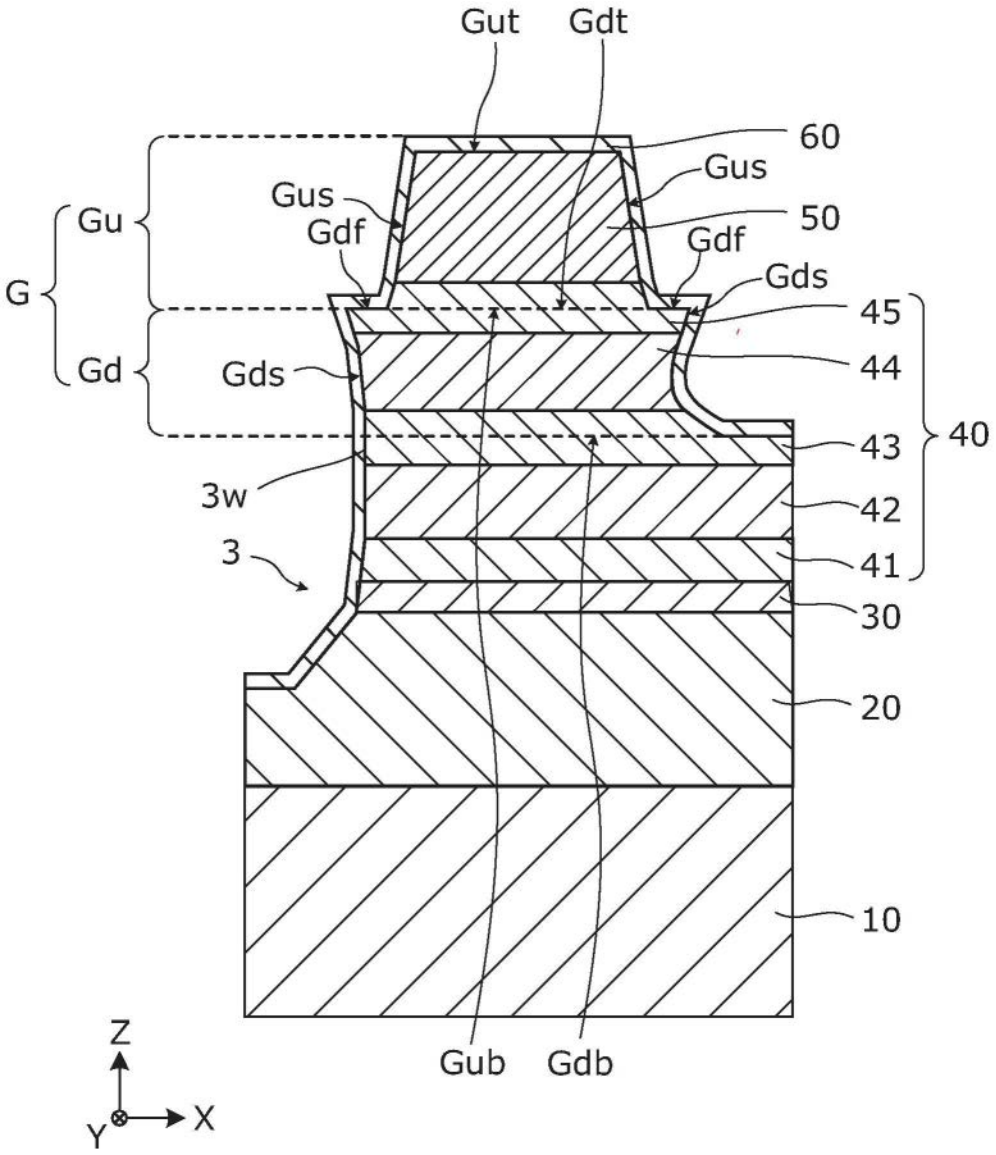

Gut
Gdt
60
Gus
Gus
50
Gu
Gdf
Gdf
G
Gds
45
Gd
Gds
44
43
40
3w
42
3
41
30
20
10
Z
Gub
Gdb
Y
X

图8

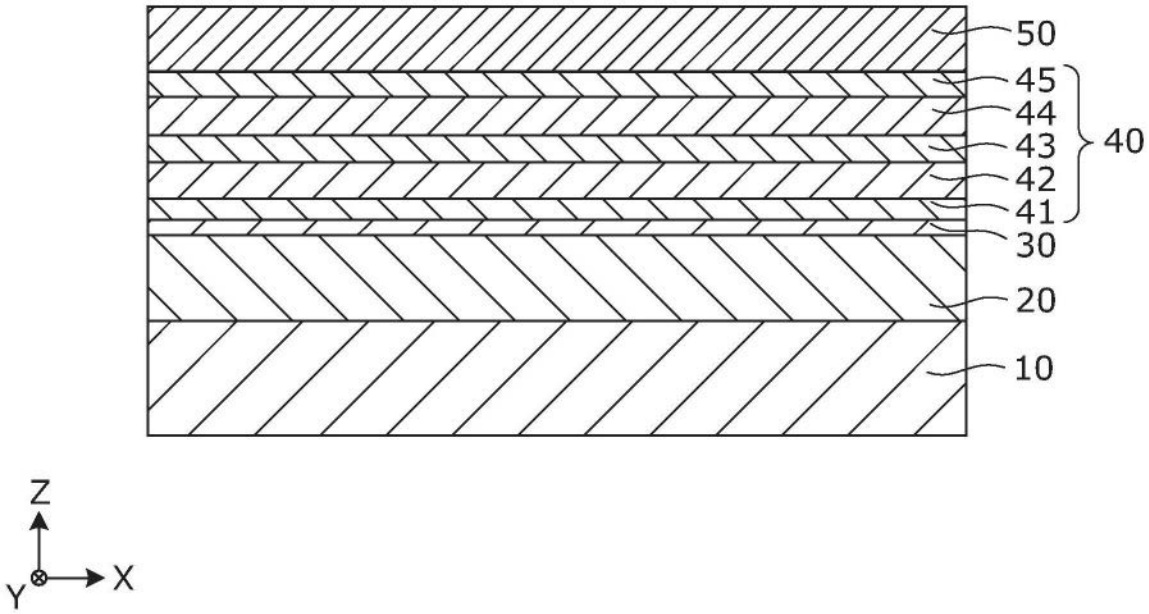


图9

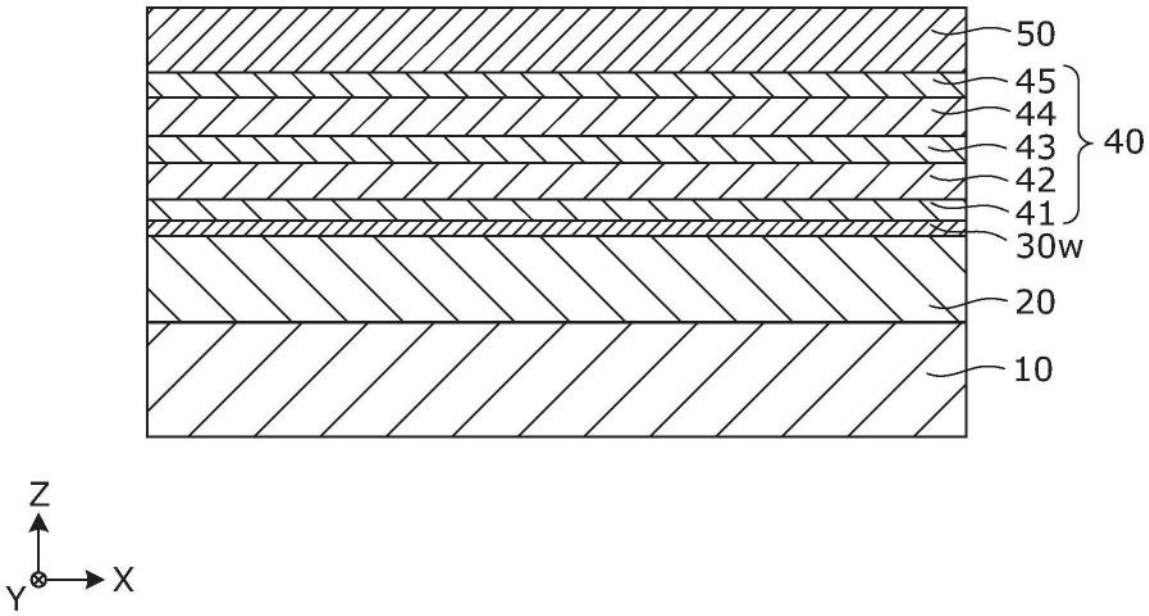


图10

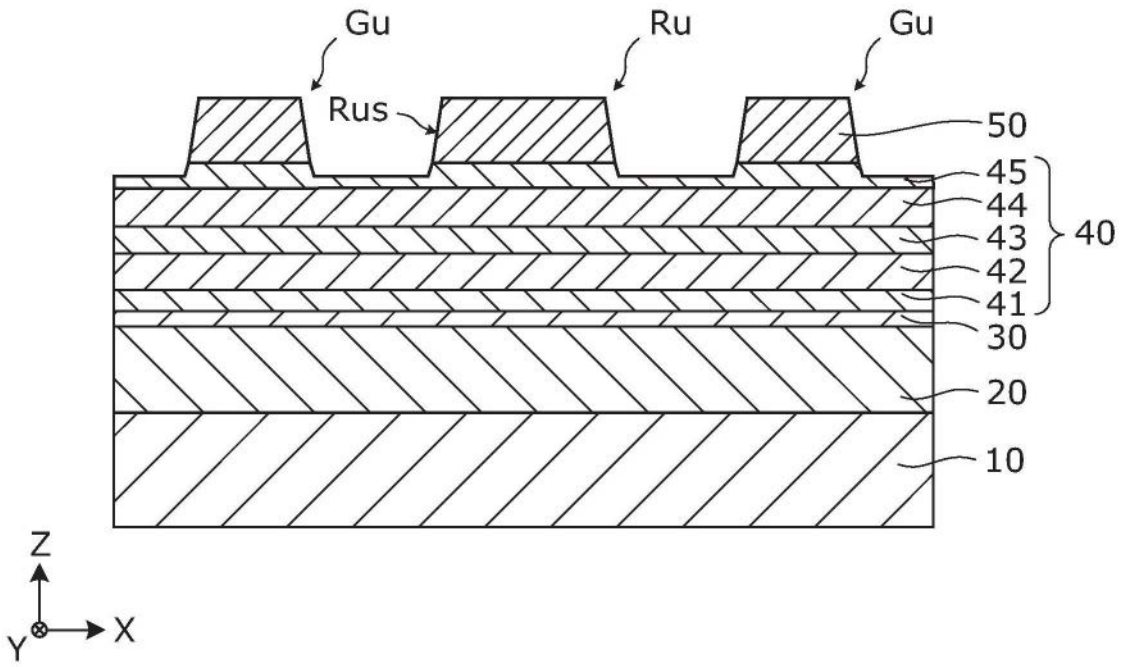

Gu
Ru
Gu
Rus
50
45
44
43
42
41
40
30
20
10
Z
Y
X

图11

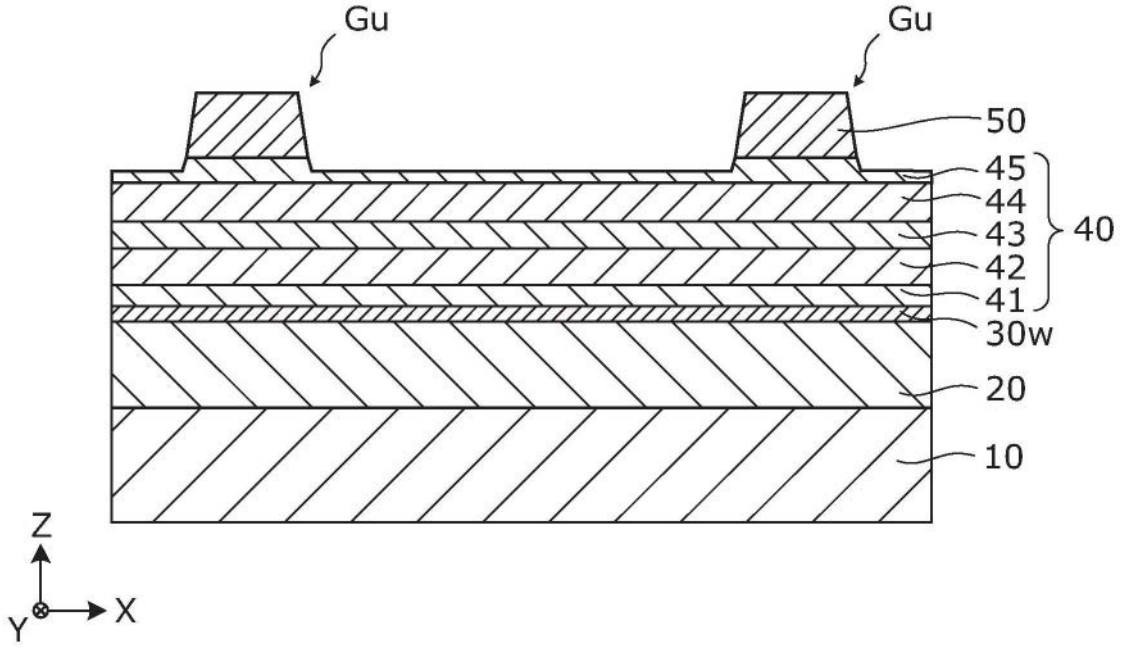

Gu
Gu
50
45
44
43
42
41
40
30w
20
10
Z
Y
X

图12

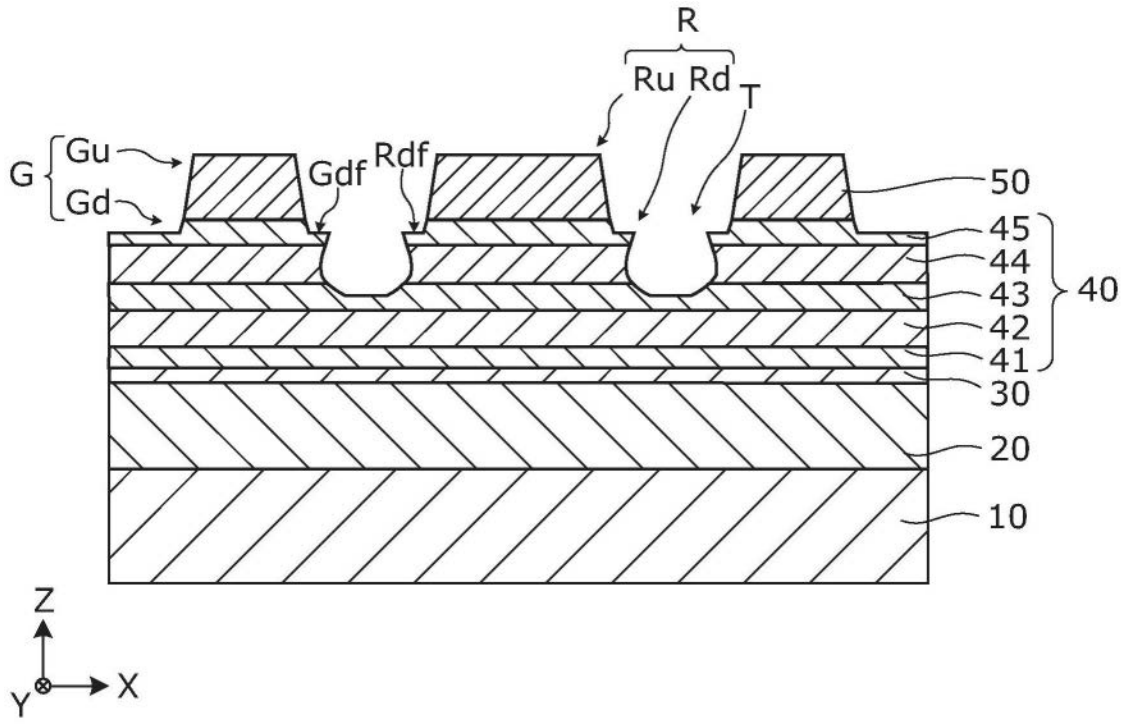

R
Ru Rd
T
G
Gu
Gd
Gdf
Rdf
50
45
44
43
42
41
40
30
20
10
Z
Y
X

图13

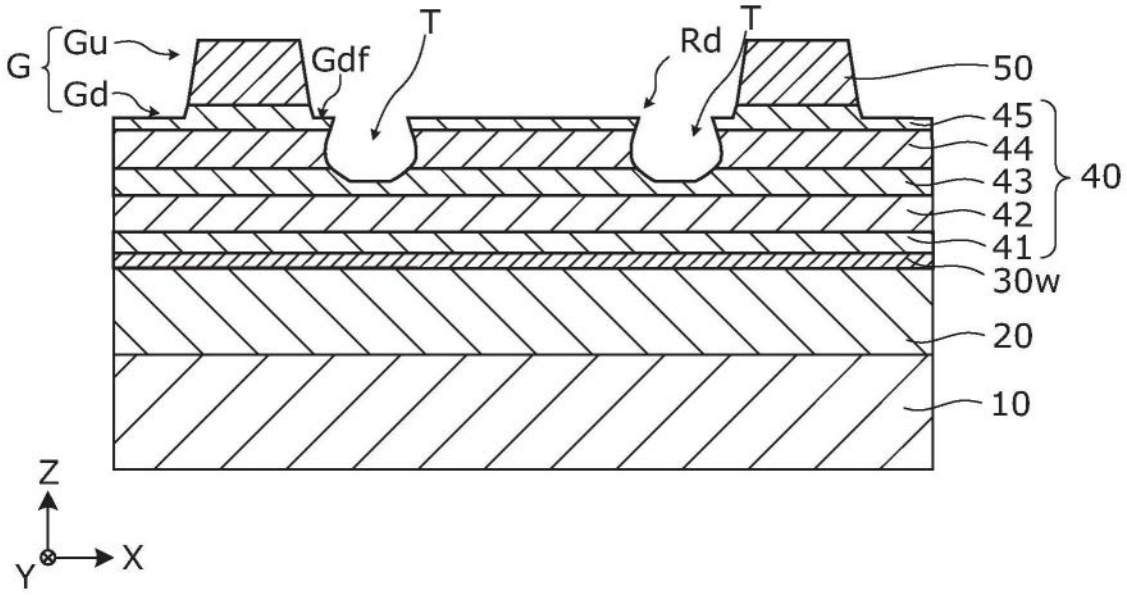

T
Rd
T
G
Gu
Gd
Gdf
50
45
44
43
42
41
40
30w
20
10
Z
Y
X

图14

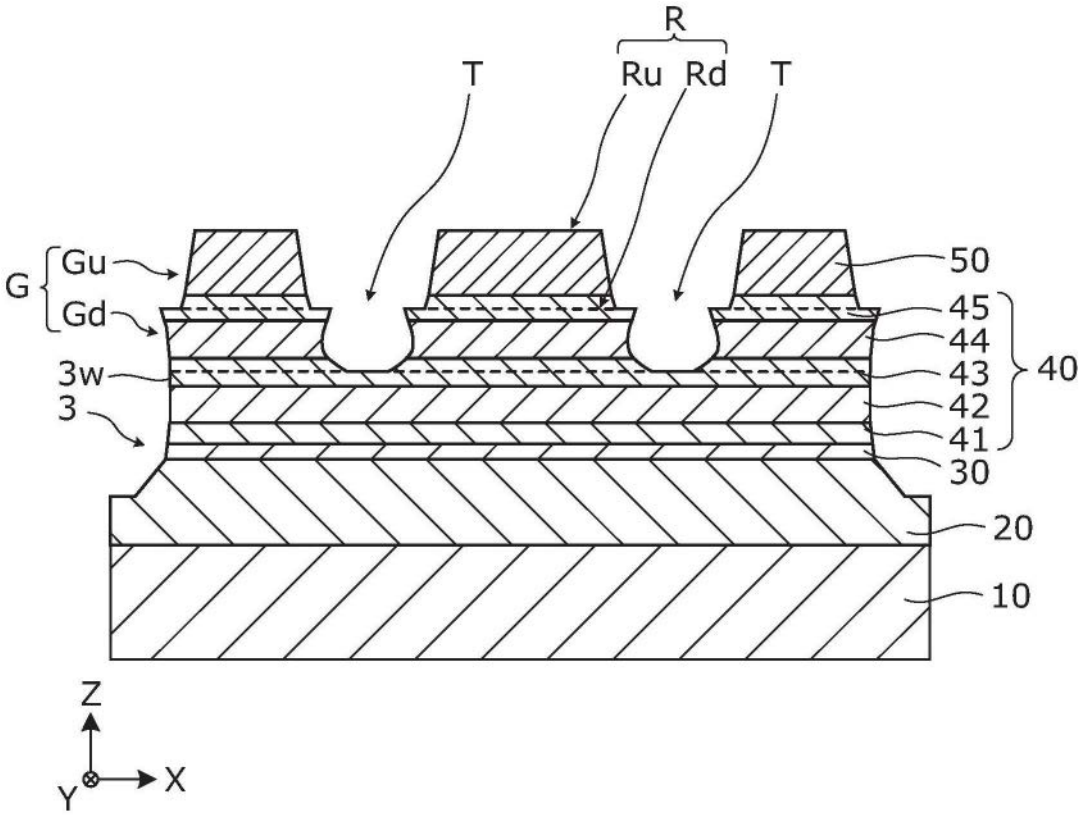

R
T
Ru
Rd
T
G
Gu
Gd
3w
3
50
45
44
43
42
41
40
30
20
10
Z
Y
X

图15

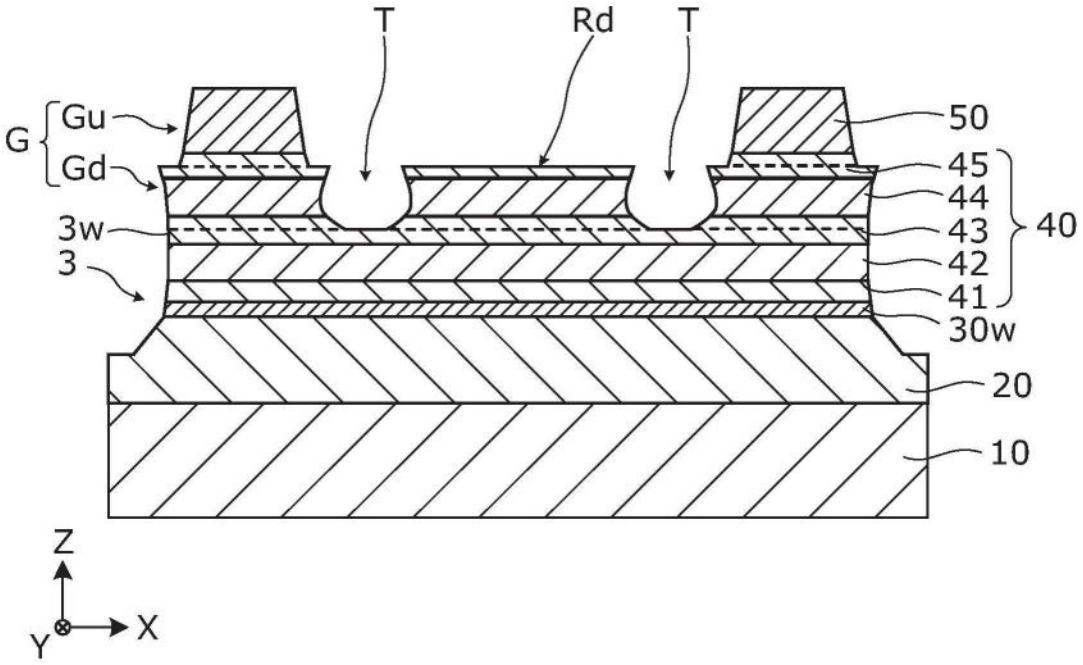

T
Rd
T
G
Gu
Gd
3w
3
50
45
44
43
42
41
40
30w
20
10
Z
Y
X

图16

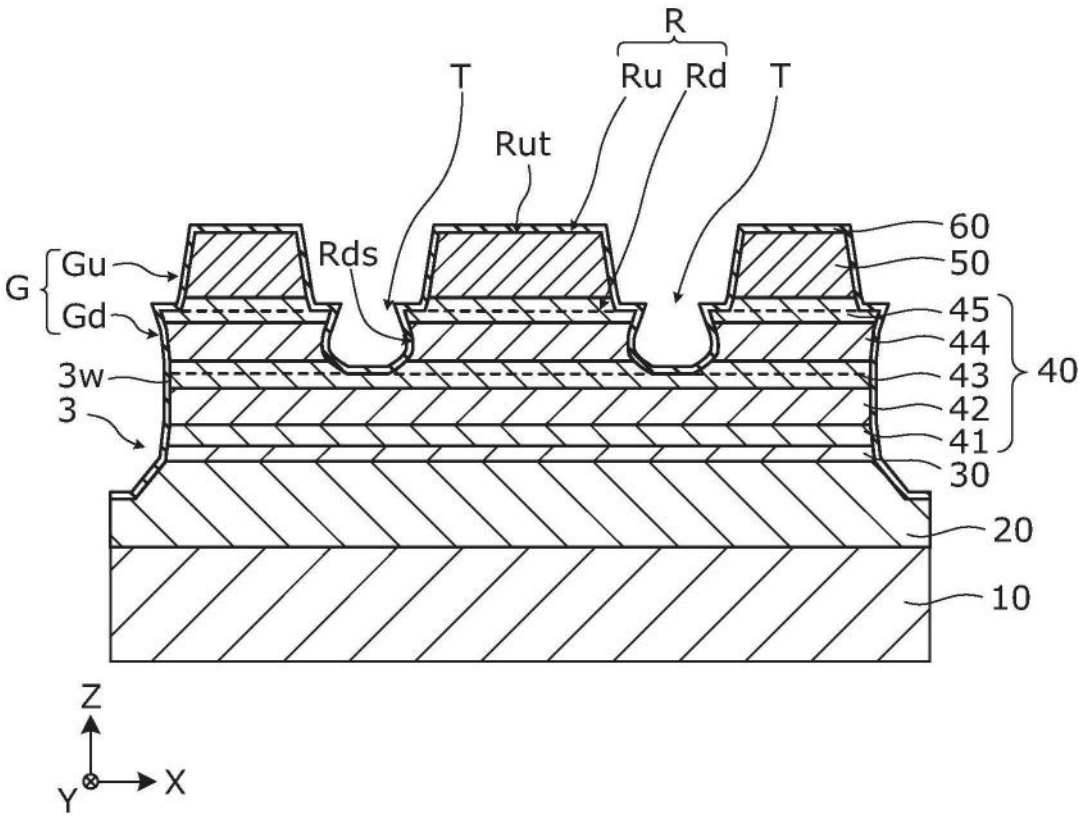

R
T
Ru
Rd
T
Rut
Rds
G
Gu
Gd
3w
3
60
50
45
44
43
42
41
40
30
20
10
Z
Y
X

图17

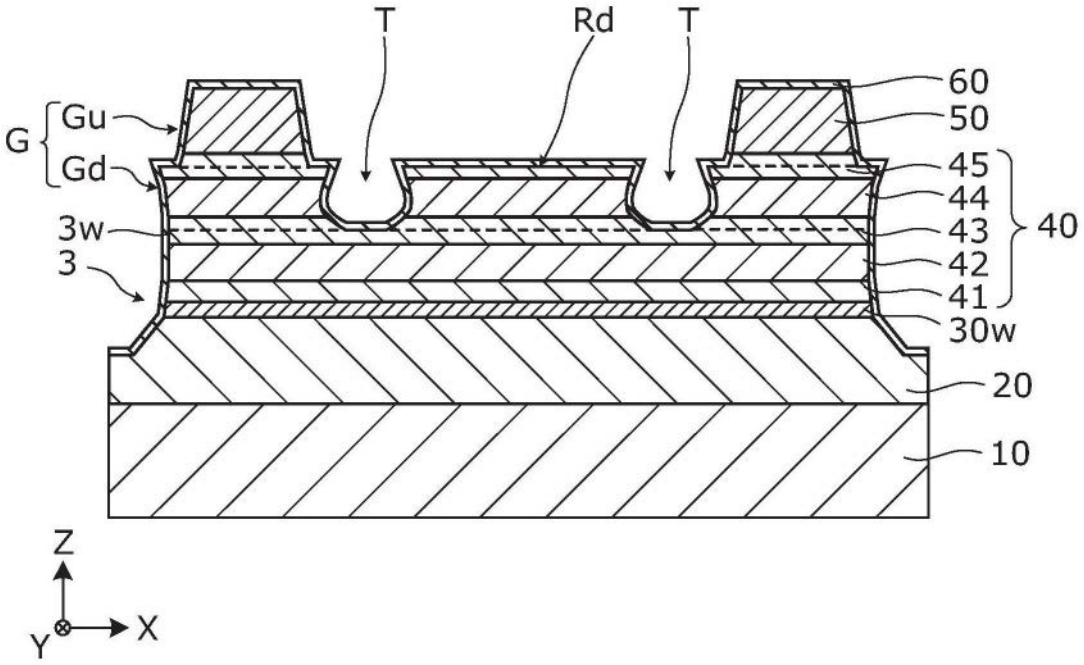

T
Rd
T
G
Gu
Gd
3w
3
60
50
45
44
43
42
41
40
30w
20
10
Z
Y
X

图18

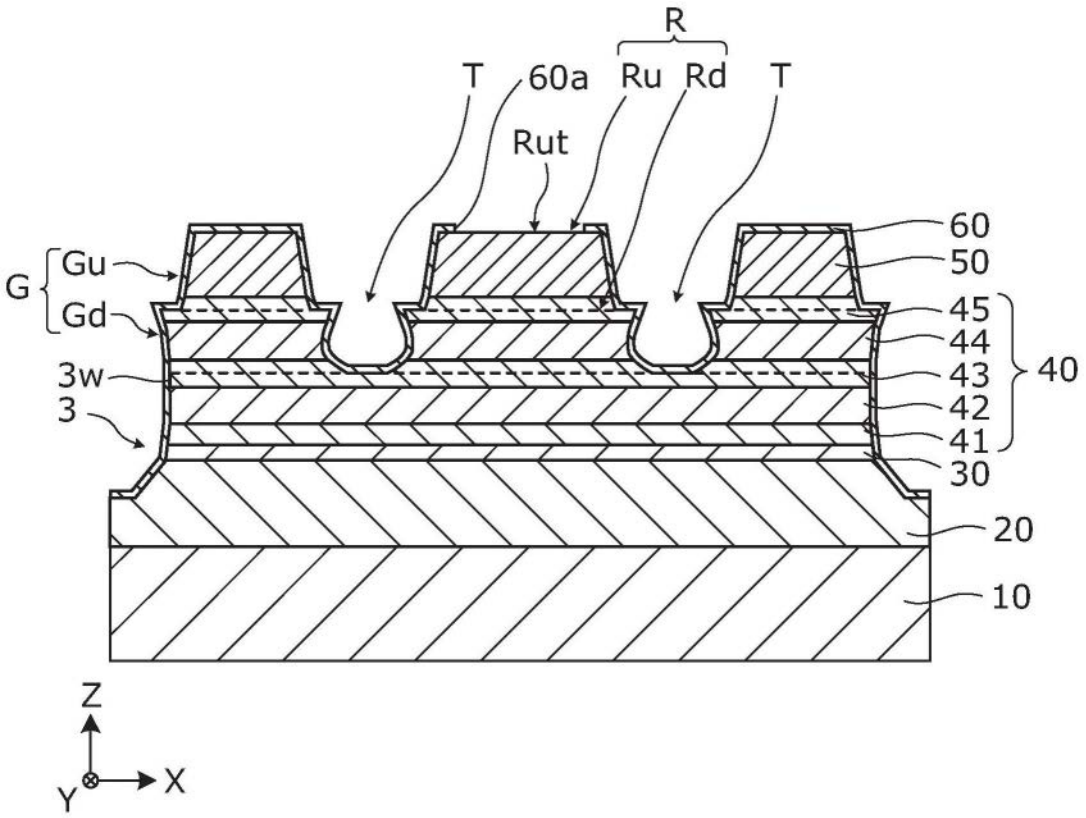


图19

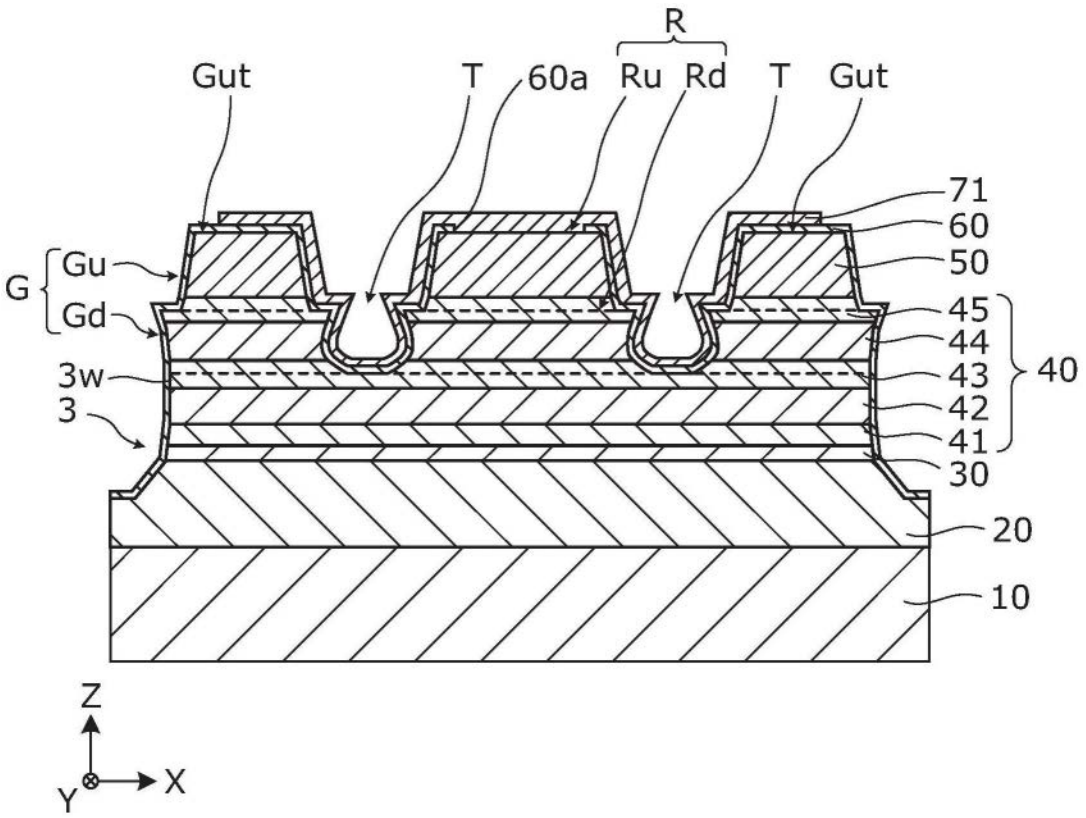

R
Gut
T
60a
Ru
Rd
T
Gut
71
60
50
G
Gu
Gd
45
44
43
42
41
40
3w
3
30
20
10
Z
Y
X

图20

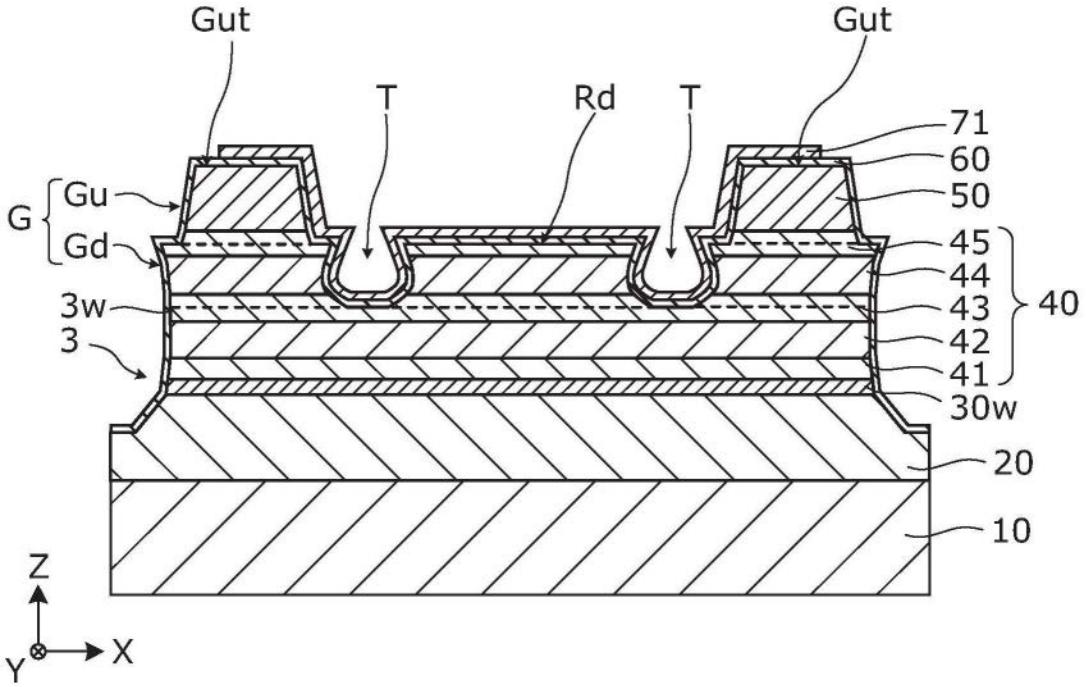

Gut
T
Rd
T
Gut
71
60
50
G
Gu
Gd
45
44
43
42
41
40
3w
3
30w
20
10
Z
Y
X

图21

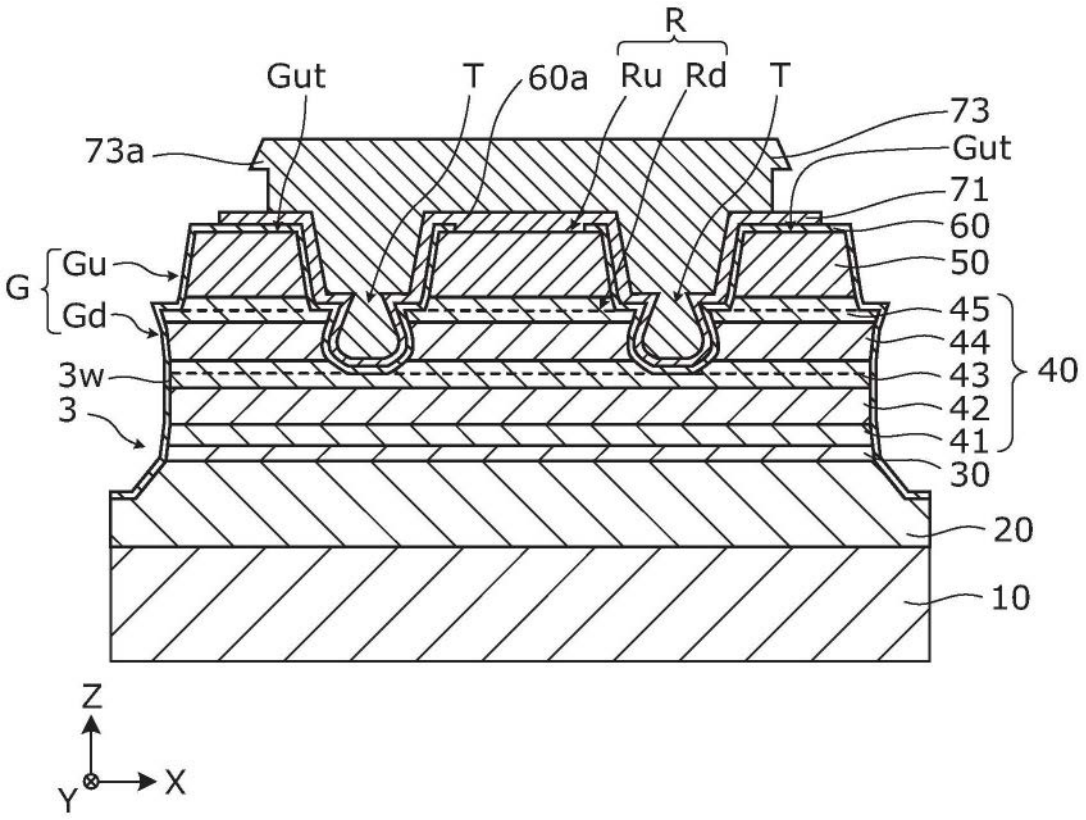

R
Gut
T
60a
Ru
Rd
T
73
73a
Gut
71
60
50
G
Gu
Gd
45
44
40
3w
43
3
42
41
30
20
10
Z
Y
X

图22

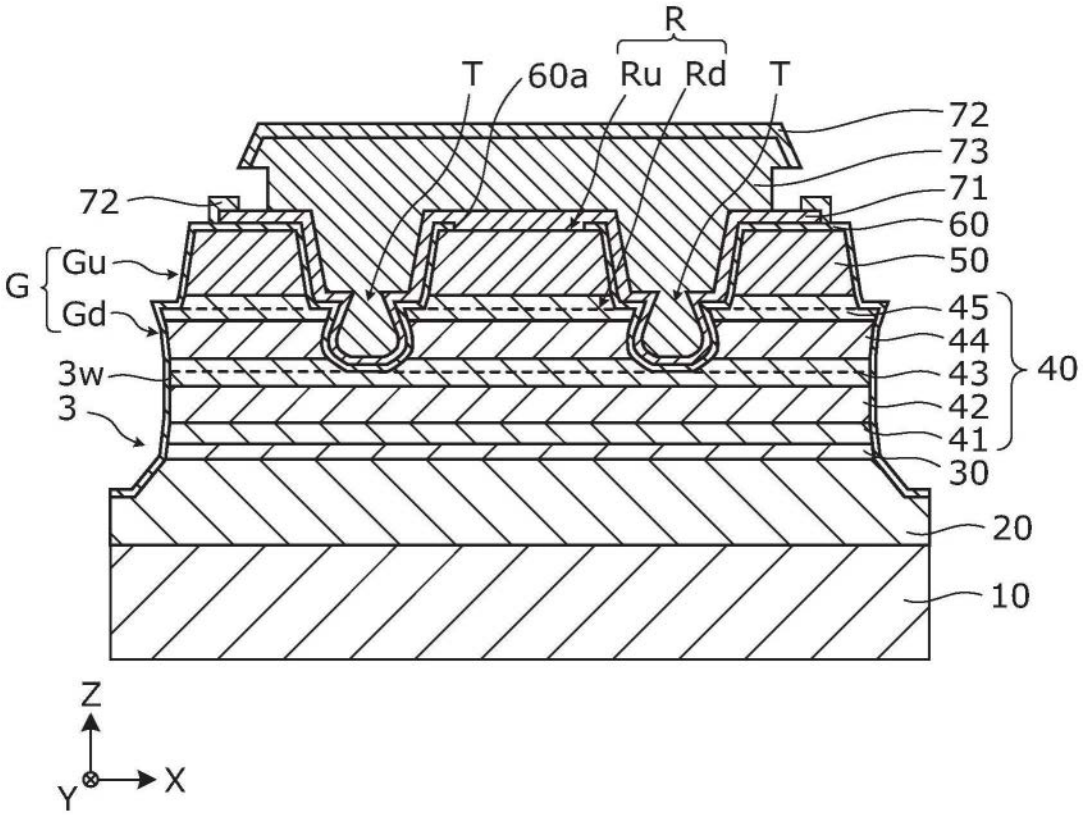

R
T
60a
Ru
Rd
T
72
73
71
60
50
72
G
Gu
Gd
45
44
43
42
41
40
3w
3
30
20
10
Z
Y
X

图23

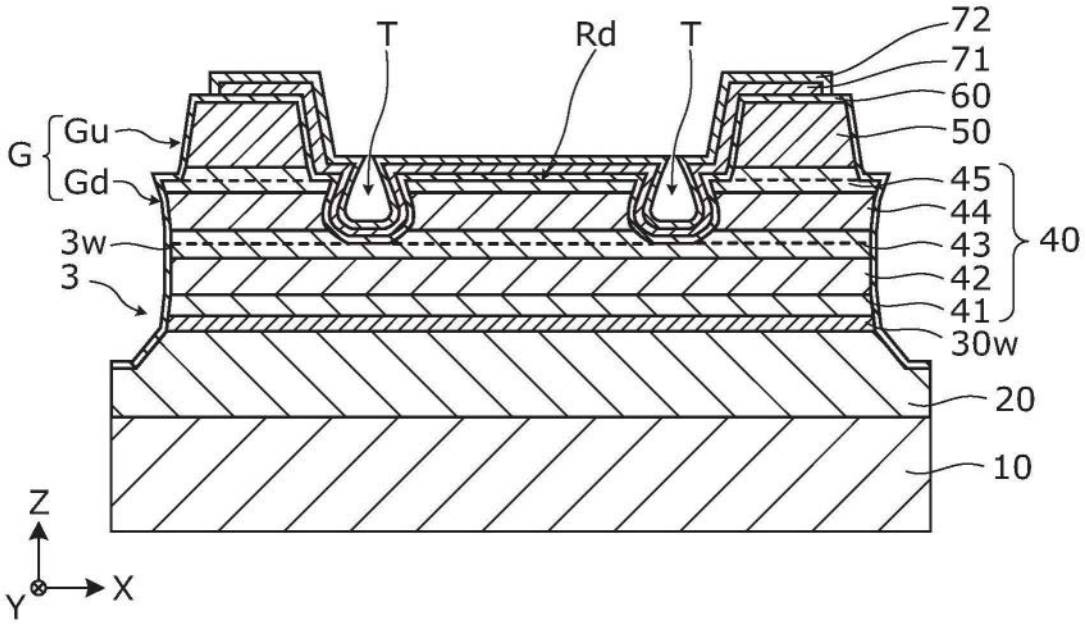

T
Rd
T
72
71
60
50
G
Gu
Gd
45
44
43
42
41
40
3w
3
30w
20
10
Z
Y
X

图24

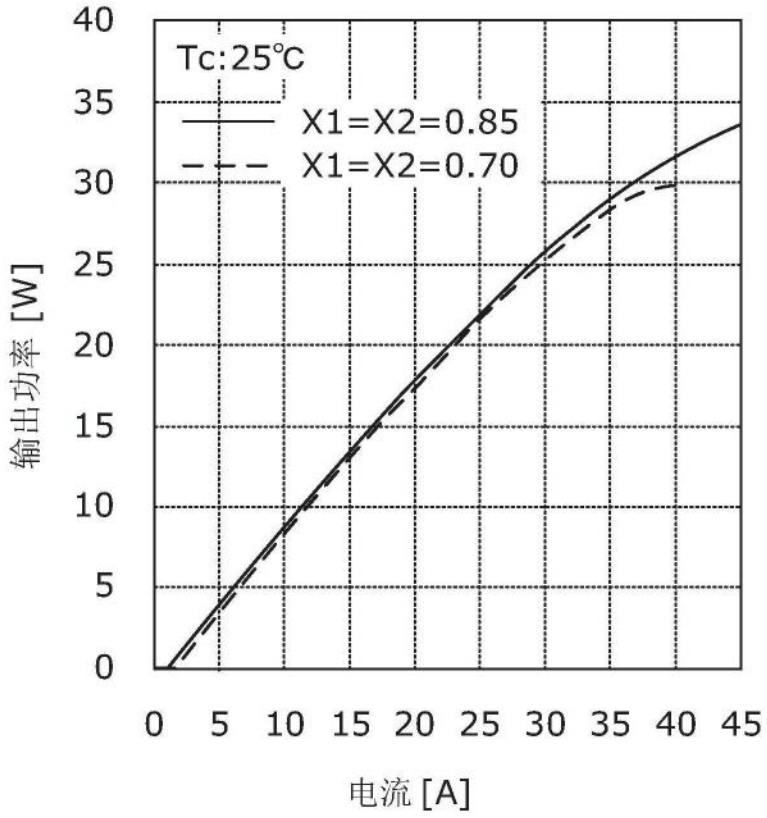

Tc:25℃
X1=X2=0.85
X1=X2=0.70
输出功率 [W]
电流 [A]
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45

图25

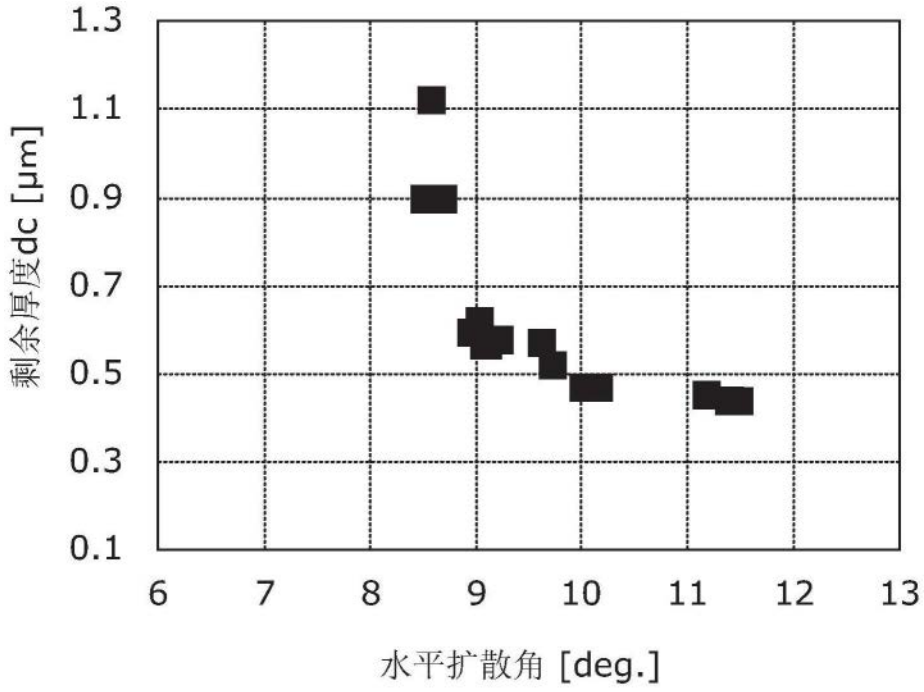

剩余厚度dc [μm]
水平扩散角 [deg.]
0.1
0.3
0.5
0.7
0.9
1.1
1.3
6
7
8
9
10
11
12
13

图26

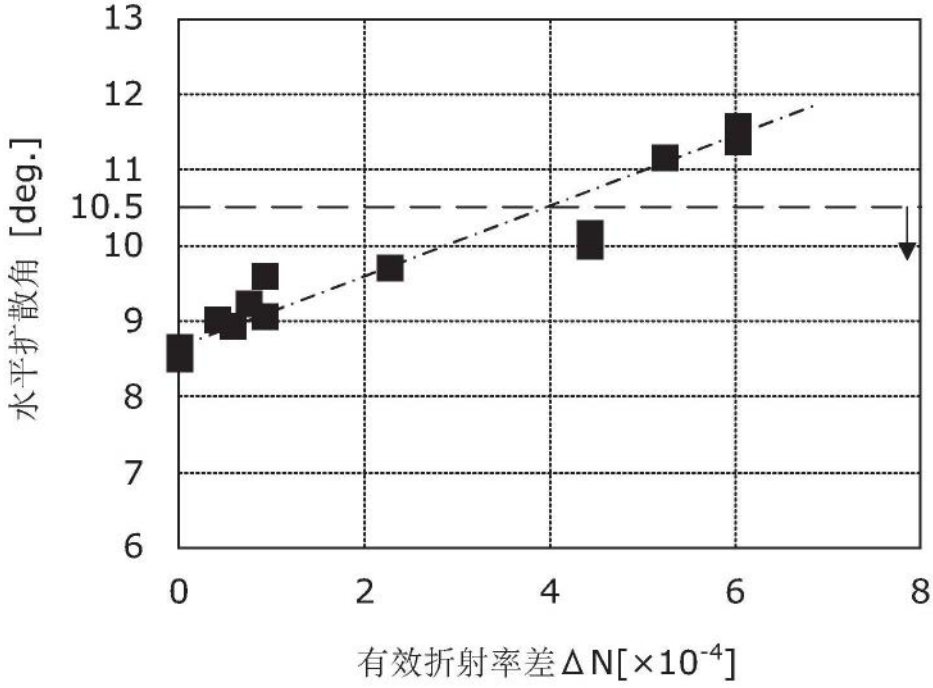


图27

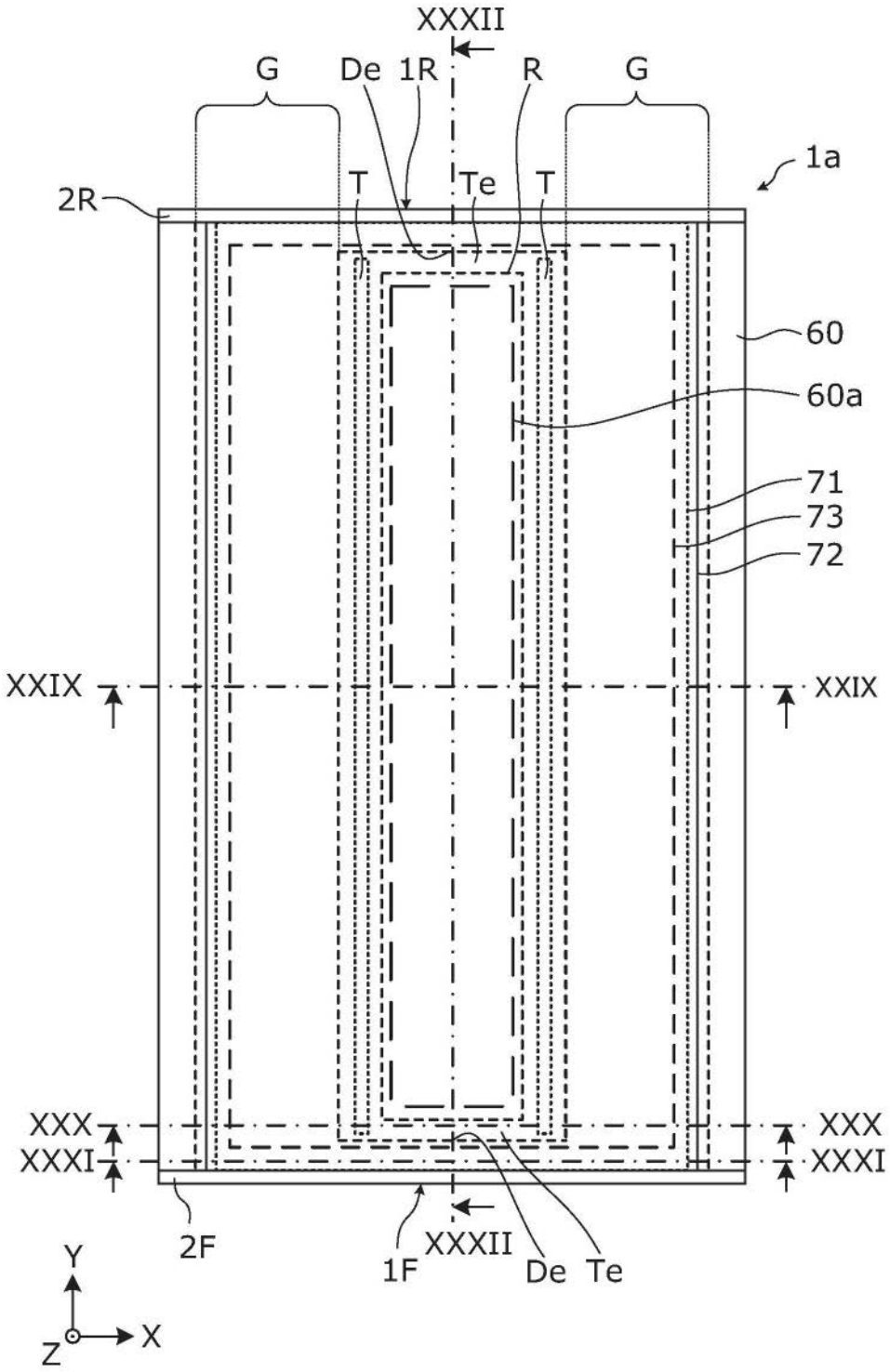

XXXII
G
De
1R
R
G
1a
2R
T
Te
T
60
60a
71
73
72
XXIX
XXIX
XXX
XXXI
XXX
XXXI
2F
1F
XXXII
De
Te
Y
X
Z

图28

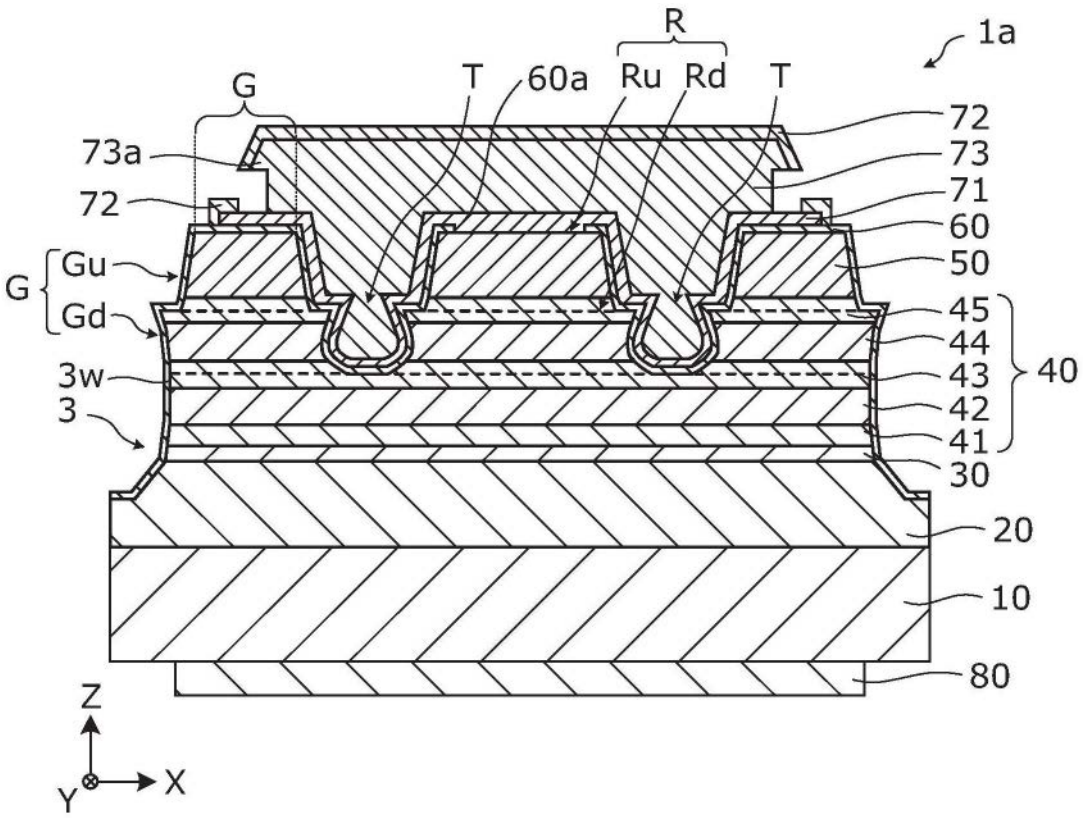

R
1a
G
T
60a
Ru
Rd
T
72
73a
73
72
71
60
G
Gu
50
Gd
45
44
3w
43
40
3
42
41
30
20
10
80
Z
Y
X

图29

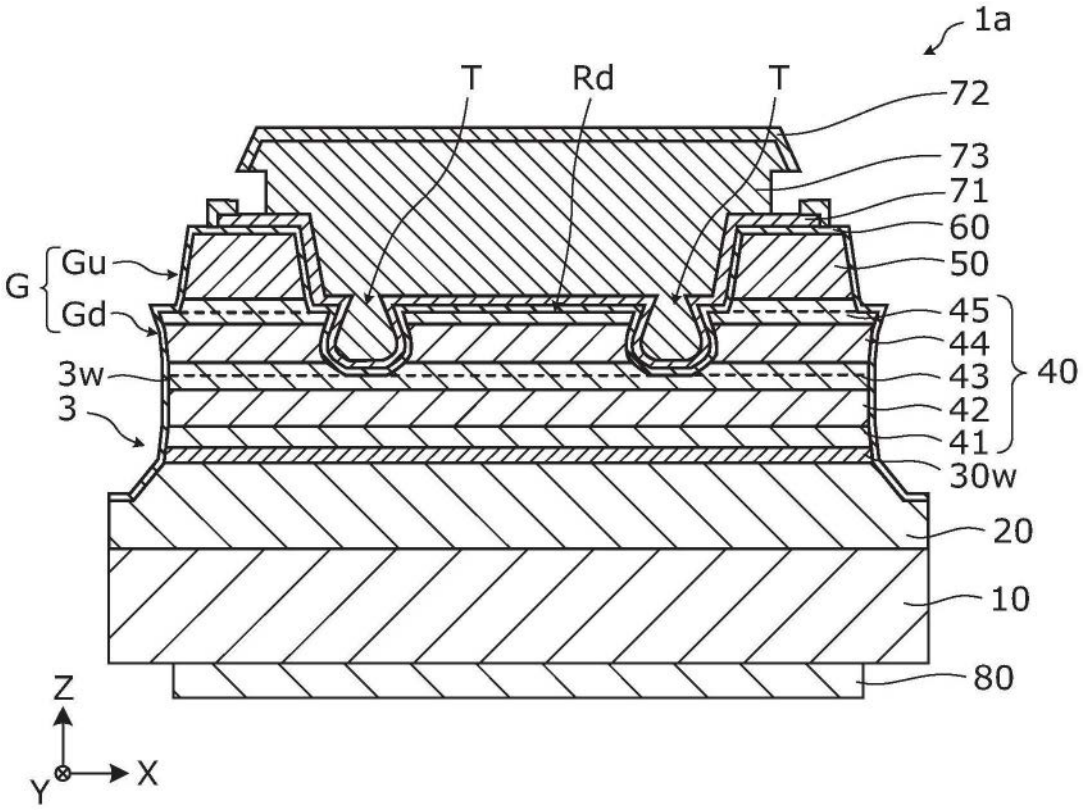

1a
T
Rd
T
72
73
71
60
50
G
Gu
Gd
45
44
43
42
41
40
3w
3
30w
20
10
80
Z
Y
X

图30

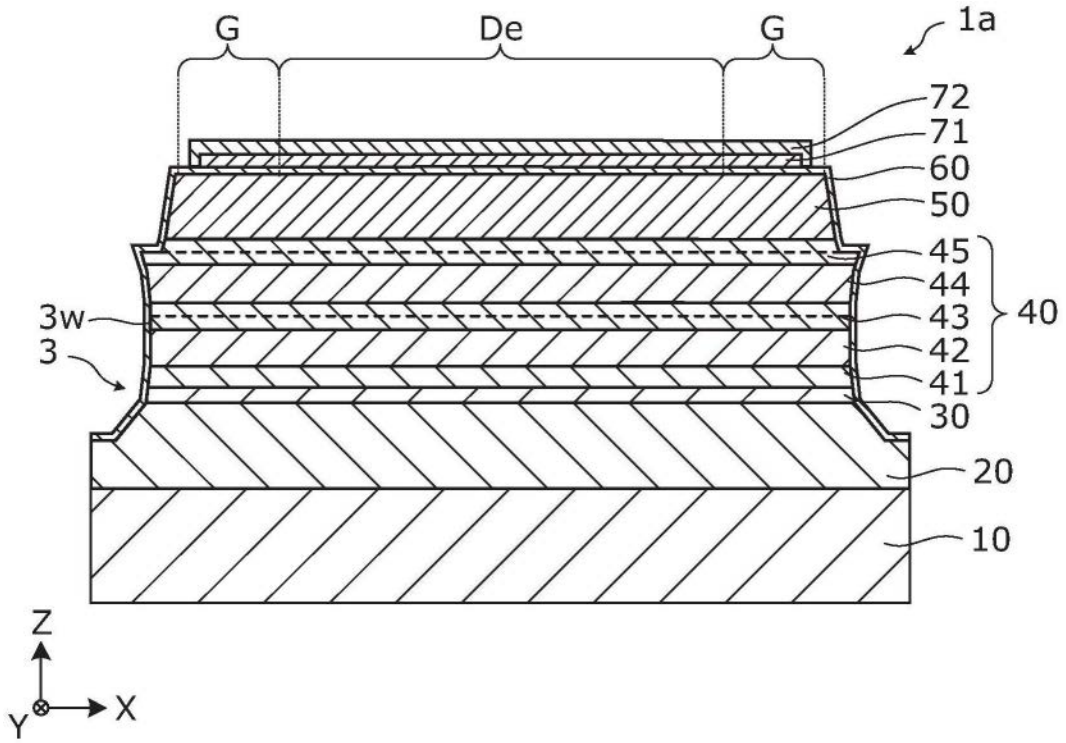

G
De
G
1a
72
71
60
50
45
44
43
42
41
40
3w
3
30
20
10
Z
Y
X

图31

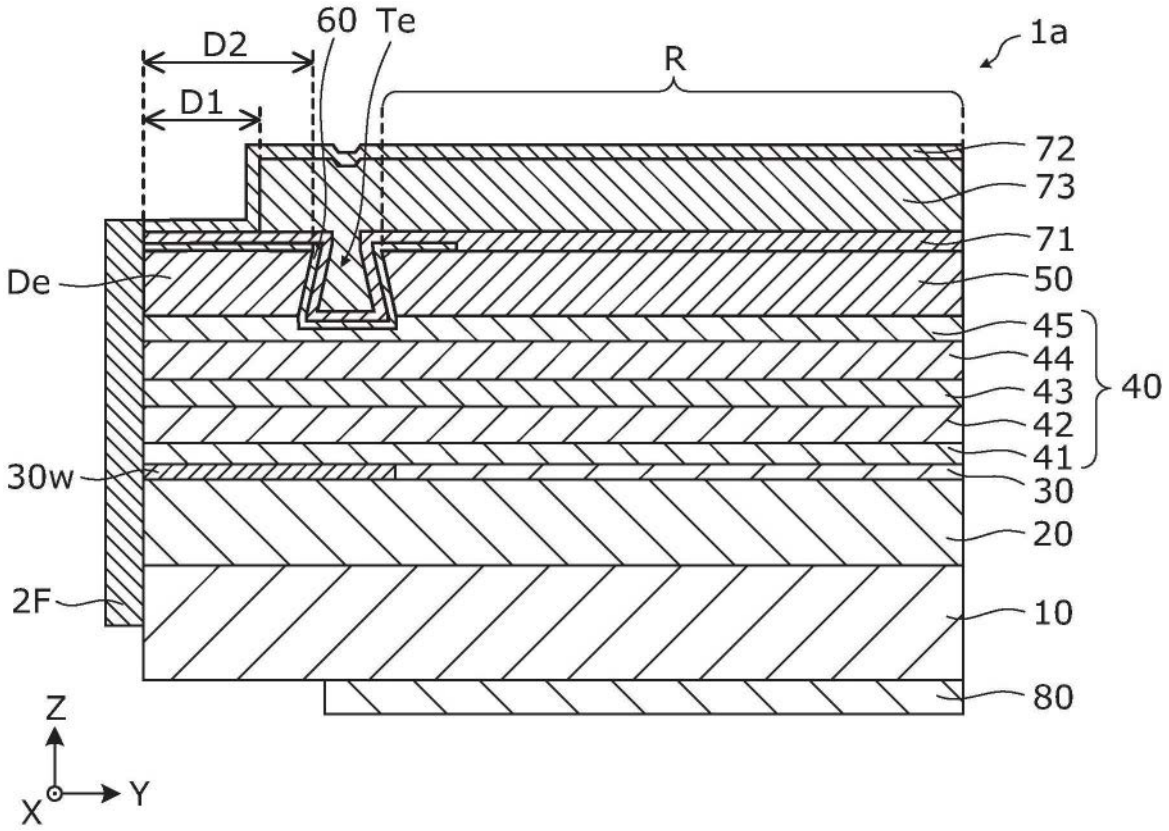


图32

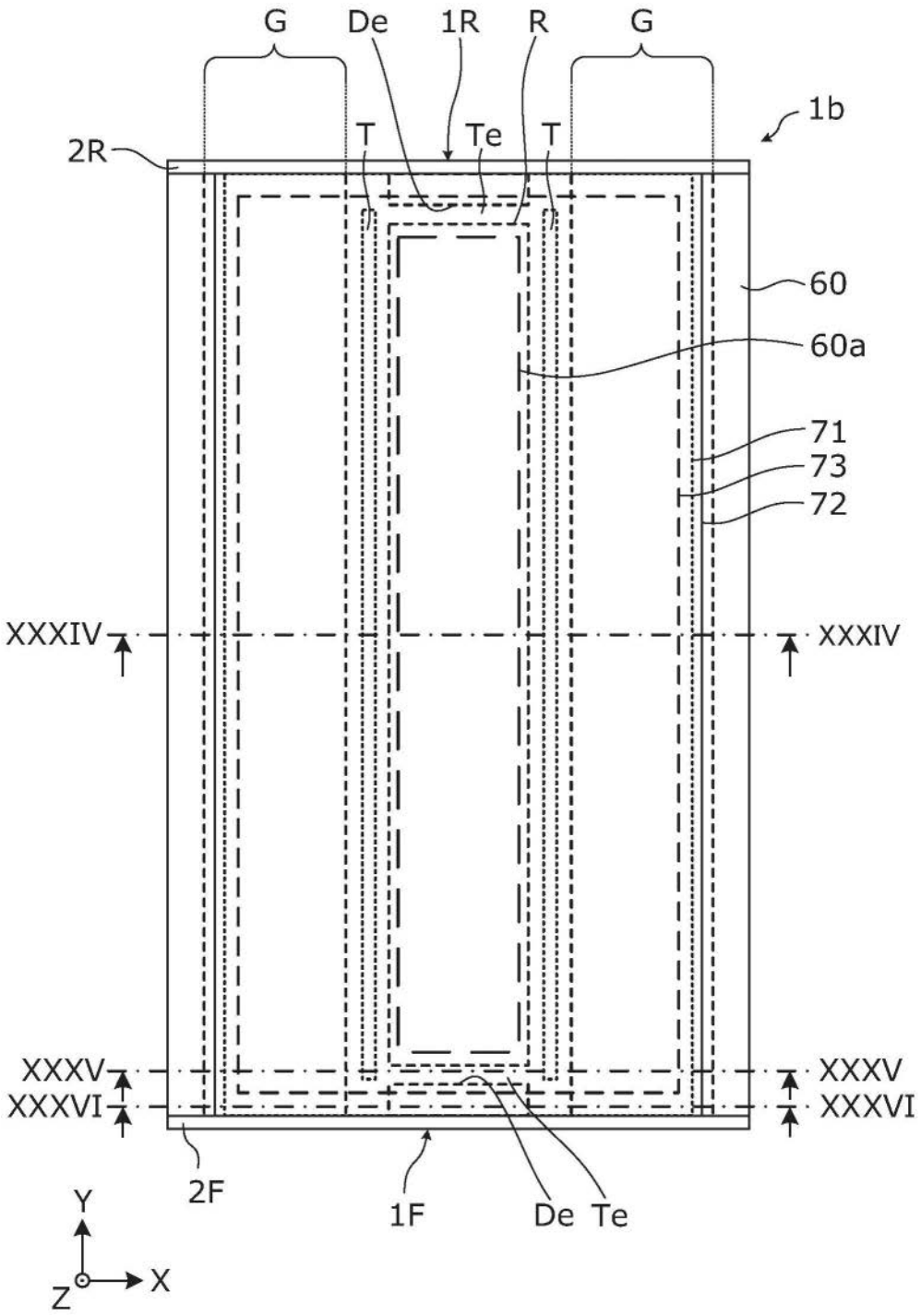

G
De
1R
R
G
1b
2R
T
Te
T
60
60a
71
73
72
XXXIV
XXXIV
XXXV
XXXVI
XXXV
XXXVI
2F
1F
De Te
Y
X
Z

图33

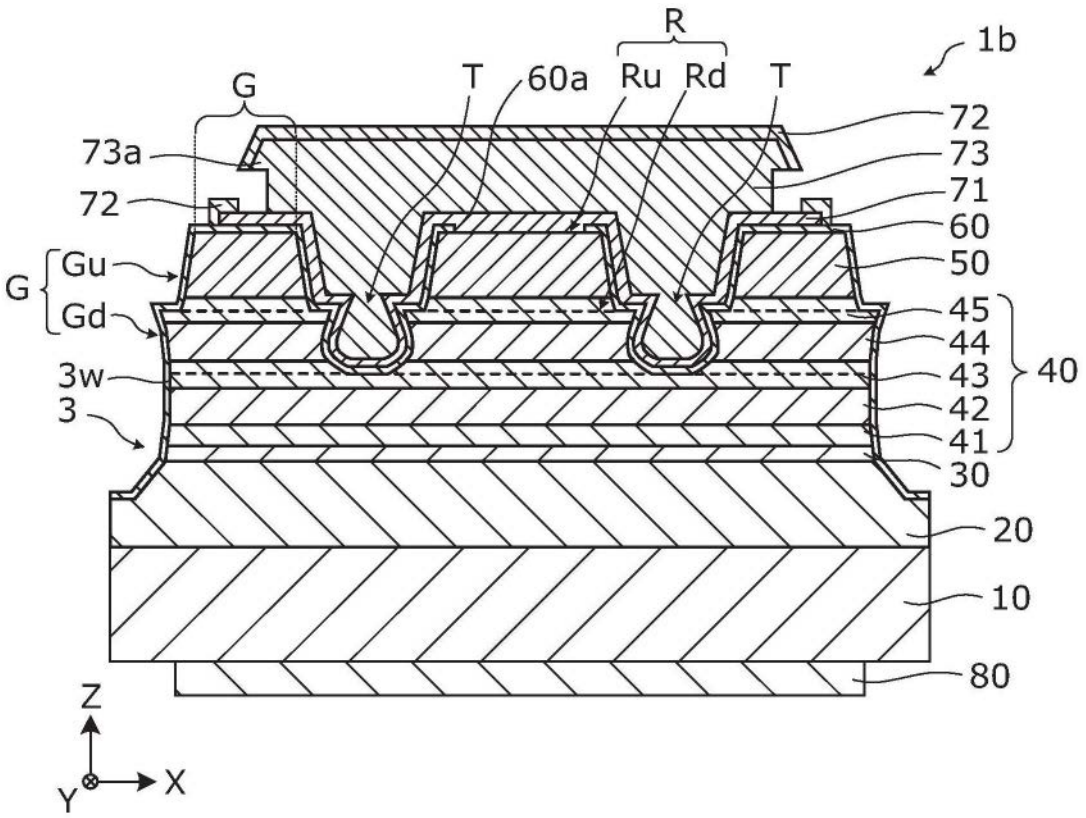

R
1b
G
T
60a
Ru
Rd
T
72
73a
73
72
71
60
G
Gu
50
Gd
45
44
3w
43
40
3
42
41
30
20
10
80
Z
Y
X

图34

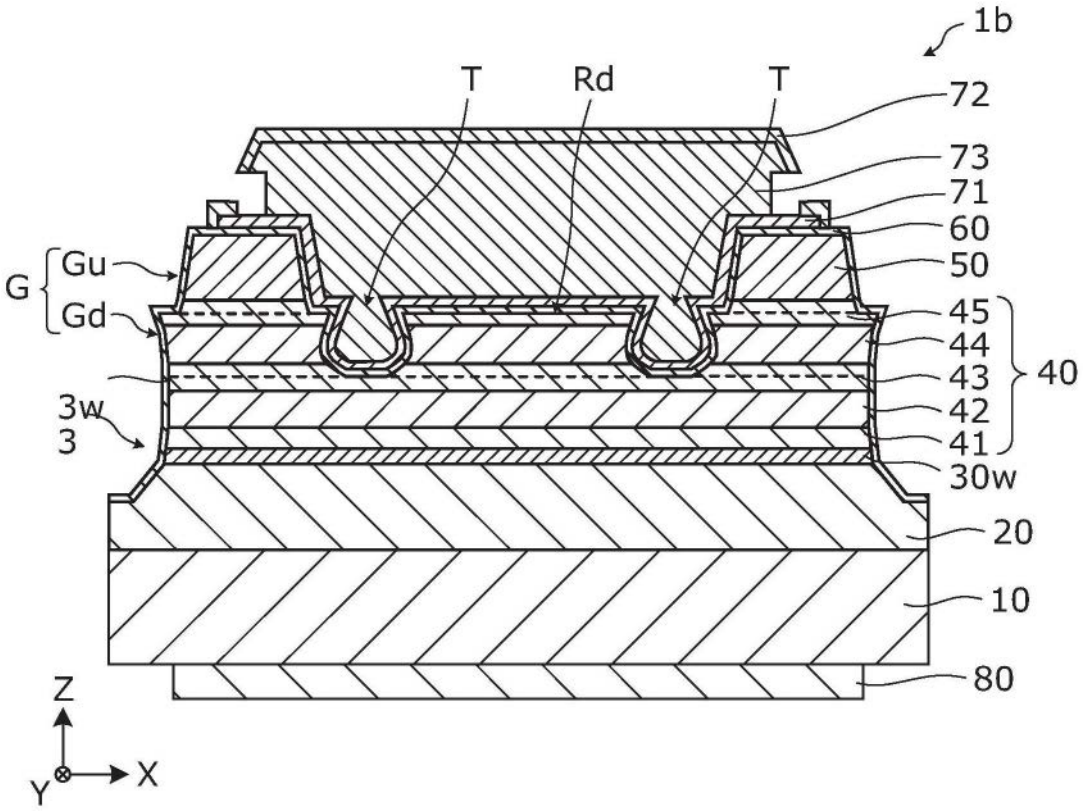

1b
T
Rd
T
72
73
71
60
50
G
Gu
Gd
45
44
43
42
41
40
3w
3
30w
20
10
80
Z
Y
X

图35

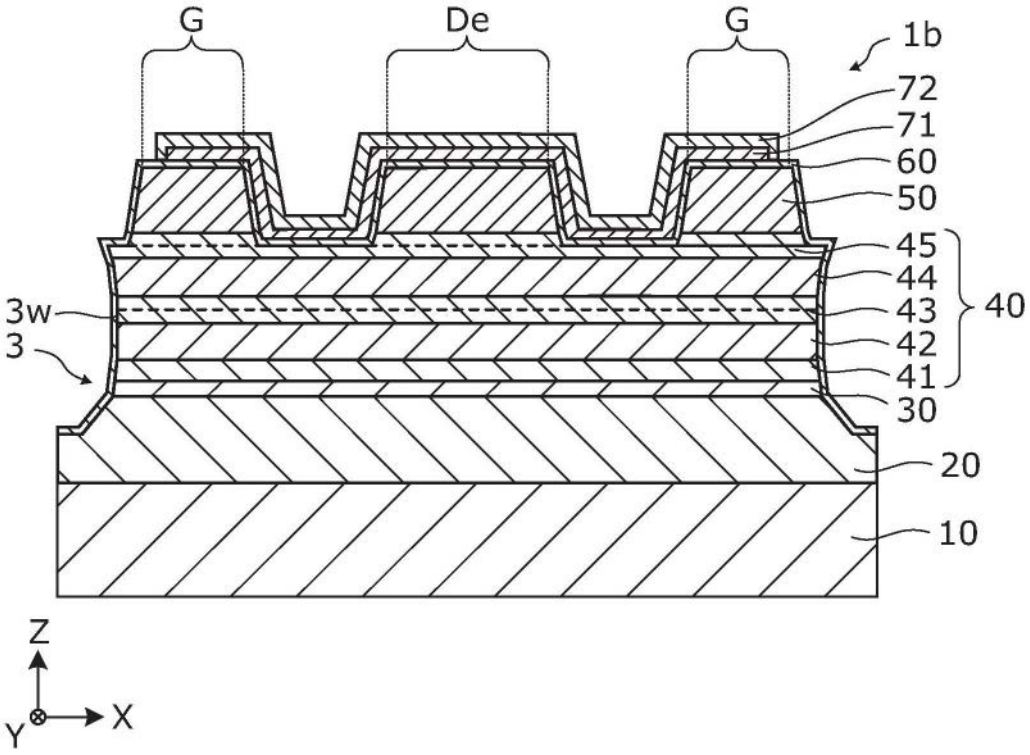

G
De
G
1b
72
71
60
50
45
44
43
42
41
40
3w
3
30
20
10
Z
Y
X

图36