(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 118575377 A
(43)申请公布日 2024.08.30

(21)申请号 202380017963.X

(22)申请日 2023.01.16

(30)优先权数据
2022-008695 2022.01.24 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.07.19

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2023/001051 2023.01.16

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/140224 JA 2023.07.27

(71)申请人 新唐科技日本株式会社
地址 日本

(72)发明人 永井洋希 久纳康光 山田笃志
中谷东吾 荒木刚

(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 5/0234(2006.01)
H01S 5/024(2006.01)
H01S 5/22(2006.01)

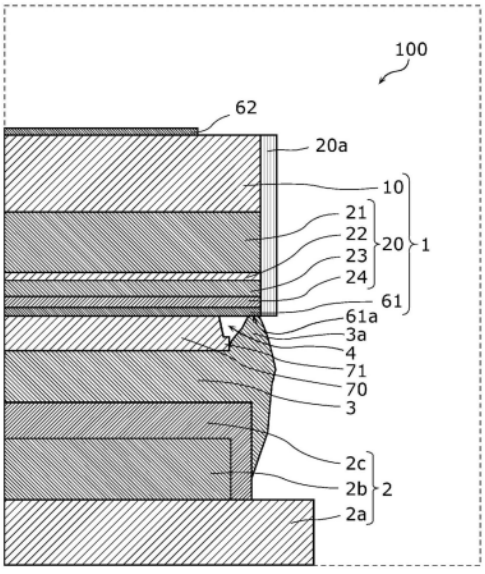
权利要求书2页 说明书20页 附图29页

(54)发明名称

半导体激光装置及半导体激光元件的制造方法

(57)摘要

半导体激光装置(100)具备:热沉(2);以及半导体激光元件(1),经由接合部件(3)与热沉(2)接合,并且设有焊盘电极(70);半导体激光元件(1)以焊盘电极(70)成为热沉(2)侧的方式配置,焊盘电极(70)的前端面存在于从半导体激光元件(1)的前端面后退的位置,从而半导体激光元件(1)具有从焊盘电极(70)露出的露出面(61a);接合部件(3)与半导体激光元件(1)的露出面(61a)连接;在与半导体激光元件(1)的共振器长度方向平行的纵截面中,焊盘电极(70)的前端面以至少一部分凹陷的方式形成,在接合部件(3)与焊盘电极(70)的前端面之间形成有间隙(4)。



CN 118575377 A

1.一种半导体激光装置,其中,具备:

热沉;以及

半导体激光元件,经由接合部件与上述热沉接合,并且设有焊盘电极,

上述半导体激光元件以上述焊盘电极成为上述热沉侧的方式配置,

上述焊盘电极的前端面存在于从上述半导体激光元件的前端面后退的位置,从而上述半导体激光元件具有从上述焊盘电极露出的露出面,

上述接合部件与上述半导体激光元件的上述露出面连接,

在与上述半导体激光元件的共振器长度方向平行的纵截面中,

上述焊盘电极的上述前端面以至少一部分凹陷的方式形成,

在上述接合部件与上述焊盘电极的上述前端面之间形成有间隙。

2.如权利要求1所述的半导体激光装置,其中,

通过在上述焊盘电极的前端部形成檐部,上述焊盘电极的前端面的一部分凹陷。

3.如权利要求1或2所述的半导体激光装置,其中,

上述热沉在上述半导体激光元件侧具有导体层,

上述接合部件将上述导体层与上述焊盘电极接合。

4.如权利要求1~3中任一项所述的半导体激光装置,其中,

上述半导体激光元件具有在上述焊盘电极的与上述热沉侧相反一侧的面上形成的电极层,

上述露出面是上述电极层的表面。

5.如权利要求4所述的半导体激光装置,其中,

上述电极层是第1电极层,

在上述焊盘电极的上述热沉侧的面和上述电极层的上述热沉侧的面上形成有第2电极层。

6.如权利要求1~5中任一项所述的半导体激光装置,其中,

上述半导体激光元件具有在上述共振器长度方向上延伸的脊部,

在上述半导体激光元件的上述露出面的与上述共振器长度方向垂直的纵截面中,上述接合部件至少遍及上述脊部的宽度的全域而与上述露出面连接。

7.如权利要求1~6中任一项所述的半导体激光装置,其中,

上述接合部件连接至上述露出面中的上述半导体激光元件所具有的半导体层叠结构体的前端面的位置为止。

8.如权利要求1~7中任一项所述的半导体激光装置,其中,

上述半导体激光元件的上述前端面与上述焊盘电极的上述前端面的间隔是5μm以上且15μm以下。

9.如权利要求1~8中任一项所述的半导体激光装置,其中,

上述半导体激光元件在上述共振器长度方向上以中央部相对于与上述热沉接合的面凹陷的方式翘曲。

10.如权利要求9所述的半导体激光装置,其中,

上述半导体激光元件的翘曲量是1μm以上且3μm以下。

11.如权利要求1~10中任一项所述的半导体激光装置,其中,

上述焊盘电极是第1焊盘电极，

在上述第1焊盘电极的上述热沉侧形成有第2焊盘电极，

在俯视下，上述第2焊盘电极形成于在上述半导体激光元件的上述共振器长度方向上延伸的光波导的两侧。

12.如权利要求1～11中任一项所述的半导体激光装置，其中，

上述半导体激光元件具备绝缘膜，该绝缘膜在沿共振器长度方向延伸的光波导之上具有开口部，

在俯视时，上述绝缘膜覆盖上述半导体激光元件的前端部。

13.一种半导体激光元件的制造方法，其是通过结朝下的安装方式经由接合部件与热沉接合的半导体激光元件的制造方法，其中，包括：

形成包含活性层的半导体层叠结构体的工序；

在上述半导体层叠结构体的上方形成电极层的工序；以及

在上述电极层的上方形成焊盘电极的工序，

在形成上述焊盘电极的工序中，以上述焊盘电极的前端面的至少一部分凹陷的方式形成上述焊盘电极。

14.如权利要求13所述的半导体激光元件的制造方法，其中，

形成上述焊盘电极的工序包括：

以使上述电极层的一部分露出的方式在上述电极层之上形成规定形状的抗蚀剂的工序；

跨露出的上述电极层和上述抗蚀剂而形成上述焊盘电极的工序；以及

将上述抗蚀剂除去的工序，

上述焊盘电极的厚度比上述抗蚀剂的厚度厚。

半导体激光装置及半导体激光元件的制造方法

技术领域

[0001] 本公开涉及具备半导体激光元件的半导体激光装置及在半导体激光装置中使用的半导体激光元件的制造方法。

背景技术

[0002] 半导体激光元件不限于民生领域、工业领域而利用于各种领域的产品的光源。例如,半导体激光器利用于显示器、投影机等图像显示装置的光源、汽车的头灯的光源、或激光加工装置等工业设备的光源等。

[0003] 其中,关于利用于投影机或激光加工装置的光源的半导体激光元件,要求光输出大大超过1瓦特的高输出化。例如,进行焊接、接合或切断等的激光加工的激光加工装置的光源中,使用射出红外光(例如波长915nm带)的激光的半导体激光元件,但在此情况下要求10W左右～几十W级的光输出。

[0004] 这样的高输出的半导体激光元件由于动作电流非常大,激光射出的前端部(光射出端部)处的发热量变大,所以有可能在前端部发生COD(Catastrophic Optical Damage,灾变性光学损伤)。因此,为了在将半导体激光元件保持在高输出状态的同时实现长期间稳定的动作,重要的是使在前端部产生的热迅速地释放到外部,抑制前端部的动作温度的上升。

[0005] 所以,以往提出了使用焊料等接合部件将半导体激光元件通过结朝下(junction-down)的安装方式与热沉(基座(submount))接合的构成的半导体激光装置。在专利文献1、2中公开了将这种半导体激光装置进一步改良的技术。

[0006] 具体而言,在专利文献1所公开的半导体激光装置中,将接合半导体激光元件与散热部件的粘接剂从半导体激光元件与散热部件之间延长至半导体激光元件的前端面的正下方的散热部件的前端面为止。此外,在专利文献2所公开的半导体激光装置中,关于接合半导体激光元件与热沉的接合层,变更与半导体激光元件的前端部连接的接合层和与其以外的部分连接的接合层的材质,提高与前端部连接的接合层的熔点。

[0007] 现有技术文献

[0008] 专利文献

[0009] 专利文献1:国际公开第2013/150715号

[0010] 专利文献2:日本特开2017－191899号公报

发明内容

[0011] 发明要解决的课题

[0012] 在通过接合部件接合半导体激光元件和热沉的半导体激光装置中,为了将在半导体激光元件的前端部产生的热释放到热沉,有时将介于半导体激光元件与热沉之间的接合部件的一部分延伸至半导体激光元件的前端部为止而形成接合部件的凸缘(fillet)。由此,能够使COD水平稳定,并且能够抑制因自发热而半导体激光元件的光输出下降。

[0013] 但是,如果形成与半导体激光元件的前端部连接的接合部件的凸缘,则通过该凸缘在半导体激光元件的前端部上施加到应力。结果,半导体激光元件的长期可靠性有可能下降。特别是,在专利文献1所公开的半导体激光装置的结构中,从接合部件的凸缘的端部施加到半导体激光元件的应力会变大。此外,在专利文献2所公开的半导体激光装置的结构中,由于在半导体激光元件的前端部和其以外的部分中变更了接合层的组成比,所以在前端部和其以外的部分中残留的应变量不同。因此,作用于半导体激光元件的应力不均匀地产生,半导体激光元件的长期可靠性有可能下降。

[0014] 本公开用于解决这样的课题,目的是提供即使在半导体激光元件的前端部连接接合部件也能够抑制长期可靠性下降的半导体激光装置及半导体激光元件的制造方法。

[0015] 用来解决课题的手段

[0016] 为了解决上述课题,有关本公开的半导体激光装置的一技术方案具备:热沉;以及半导体激光元件,经由接合部件与上述热沉接合,并设有焊盘电极,上述半导体激光元件以上述焊盘电极成为上述热沉侧的方式配置,上述焊盘电极的前端面存在于从上述半导体激光元件的前端面后退的位置,从而上述半导体激光元件具有从上述焊盘电极露出的露出面,上述接合部件与上述半导体激光元件的上述露出面连接,在与上述半导体激光元件的共振器长度方向平行的纵截面中,上述焊盘电极的上述前端面以至少一部分凹陷的方式形成,在上述接合部件与上述焊盘电极的上述前端面之间形成有间隙。

[0017] 此外,有关本公开的半导体激光元件的制造方法的一技术方案,是通过结朝下的安装方式经由接合部件与热沉接合的半导体激光元件的制造方法,包括:形成包含活性层的半导体层叠结构体的工序;在上述半导体层叠结构体的上方形成电极层的工序;以及在上述电极层的上方形成焊盘电极的工序,在形成上述焊盘电极的工序中,以上述焊盘电极的前端面的至少一部分凹陷的方式形成上述焊盘电极。

[0018] 发明效果

[0019] 根据本公开,即使在半导体激光元件的前端部连接接合部件,也能够缓和作用于半导体激光元件的应力,所以能够抑制半导体激光元件的长期可靠性下降。

附图说明

[0020] 图1是有关实施方式1的半导体激光元件的平面图。

[0021] 图2A是图1的IIA—IIA线的有关实施方式1的半导体激光元件的剖视图。

[0022] 图2B是图1的IIB—IIB线的有关实施方式1的半导体激光元件的剖视图。

[0023] 图2C是图1的IIC—IIC线的有关实施方式1的半导体激光元件的剖视图。

[0024] 图3是有关实施方式1的半导体激光装置的平面图。

[0025] 图4A是图3的IVA—IVA线的有关实施方式1的半导体激光装置的剖视图。

[0026] 图4B是图3的IVB—IVB线的有关实施方式1的半导体激光装置的剖视图。

[0027] 图4C是图3的IVC—IVC线的有关实施方式1的半导体激光装置的剖视图。

[0028] 图5是有关实施方式1的半导体激光装置的放大剖视图。

[0029] 图6A是表示在有关实施方式1的半导体激光元件的制造方法中在基板上形成半导体层叠结构体的工序的剖视图。

[0030] 图6B是表示在有关实施方式1的半导体激光元件的制造方法中在半导体层叠结构

体上形成窗区域的工序的剖视图。

[0031] 图6C是表示在有关实施方式1的半导体激光元件的制造方法中在半导体层叠结构体上形成开口部的工序的剖视图。

[0032] 图6D是表示在有关实施方式1的半导体激光元件的制造方法中在半导体层叠结构体上形成分离槽的工序的剖视图。

[0033] 图6E是表示在有关实施方式1的半导体激光元件的制造方法中在半导体层叠结构体上形成绝缘膜的工序的剖视图。

[0034] 图6F是表示在有关实施方式1的半导体激光元件的制造方法中形成p侧电极层及焊盘电极的工序的剖视图。

[0035] 图6G是表示在有关实施方式1的半导体激光元件的制造方法中形成n侧电极层的工序的剖视图。

[0036] 图7是用来说明在有关实施方式1的半导体激光元件的制造方法中形成焊盘电极的工序的图。

[0037] 图8是有关实施方式1的半导体激光装置的SEM像。

[0038] 图9是表示比较例的半导体激光装置的构成的剖视图。

[0039] 图10是表示有关实施方式1的半导体激光装置的构成的剖视图。

[0040] 图11是表示从光射出端面到焊盘电极端的距离与COD破坏电流的关系的图。

[0041] 图12是表示有关实施方式1的变形例1的半导体激光装置的构成的剖视图。

[0042] 图13是表示有关实施方式1的变形例2的半导体激光装置的构成的剖视图。

[0043] 图14是用来说明有关实施方式1的半导体激光装置中的半导体激光元件的翘曲状态的图。

[0044] 图15是表示半导体激光元件的共振器长度方向的位置与翘曲量的关系的图。

[0045] 图16是有关实施方式2的半导体激光元件的平面图。

[0046] 图17A是图16的XVIIA－XVIIA线的有关实施方式2的半导体激光元件的剖视图。

[0047] 图17B是图16的XVIIB－XVIIB线的有关实施方式2的半导体激光元件的剖视图。

[0048] 图17C是图16的XVIIC－XVIIC线的有关实施方式2的半导体激光元件的剖视图。

[0049] 图18是有关实施方式2的半导体激光装置的放大剖视图。

[0050] 图19是有关实施方式2的变形例的半导体激光装置的放大剖视图。

[0051] 图20A是表示在有关实施方式2的半导体激光元件的制造方法中形成第2p侧电极层的工序的剖视图。

[0052] 图20B是表示在有关实施方式2的半导体激光元件的制造方法中形成n侧电极层的工序的剖视图。

[0053] 图21是有关实施方式3的半导体激光元件的平面图。

[0054] 图22A是表示在与图21的XXIIA－XXIIA线对应的部分处将有关实施方式3的半导体激光装置切断时的截面的一部分的图。

[0055] 图22B是表示在与图21的XXIIB－XXIIB线对应的部分处将有关实施方式3的半导体激光装置切断时的截面的一部分的图。

[0056] 图22C是表示在与图21的XXIIC－XXIIC线对应的部分处将有关实施方式3的半导体激光装置切断时的截面的一部分的图。

[0057] 图23A是表示在有关实施方式3的半导体激光元件的制造方法中形成焊盘电极、第2焊盘电极及第2p侧电极层的工序的剖视图。

[0058] 图23B是表示在有关实施方式3的半导体激光元件的制造方法中形成n侧电极层的工序的剖视图。

[0059] 图24是有关实施方式3的变形例1的半导体激光元件的平面图。

[0060] 图25是有关实施方式3的变形例2的半导体激光元件的平面图。

具体实施方式

[0061] 以下,参照附图对本公开的实施方式进行说明。另外,以下说明的实施方式都表示本公开的一具体例。因而,在以下的实施方式中表示的数值、形状、材料、构成要素、构成要素的配置位置及连接形态、以及步骤(工序)及步骤的顺序等是一例,不是限定本公开的意思。因此,关于以下的实施方式的构成要素中的表示本公开的最上位概念的独立权利要求中没有记载的构成要素,设为任意的构成要素进行说明。

[0062] 此外,各图是示意图,并不一定是严密地图示的。因而,在各图中比例尺等并不一定一致。在各图中,对于实质上相同的结构赋予相同的标号,将重复的说明省略或简略化。

[0063] 此外,在本说明书中,“上方”及“下方”这样的用语不是指绝对的空间识别中的上方(铅直上方)及下方(铅直下方),而是作为基于层叠结构中的层叠顺序由相对的位置关系规定的用语来使用。此外,“上方”及“下方”这样的用语,不仅能够应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构成要素的情况,而且能够应用于两个构成要素以相互相接的状态配置的情况。

[0064] (实施方式1)

[0065] [半导体激光元件]

[0066] 首先,使用图1、图2A、图2B及图2C对有关实施方式1的半导体激光元件1的构成进行说明。图1是有关实施方式1的半导体激光元件1的平面图。图2A～图2C是有关实施方式1的半导体激光元件1的剖视图。

[0067] 图2A、图2B及图2C分别表示图1的IIA－IIA线、图1的IIB－IIB线及图1的IIC－IIC线的截面。图2A表示与被注入电流的区域即电流注入区域对应的部分的截面,图2B表示与半导体激光元件1的前端部的不被注入电流的区域即电流非注入区域对应的部分的截面。

[0068] 如图1所示,半导体激光元件1具有前端面1a和作为与前端面1a相反一侧的面的后端面1b。前端面1a是射出激光的前端面(光射出端面),后端面1b是不射出激光的后端面。

[0069] 半导体激光元件1具有将前端面1a和后端面1b做成共振器反射镜的光波导。因而,前端面1a及后端面1b为共振器端面。即,在半导体激光元件1中,由前端面1a和后端面1b形成共振器。因此,后端面1b的反射率比前端面1a的反射率高。作为一例,前端面1a的反射率是5%,后端面1b的反射率是95%。此外,半导体激光元件1的共振器长度是前端面1a与后端面1b之间的距离。在本实施方式中,半导体激光元件1的共振器长度是2mm以上,进而也可以是4mm以上。另外,半导体激光元件1的共振器长度也可以小于2mm。此外,半导体激光元件1为在共振器长度方向上较长的形状。

[0070] 半导体激光元件1从前端面1a以10W左右～几十W级的光输出射出激光。作为一例,半导体激光元件1以25W的光输出射出在波长976nm带中具有峰值波长的红外光。另外,半导

体激光元件1的激光的峰值波长并不限于此。

[0071] 如图2A～图2C所示,半导体激光元件1具有基板10和形成在基板10的上方的半导体层叠结构体20。本实施方式的半导体激光元件1是由AlGaInAs系的III－V族半导体材料构成的化合物半导体激光器。因而,半导体层叠结构体20为层叠有分别由III－V族半导体材料构成的多个半导体层的结构。

[0072] 如图1及图2C所示,在半导体层叠结构体20的前端面,形成有第1端面覆膜20a。此外,在半导体层叠结构体20的后端面,形成有第2端面覆膜20b。第1端面覆膜20a及第2端面覆膜20b是由电介质多层膜构成的反射膜。例如,第1端面覆膜20a是Al_2O_3和SiO_2的多层膜,第2端面覆膜20b是Al_2O_3、SiO_2和Ta_2O_5的多层膜。作为一例,第1端面覆膜20a的反射率是5％,第2端面覆膜20b的反射率是95％。另外,第1端面覆膜20a的前端面为半导体激光元件1的前端面1a,第2端面覆膜20b的后端面为半导体激光元件1的后端面1b。

[0073] 如图2A及图2B所示,在半导体层叠结构体20的侧部,形成有分离槽20c。分离槽20c是在将半导体激光元件1单片化时使用的槽,在俯视下在共振器长度方向上延伸。在本实施方式中,分离槽20c以缩颈的方式形成。

[0074] 基板10是主面为均匀的平面的平面状的基板。基板10是GaAs基板等半导体基板或蓝宝石基板等绝缘基板。在本实施方式中,基板10是n型GaAs基板。

[0075] 如图2A～图2C所示,半导体层叠结构体20在基板10的一个面之上依次具有n型半导体层21、活性层22、p型半导体层23和p型接触层24。即,在基板10之上形成有n型半导体层21,在n型半导体层21之上形成有活性层22,在活性层22之上形成有p型半导体层23,在p型半导体层23之上形成有p型接触层24。

[0076] n型半导体层21是第1导电型的第1半导体层的一例。在本实施方式中,n型半导体层21具有依次层叠在基板10之上的n型缓冲层、n型第1组成倾斜层、n型包层及n型第2组成倾斜层。

[0077] n型缓冲层、n型第1组成倾斜层、n型包层及n型第2组成倾斜层是被有意地掺杂了硅(Si)等杂质的n型半导体层,例如由n型GaAs层或n型AlGaAs层构成。另外,在n型半导体层21中,也可以包含未有意地掺杂杂质的无掺杂的半导体层。

[0078] 作为一例,n型缓冲层是由膜厚0.50μm的n－GaAs构成的n型GaAS层,n型第1组成倾斜层是由膜厚0.05μm的$n－Al_xGa_{1-x}As$(x＝0.15～0.32)构成的n型AlGaAs层,n型包层是由膜厚3.0μm的$n－Al_{0.32}Ga_{0.715}As$构成的n型AlGaAs层,n型第2组成倾斜层是膜厚0.03μm的$n－Al_xGa_{1-x}As$(x＝0.32～0.285)的n型AlGaAs层。

[0079] 活性层22形成在n型半导体层21之上。在本实施方式中,活性层22具有依次层叠在n型半导体层21之上的n型导引层、n侧第2阻挡层、n侧第1阻挡层、阱层、p侧第1阻挡层、p侧第2阻挡层及p型导引层。

[0080] n型导引层、n侧第2阻挡层及n侧第1阻挡层是被有意地掺杂了硅等杂质的n型半导体层,例如由n型AlGaAs层或n型AlGaInAs层构成。

[0081] 作为一例,n型导引层是由膜厚1.05μm的$n－Al_{0.285}Ga_{0.715}As$构成的n型AlGaAs层,n侧第2阻挡层通过由膜厚0.0268μm的$n－Al_{0.15}Ga_{0.85}As$构成的n型AlGaAs层和由膜厚0.0083μm的$Al_{0.15}Ga_{0.85}As$构成的无掺杂AlGaAs层这两层形成,n侧第1阻挡层是由0.0018μm的$Al_{0.50}Ga_{0.32}In_{0.18}As$构成的AlGaInAs层。

[0082] 此外,p侧第1阻挡层、p侧第2阻挡层及p型导引层是被有意地掺杂了碳(C)等杂质的p型半导体层,例如由p型AlGaAs层或p型AlGaInAs层构成。另外,p侧第1阻挡层及p侧第1阻挡层也可以在被掺杂了杂质的掺杂区域以外还具有未掺杂杂质的无掺杂区域。

[0083] 作为一例,p侧第1阻挡层是由0.0018μm的$Al_{0.50}Ga_{0.32}In_{0.18}As$构成的AlGaInAs层,p侧第2阻挡层通过由膜厚0.0083μm的$Al_{0.15}Ga_{0.85}As$构成的无掺杂AlGaAs层和由膜厚0.025μm的p－$Al_{0.15}Ga_{0.85}As$构成的p型AlGaAs层这两层形成,p型导引层是由膜厚0.22μm的p－$Al_{0.28}Ga_{0.72}As$构成的p型AlGaAs层。

[0084] 此外,阱层例如是包括单一的量子阱层的单一量子阱结构。阱层例如由无掺杂的InGaAs层构成。作为一例,阱层是由膜厚0.0090μm的$In_{0.135}Ga_{0.865}As$构成的InGaAs层。另外,阱层并不限于单一量子阱结构,也可以是包括多个量子阱层的多重量子阱结构。

[0085] p型半导体层23是与第1导电型不同的第2导电型的第2半导体层的一例。在本实施方式中,p型半导体层23具有依次层叠在活性层22之上的p型第1组成倾斜层、p型包层及p型第2组成倾斜层。p型第1组成倾斜层、p型包层及p型第2组成倾斜层是被有意地掺杂了碳等杂质的p型半导体层,例如由p型AlGaAs层构成。另外,p型第1组成倾斜层、p型包层及p型第2组成倾斜层的杂质浓度例如小于$1.0\times10^{19}(cm^{-3})$。

[0086] 作为一例,p型第1组成倾斜层是由膜厚0.05μm的p－$Al_xGa_{1-x}As$(x＝0.28～0.70)构成的p型AlGaAs层,p型包层是由膜厚0.75μm的p－$Al_{0.70}Ga_{0.30}As$构成的p型AlGaAs层,p型第2组成倾斜层是由膜厚0.05μm的p－$Al_xGa_{1-x}As$(x＝0.70～0.15)构成的p型AlGaAs层。

[0087] p型接触层24是第2导电型的第3半导体层的一例。p型接触层是被有意地掺杂了碳等杂质的p型半导体层,例如由p型GaAs层构成。另外,p型接触层的杂质浓度例如是$1.0\times10^{19}(cm^{-3})$以上。作为一例,p型接触层是由膜厚0.25μm的p－GaAs构成的p型GaAs层。

[0088] 半导体激光元件1,作为在共振器长度方向上延伸的波导而具有以脊状形成的脊部1R。脊部1R在共振器长度方向上延伸。脊部1R作为半导体激光元件1中的电流注入区域发挥功能。如图2A及图2B所示,脊部1R形成于p型半导体层23及p型接触层24。

[0089] 具体而言,如图2A所示,脊部1R通过在p型半导体层23及p型接触层24上挖入开口部30而形成。在本实施方式中,脊部1R的最上层为p型接触层24。开口部30的底部30a构成脊底部,是位于p型半导体层23内的平坦部。

[0090] 在本实施方式中,开口部30具有一对横槽部31。如图2A所示,脊部1R被开口部30中的一对横槽部31夹着。如图1所示,开口部30的一对横槽部31相互平行,在激光共振器长度方向上延伸。

[0091] 此外,如图1及图2B所示,开口部30不仅是一对横槽部31,也具有前槽部32及后槽部33。前槽部32形成于脊部1R的延长线上的半导体激光元件1的前端部,后槽部33形成于脊部1R的延长线上的半导体激光元件1的后端部。通过在p型半导体层23及p型接触层24形成前槽部32及后槽部33,使得脊部1R不存在于半导体激光元件1的前端部及后端部。一对横槽部31、前槽部32和后槽部33连续地形成。因而,脊部1R以被开口部30包围的方式构成。另外,也可以不形成前槽部32和后槽部33。

[0092] 此外,如图2A所示,通过在p型半导体层23及p型接触层24形成开口部30,在半导体激光元件1形成一对翼部40。一对翼部40位于脊部1R的侧方。即,脊部1R经由开口部30被一对翼部40夹着。一对翼部40沿着半导体激光元件1的共振器长度方向延伸。

[0093] 此外,如图2A～图2C所示,除了脊部1R上的一部分以外,还在p型接触层24之上形成有由SiO_2或SiN等的电介质膜构成的绝缘膜50。具体而言,绝缘膜50被形成为,在p型接触层24的脊部1R之上具有开口部50a。绝缘膜50作为电流阻断膜发挥功能。因而,绝缘膜50的开口部50a是电流穿过的电流注入窗。

[0094] 此外,绝缘膜50将形成在p型半导体层23及p型接触层24上的开口部30的底部30a覆盖。因而,半导体激光元件1的前端部的开口部30的底部30a(具体而言,前槽部32的底部)被绝缘膜50覆盖。即,在俯视时,绝缘膜50覆盖半导体激光元件1的前端部。由此,能够抑制电流扩散到半导体激光元件1的前端部及窗区域,能够抑制光输出的下降及可靠性的下降。

[0095] 如图2A及图2B所示,绝缘膜50还覆盖半导体层叠结构体20的侧面。具体而言,绝缘膜50覆盖p型接触层24的侧面整面、p型半导体层23的侧面整面、活性层22的侧面整面及n型半导体层21的侧面的一部分。

[0096] 如图2C所示,半导体激光元件1中的半导体层叠结构体20在共振器长度方向的前端部具有窗区域22a(端面窗结构)。具体而言,在活性层22中的脊部1R的前端面附近的电流非注入区域中,在距前端面1a为规定的长度的区域形成有窗区域22a。窗区域22a形成在半导体层叠结构体20的前端部。另外,波导中的没有形成窗区域22a的区域是增益区域。这样,通过在半导体激光元件1的前端部形成窗区域22a(端面窗结构),能够将半导体激光元件1的前端部透明化而减少前端面1a附近的光吸收。由此,能够抑制在半导体激光元件1的前端部发生COD。另外,也可以在半导体层叠结构体20的后端部也形成有同样的窗区域。另外,也可以在半导体激光元件1的前端部及后端部不形成窗区域。

[0097] 半导体激光元件1,作为p侧的第1电极而具有p侧电极层61。p侧电极层61形成在半导体层叠结构体20之上。具体而言,p侧电极层61形成在p型接触层24的上方。在本实施方式中,p侧电极层61形成为,在脊部1R的上方与p型接触层24相接。具体而言,p侧电极层61与p型接触层24欧姆接触。在本实施方式中,p侧电极层61不仅形成在脊部1R之上,还隔着绝缘膜50形成在开口部30内及翼部40上。

[0098] p侧电极层61是由金属材料构成的金属层。p侧电极层61例如是由Pt、Ti、Cr、Ni、Mo及Au的至少一种形成的单层膜或多层膜。在本实施方式中,p侧电极层61由多层膜构成。作为一例,p侧电极层61是从p型接触层24侧依次层叠有Ti膜、Pt膜及Au膜的3层结构的多层膜。

[0099] 此外,半导体激光元件1,作为n侧的第2电极而具有n侧电极层62。n侧电极层62形成在基板10的与一个面(半导体层叠结构体20侧的面)相反一侧的面即另一个面(下表面)的下方。在本实施方式中,n侧电极层62直接形成在基板10的另一个面上。

[0100] n侧电极层62是由金属材料构成的金属层。n侧电极层62例如是由Cr、Ti、Ni、Pd、Pt、Au及Ge的至少一种形成的单层膜或多层膜。在本实施方式中,n侧电极层62由多层膜构成。作为一例,n侧电极层62例如是从基板10侧依次层叠有AuGe膜、Ni膜、Au膜、Ti膜、Pt膜及Au膜的6层结构的多层膜。

[0101] 进而,半导体激光元件1具有焊盘电极70。焊盘电极70形成在p侧电极层61的上方。具体而言,焊盘电极70与p侧电极层61的上表面相接而层叠于p侧电极层61。即,p侧电极层61形成在焊盘电极70的下表面。焊盘电极70是与p侧电极层61一起构成p侧的电极的p侧焊盘电极。在本实施方式中,焊盘电极70形成在p侧电极层61的上方。因而,焊盘电极70不仅形

成在脊部1R的上方,也形成在翼部40的上方。

[0102] 焊盘电极70是由金属材料构成的金属层。在本实施方式中,焊盘电极70是Au镀膜,但并不限于此。

[0103] 如图2C所示,焊盘电极70的前端面存在于从半导体激光元件1的前端面1a后退的位置。这样,通过焊盘电极70的前端面存在于从半导体激光元件1的前端面1a后退的位置,半导体激光元件1具有从焊盘电极70露出的露出面61a。在本实施方式中,该露出面61a为p侧电极层61的表面。焊盘电极70的前端面与半导体激光元件1的前端面1a的间隔L(焊盘电极70的前端部的后退量)例如是5μm以上且15μm以下,但并不限于此。

[0104] 此外,在与半导体激光元件1的共振器长度方向平行的纵截面中,焊盘电极70的前端面以至少一部分凹陷的方式形成。具体而言,在焊盘电极70的前端部,形成有檐部71(悬突部)。这样,在本实施方式中,通过在焊盘电极70的前端部形成檐部71,焊盘电极70的前端面的一部分凹陷。由此,在焊盘电极70的前端面,形成有该前端面的一部分朝向共振器长度方向的后方凹陷的凹部70a。

[0105] 如图2A所示,在本实施方式中,檐部71还形成在焊盘电极70的侧面。另外,虽然没有图示,但檐部71还形成在焊盘电极70的后端面。即,檐部71遍及焊盘电极70的整周形成。

[0106] [半导体激光装置]

[0107] 接着,使用图3、图4A、图4B、图4C及图5对使用半导体激光元件1的半导体激光装置100的构成进行说明。图3是有关实施方式1的半导体激光装置100的平面图。图4A～图4C是有关实施方式1的半导体激光装置100的剖视图。图4A、图4B及图4C分别表示图3的IVA—IVA线、图3的IVB—IVB线及图3的IVC—IVC线的截面。此外,图5是由图4C的虚线包围的区域V的放大剖视图。

[0108] 如图3～图5所示,有关本实施方式的半导体激光装置100具备半导体激光元件1、热沉2以及将半导体激光元件1与热沉2接合的接合部件3。即,半导体激光元件1经由接合部件3与热沉2接合。

[0109] 半导体激光元件1通过结朝下的安装方式与热沉2接合。即,半导体激光元件1以焊盘电极70成为热沉2侧的方式配置。具体而言,半导体激光元件1在热沉2的上方以焊盘电极70侧朝下的方式配置,通过接合部件3与热沉2接合。

[0110] 热沉2是用来将由半导体激光元件1产生的热进行散热的散热部件。在本实施方式中,热沉2也作为用来安装半导体激光元件1的基座(基台)发挥功能。半导体激光元件1位于热沉2之上。

[0111] 如图4C所示,热沉2具有热沉主体2a、第1导体层2b、第2导体层2c、第3导体层2d和第4导体层2e。

[0112] 第1导体层2b及第2导体层2c形成在热沉主体2a的半导体激光元件1侧。第1导体层2b形成在热沉主体2a的上表面,第2导体层2c形成在第1导体层2b的上表面。在本实施方式中,第2导体层2c还覆盖第1导体层2b的前端面及后端面,以使第1导体层2b不露出。

[0113] 第3导体层2d及第4导体层2e形成在热沉主体2a的与半导体激光元件1侧相反一侧。第3导体层2d形成在热沉主体2a的下表面,第4导体层2e形成在第3导体层2d的下表面。在本实施方式中,第4导体层2e还覆盖第3导体层2d的前端面及后端面,以使第3导体层2d不露出。

[0114] 热沉主体2a例如由AlN、CuW、金刚石、SiC等的高热传导材料构成。在本实施方式中,热沉主体2a由AlN构成。热沉主体2a的形状作为一例是长方体。

[0115] 第1导体层2b、第2导体层2c、第3导体层2d及第4导体层2e是由金属材料构成的金属层。第1导体层2b、第2导体层2c、第3导体层2d及第4导体层2e既可以是单层膜,也可以是多层膜。

[0116] 与热沉主体2a相接的第1导体层2b及第3导体层2d是由Cu等的传导率高的金属材料构成的高散热导体层。在本实施方式中,第1导体层2b及第3导体层2d是Cu膜。

[0117] 与接合部件3相接的第2导体层2c优选的是由与接合部件3的密接性高的金属材料构成。在本实施方式中,第2半导体层2c是从第1半导体层2b朝向接合部件3依次形成有Ni膜、Au膜及Pt膜的3层结构的多层膜。另外,第4导体层2e为与第2导体层2c同样的构成。

[0118] 如图5所示,安装于热沉2的半导体激光元件1以前端面1a不从热沉2的前端面突出的方式配置。即,半导体激光元件1的前端面1a存在于比热沉2的前端面后退的位置。另外,半导体激光元件1的前端面1a位于热沉2的热沉主体2a的前端面与第2导体层2c的前端面之间。

[0119] 如图4A～图4C及图5所示,接合部件3将半导体激光元件1与热沉2接合,介于半导体激光元件1与热沉2之间。具体而言,接合部件3将半导体激光元件1的焊盘电极70与热沉2的第2导体层2c接合。

[0120] 此外,如图5所示,接合部件3延伸至半导体激光元件1的前端部为止,与半导体激光元件1的前端部连接。由此,能够经由接合部件3使在半导体激光元件1的前端部产生的热传导到热沉2,所以能够抑制在半导体激光元件1的前端部发生COD。在本实施方式中,接合部件3与半导体激光元件1的前端部的露出面61a连接。即,接合部件3与半导体激光元件1的p侧电极层61连接。

[0121] 具体而言,在接合部件3形成有凸缘3a,凸缘3a与半导体激光元件1的前端部连接。凸缘3a是在接合部件3中从半导体激光元件1与热沉2之间伸出的部分。在本实施方式中,由于接合部件3是焊料,所以凸缘3a是焊料凸缘。

[0122] 此外,接合部件3连接至半导体激光元件1的露出面61a中的半导体激光元件1所具有的半导体层叠结构体20的前端面的位置为止。即,凸缘3a形成至半导体层叠结构体20的前端面的位置为止。另外,凸缘3a也可以形成至露出面61a中的半导体激光元件1的前端面1a的位置为止。

[0123] 在本实施方式中,接合部件3不仅与半导体激光元件1的前端部连接,也与热沉2的前端面连接。具体而言,从焊盘电极70与热沉2之间向前方伸出的接合部件3的凸缘3a与半导体激光元件1的前端部的露出面61a连接,并且与热沉2的第2导体层2c的前端面连接。

[0124] 此外,如图4A所示,在半导体激光元件1的露出面61a的与共振器长度方向垂直的纵截面中,接合部件3至少遍及脊部1R的宽度(脊宽度)的全域而与露出面61a连接。在本实施方式中,接合部件3在半导体激光元件1的露出面61a的与共振器长度方向垂直的纵截面中形成在露出面61a的整面上。具体而言,如图4A所示,接合部件3的宽度比露出面61a的宽度大。

[0125] 接合部件3例如是以AuSn为主成分的AuSn焊料等的焊料件或金属钎料。在本实施方式中,接合部件3是AuSn焊料。另外,半导体激光元件1与热沉2之间的接合部件3的厚度作

为一例是3μm～7μm。

[0126] 如图5所示,在本实施方式的半导体激光装置100中,在与半导体激光元件1的共振器长度方向平行的纵截面中,在接合部件3与焊盘电极70的前端面之间形成有间隙4。具体而言,间隙4是由接合部件3的凸缘3a、焊盘电极70的前端面和半导体激光元件1的露出面61a包围的空隙(空洞),是有意地形成的。间隙4至少存在于焊盘电极70的檐部71与半导体激光元件1的露出面61a之间。

[0127] 间隙4的截面形状作为一例是大致梯形。因而,间隙4中的焊盘电极70的前端面及接合部件3(凸缘3a)的间隙4侧的内表面都为倾斜面。在此情况下,半导体激光元件1的露出面61a与焊盘电极70的前端面所成的角大于半导体激光元件1的露出面61a与接合部件3(凸缘3a)的内表面所成的角。

[0128] 另外,间隙4在图5的纸面垂直方向上延伸。即,间隙4是柱状,沿着与半导体激光元件1中的半导体层叠结构体20的层叠方向及共振器长度方向都正交的方向延伸。

[0129] [半导体激光元件的制造方法]

[0130] 接着,使用图6A～图6G对图1～图2C所示的半导体激光元件1的制造方法进行说明。图6A～图6G是有关实施方式1的半导体激光元件1的制造方法中的各工序的剖视图。另外,在图6A～图6G的各图中,(a)表示与图2A对应的截面(电流注入区域的截面),(b)表示与图2B对应的截面(前端部的电流非注入区域的截面)。

[0131] 首先,如图6A的(a)及(b)所示,准备基板10,在基板10之上形成包括活性层22的半导体层叠结构体20。具体而言,在作为n－GaAS基板的晶片的基板10之上,通过基于有机金属化学气相沉积法(Metalorganic ChemicalVapor Deposition;MOCVD法)的晶体成长技术,将n型半导体层21、活性层22、p型半导体层23及p型接触层24依次成膜。

[0132] 接着,如图6B的(a)及(b)所示,仅在半导体层叠结构体20中的与共振器长度方向的前端部对应的部分上形成窗区域22a。在本实施方式中,窗区域22a通过将空穴扩散到活性层22而形成。另外,窗区域22a通过空穴扩散法形成,但并不限于此。另外,在半导体激光元件1的前端部及后端部也可以不形成窗区域。

[0133] 接着,如图6C的(a)及(b)所示,在p型接触层24形成用来划定脊部1R和翼部40的开口部30。具体而言,在p型接触层24之上,通过光刻技术以规定的图案形成由SiO_2等构成的掩模,然后通过湿式蚀刻技术形成开口部30。

[0134] 此时,如图6C的(a)所示,在电流注入区域中,通过形成横槽部31,在与脊部1R对应的部分的p型接触层24上形成凸部5a,并且在与翼部40对应的部分的p型接触层24上形成凸部5b。另一方面,如图6C的(b)所示,在半导体激光元件1的前端部(电流非注入区域),不形成凸部5a,在p型接触层24上形成前槽部32。另外,也可以不形成前槽部32和后槽部33。

[0135] 另外,在半导体激光元件1的芯片端区域中,也可以在与单片化时的分离槽20c对应的部分的p型接触层24上另行形成凹部。该凹部形成在半导体层叠结构体20的两侧部,在俯视中在共振器长度方向上延伸。

[0136] 接着,如图6D的(a)及(b)所示,在半导体层叠结构体20的侧面形成具有倾斜面的分离槽20c。具体而言,在p型半导体层23之上,使用光刻技术以规定的图案形成由SiO_2等构成的掩模,然后,通过湿式蚀刻技术从p型半导体层23蚀刻到n型半导体层21的中途,从而能够形成使半导体层叠结构体20的侧面倾斜的分离槽20c。

[0137] 另外,形成分离槽20c时的蚀刻液例如可以使用硫酸系的蚀刻液。在此情况下,可以使用硫酸:过氧化氢水:水=1:1:10的蚀刻液。此外,蚀刻液并不限于硫酸系的蚀刻液,也可以使用有机酸系的蚀刻液或氨系的蚀刻液。此时,分离槽20c通过各向同性的湿式蚀刻形成。由此,可以在半导体层叠结构体20的侧面形成倾斜面,在半导体层叠结构体20的侧面形成缩颈结构。

[0138] 接着,在用氟酸系的蚀刻液除去形成分离槽20c时的掩模之后,如图6E的(a)及(b)所示,在基板10上的整面上作为绝缘膜50而堆积SiN膜,然后,通过光刻技术及蚀刻技术将与电流注入区域对应的部分的绝缘膜50除去,从而形成开口部50a。另外,如图6E的(b)所示,不除去与电流非注入区域对应的部分的绝缘膜50,在与电流非注入区域对应的部分的绝缘膜50上不形成开口部50a。

[0139] 作为绝缘膜50的蚀刻,可以采用使用氟酸系蚀刻液的湿式蚀刻或基于反应性离子蚀刻(RIE)的干式蚀刻。此外,绝缘膜50为SiN膜,但并不限于此,也可以是SiO_2膜等。

[0140] 接着,如图6F的(a)及(b)所示,在半导体层叠结构体20的上方形成p侧电极层61,然后,在p侧电极层61的上方形成焊盘电极70。

[0141] 具体而言,通过电子束蒸镀法,在半导体层叠结构体20的p型接触层24之上形成由Ti膜、Pt膜和Au膜的层叠膜构成的p侧电极层61。然后,以p侧电极层61为基底电极,在p侧电极层61之上形成由Au镀膜构成的焊盘电极70。此时,在形成焊盘电极70的工序中,通过使用抗蚀剂掩模进行构图,以焊盘电极70的前端面的至少一部分凹陷的方式形成焊盘电极70。另外,p侧电极层61遍及共振器长度方向的大致全长形成,但焊盘电极也可以不遍及共振器长度方向的全长形成,在前端部上不形成。

[0142] 这里,使用图7对形成焊盘电极70的工序详细地进行说明。首先,如图7的(a)所示,以将p侧电极层61的一部分露出的方式在p侧电极层61之上形成规定形状的抗蚀剂80(抗蚀剂掩模)。接着,如图7的(b)所示,跨所露出的p侧电极层61和抗蚀剂80形成焊盘电极70。具体而言,通过电解镀层法,以p侧电极层61为基底电极形成Au镀膜,然后,通过光刻技术、蚀刻技术及剥离技术将半导体层叠结构体20的前端部附近的Au镀膜有选择地除去,从而能够形成图7的(b)所示的形状的焊盘电极70。接着,如图7的(c)所示,将抗蚀剂80除去。由此,p侧电极层61的表面露出而形成露出面61a。

[0143] 此外,在形成该焊盘电极70的工序中,优选的是使焊盘电极70(Au镀膜)的厚度比抗蚀剂80的厚度厚。由此,以覆盖在抗蚀剂80的端部上的方式形成焊盘电极70(Au镀膜),所以能够在焊盘电极70的前端部形成檐部71。这样,能够形成在前端部具有檐部71的焊盘电极70。在此情况下,如图7的(c)所示,焊盘电极70的凹部70a的倾斜面的角度θ是65±15°,焊盘电极70的檐部71的长度d是0.4μm~2.0μm。另外,抗蚀剂80的厚度例如是1.8μm。

[0144] 接着,如图6G的(a)及(b)所示,在基板10的下表面形成n侧电极层62。具体而言,通过从基板10侧使AuGe膜、Ni膜、Au膜、Ti膜、Pt膜及Au膜依次成膜,在基板10的下表面形成n侧电极层62。

[0145] 然后,虽然没有图示,但通过使用刀片的切割或劈开等,将形成有规定形状的半导体层叠结构体20的基板10(晶片)分离为多个条状,然后,再通过将分离槽20c作为切断部来切断,进行芯片分离。由此,能够制作单片状的半导体激光元件1。

[0146] 接着,将半导体激光元件1通过接合部件3以结朝下的安装方式与热沉2接合,从而

能够制作图3～图5所示的半导体激光装置100。

[0147] 此时,液态的接合部件3被半导体激光元件1按压,所以液态的接合部件3从半导体激光元件1与热沉2之间伸出,接合部件3会与半导体激光元件1的前端部连接,但在有关本实施方式的半导体激光元件1中,由于在焊盘电极70的前端部没有形成檐部71,所以液态的接合部件3不迂回到突出的檐部71的内侧。结果,如图5所示,接合部件3不会与焊盘电极70的前端面接触,所以形成间隙4。

[0148] 图8是这样实际制作的半导体激光装置100的SEM像。如图8所示,可知在半导体激光装置100中,在与半导体激光元件1的共振器长度方向平行的纵截面中,在接合部件3与焊盘电极70的前端面之间形成有间隙4。

[0149] 接着,使用图9及图10,与比较例的半导体激光装置100X比较来说明有关本实施方式的半导体激光装置100的作用效果。图9是表示比较例的半导体激光装置100X的结构的剖视图。图10是表示有关实施方式1的半导体激光装置100的结构的剖视图。另外,图10是与图5对应的剖视图。

[0150] 如图9所示,在比较例的半导体激光装置100X中,为了抑制COD的发生,接合半导体激光元件1X与热沉2的接合部件3X连接于半导体激光元件1X的前端部。作为接合部件3X而使用AuSn焊料。

[0151] 此外,在比较例的半导体激光装置100X中,半导体激光元件1X的焊盘电极70X的前端面为垂直面,接合部件3X(凸缘3a)覆盖焊盘电极70X的前端面,并且覆盖半导体激光元件1X的露出面61a(即p侧电极层61的表面)的整面。即,与半导体激光元件1X的前端部连接的接合部件3X将焊盘电极70X的前端面及露出面61a的周边区域无间隙地填埋。

[0152] 在这样的结构的情况下,接合部件3X与焊盘电极70X的前端面的接触部分合金化,并且接合部件3X与p侧电极层61的露出面61a的接触部分合金化。因此,在接合部件3X与焊盘电极70X的前端面的界面、以及接合部件3X与p侧电极层61的露出面61a的界面上形成新的合金层。

[0153] 此时,接合部件3X、焊盘电极70X、p侧电极层61和新的合金层的线膨胀系数互不相同。即,在接合部件3X、焊盘电极70X、p侧电极层61和新的合金层的各部件间存在线膨胀系数差。因而,在半导体激光装置100X中,如果温度变化,则因各部件间的线膨胀系数差而在各部件间产生剪切应力。特别是,如图9的点P所示,如果在焊盘电极70X的前端面与p侧电极层61的露出面61a的角部堵塞了接合部件3X,则在该点P处产生较大的剪切应力。结果,半导体激光元件1X的前端部上被施加剪切应力而发生剪切应变,该剪切应变进展到半导体激光元件1X的内部的发光区域。由此,半导体激光元件1X的长期可靠性有可能下降。

[0154] 相对于此,如图10所示,在有关本实施方式的半导体激光装置100中,接合部件3(凸缘3a)连接于半导体激光元件1的前端部的露出面61a,但由于焊盘电极70的前端面的至少一部分以凹陷的方式形成,所以在接合部件3与焊盘电极70的前端面之间形成有间隙4(空隙)。在本实施方式中,通过在焊盘电极70的前端部形成檐部71,焊盘电极70的前端面的一部分凹陷。

[0155] 这样,如果在接合部件3与焊盘电极70的前端面之间存在间隙4,则接合部件3与焊盘电极70的前端面分离,在接合部件3与焊盘电极70的前端面之间不会形成新的合金层。由此,能够抑因由部件之间的线膨胀系数差带来的剪切应力而在半导体激光元件1的前端部

上被施加应力。结果,能够抑制剪切应变进展到半导体激光元件1的内部的发光区域,所以能够抑制半导体激光元件1的长期可靠性下降。

[0156] 进而,在有关本实施方式的半导体激光装置100中,通过存在间隙4,接合部件3与p侧电极层61的露出面61a的一部分分离。因此,也能够减少在接合部件3与p侧电极层61的露出面61a之间形成的合金层。

[0157] 由此,能够进一步抑制因由部件之间的线膨胀系数差引起的剪切应力而在半导体激光元件1的前端部上被施加应力。因而,能够进一步抑制半导体激光元件1的长期可靠性下降。

[0158] 如以上说明,根据有关本实施方式的半导体激光装置100,即使为了抑制COD的发生而在半导体激光元件1的前端部连接了接合部件3,也能够缓和施加在半导体激光元件1上的应力。由此,能够抑制半导体激光元件1的长期可靠性下降。

[0159] 此外,在有关本实施方式的半导体激光装置100中,半导体激光元件1具有在共振器长度方向上延伸的脊部1R,在半导体激光元件1的露出面61a的与共振器长度方向垂直的纵截面中,接合部件3至少遍及脊部1R的宽度的全域而与露出面61a连接。

[0160] 在半导体激光元件1发光时产生的热在脊部1R(脊宽度区域)中最高。因而,如图4A所示,露出面61a中的接合部件3(凸缘3a)不是仅形成于脊部1R的宽度的一部分,而是形成于脊部1R的宽度的整体(即发光区域的整体),从而能够使在半导体激光元件1的前端部的脊宽度区域中产生的热有效地散热。即,能够促进脊部1R中的散热。

[0161] 此外,如图10所示,在有关本实施方式的半导体激光装置100中,接合部件3连接至露出面61a中的半导体激光元件1所具有的半导体层叠结构体20的前端面的位置为止。

[0162] 通过该构成,能够在将半导体激光元件1的前端部的热可靠地散热的同时,通过间隙4有效地减小剪切应变。由此,能够提高半导体激光元件1的长期可靠性。

[0163] 这里,如图10所示,如果设从半导体激光元件1的前端面1a(光射出端面)到焊盘电极70的前端面(焊盘电极端)的间隔为L,使该间隔L变化来测定COD破坏电流,则结果如图11所示。

[0164] 半导体激光元件1的前端面1a与焊盘电极70的前端面的间隔L越短,越容易形成与半导体激光元件1的前端部连接的凸缘3a,所以COD破坏电流越高。相反,如果间隔L变大,则难以形成凸缘3a,所以COD破坏电流减小。因而,根据图11所示的结果,从得到较高的COD破坏电流的观点来看,间隔L优选为15μm以下。

[0165] 另一方面,在将形成有半导体层叠结构体20的晶片劈开而做成条状时,如果从焊盘电极70的上方劈开,则有可能劈开端面变形而对激光特性及可靠性带来影响。因此,优选的是焊盘电极70的前端面从半导体层叠结构体20的前端面离开。因此,间隔L优选的是5μm以上。

[0166] 因而,半导体激光元件1的前端面1a与焊盘电极70的前端面的间隔L优选的是5μm以上且15μm以下。

[0167] 另外,在本实施方式的半导体激光装置100中,如图10所示,半导体激光元件1的前端面1a没有从热沉2的前端面突出,但并不限于此。例如,也可以如图12所示的半导体激光装置100A那样,半导体激光元件1的前端面1a从热沉2的前端面突出。即半导体激光元件1也可以被安装成前端面1a从热沉2的前端面伸出。

[0168] 此外,在本实施方式的半导体激光装置100中,通过在焊盘电极70形成檐部71,焊盘电极70的前端面的一部分凹陷,但并不限于此。例如,也可以如图13所示的半导体激光装置100B那样,在焊盘电极70B不形成檐部71地焊盘电极70B的前端面的一部分凹陷。具体而言,在图13中,焊盘电极70B的前端面的整体为倾斜面。在此情况下,接合部件3与焊盘电极70B的前端面之间的间隙4的截面形状为三角形。即,间隙4的截面形状并不限于梯形。另外,间隙4的截面形状也可以是梯形及三角形以外的形状。

[0169] 此外,在有关本实施方式的半导体激光装置100中,如图14的(a)所示,半导体激光元件1没有翘曲,但半导体激光元件1也可以在共振器长度方向上翘曲。在此情况下,如图14的(b)所示,半导体激光元件1优选的是在共振器长度方向上,以中央部相对于与热沉2接合的面凹陷的方式翘曲。

[0170] 如图14的(a)所示,如果半导体激光元件1不翘曲而是平坦的,则难以在半导体激光元件1的前端部形成接合部件3的凸缘3a,并且在半导体激光元件1的前端面1a与热沉2的前端面接近于同面的情况下,接合部件3有可能会骑到半导体激光元件1的前端面1a(光射出端面)上。

[0171] 相对于此,如图14的(b)所示,在通过接合部件3将半导体激光元件1安装到了热沉2时,如果半导体激光元件1在共振器长度方向上翘曲,则容易在半导体激光元件1的前端部形成接合部件3的凸缘3a,并且能够抑制接合部件3骑到半导体激光元件1的前端面1a上。

[0172] 在此情况下,如图14的(c)所示,如果以半导体激光元件1的共振器长度方向上的中央部成为凸状的方式半导体激光元件1翘曲,则在通过接合部件3接合半导体激光元件1与热沉2时,接合部件3进入到成为凸状的半导体激光元件1的弯曲的内侧,接合部件3有可能不与半导体激光元件1的露出面61a连接。因而,安装到热沉2上的半导体激光元件1优选的是如图14(b)所示在共振器长度方向上沿着凹状。

[0173] 但是,即使半导体激光元件1翘曲成凹状,如图14的(d)所示,如果翘曲量变大,则接合部件3与半导体激光元件1的露出面61a的间隔变大,接合部件3也难以与半导体激光元件1的露出面61a连接。

[0174] 因而,如图14的(b)所示,优选的是,以半导体激光元件1的共振器长度方向上的中央部成为凹状的方式翘曲,并且其翘曲量小。由此,被半导体激光元件1按压的接合部件3在半导体激光元件1的两端侧隆起,所以能够促进半导体激光元件1的露出面61a与接合部件3的接合。

[0175] 这里,在图14的(b)、(c)及(d)所示的半导体激光装置中,如果测定共振器长度方向上的半导体激光元件1的翘曲量,则结果如图15所示。在图15中,(b)、(c)、(d)分别表示图14的(b)、(c)、(d)的各半导体激光元件1的翘曲量。根据图15所示的结果,半导体激光元件1的翘曲量优选的是1μm以上且3μm以下。

[0176] 另外,上述实施方式1的半导体激光元件1的层结构是作为实施例1的一例,并不限于此。例如,上述实施方式1的半导体激光元件1的层结构也可以作为实施例2如以下这样构成。

[0177] 具体而言,基板10是n型GaAs基板,n型半导体层21中,n型缓冲层是由膜厚0.50μm的n－GaAs构成的n型GaAS层,n型第1组成倾斜层是由膜厚0.05μm的n－$Al_xGa_{1-x}As$(x＝0.15～0.353)构成的n型AlGaAs层,n型包层是由膜厚2.40μm的n－$Al_{0.353}Ga_{0.647}As$构成的n型

AlGaAs层,n型第2组成倾斜层是由膜厚0.03μm的n－$Al_xGa_{1-x}As$(x＝0.353～0.323)的n型AlGaAs层。活性层22中,n型导引层是由膜厚0.95μm的n－$Al_{0.323}Ga_{0.677}As$构成的n型AlGaAs层,n侧第2阻挡层是由膜厚0.0250μm的n－$Al_{0.18}Ga_{0.82}As$构成的n型AlGaAs层和由膜厚0.0065μm的$Al_{0.18}Ga_{0.82}As$构成的无掺杂AlGaAs层的两层,n侧第1阻挡层是由0.0035μm的$Al_{0.35}Ga_{0.55}In_{0.10}As$构成的AlGaInAs层,阱层是由膜厚0.0060μm的$In_{0.11}Ga_{0.89}As$构成的InGaAs层,p侧第1阻挡层是由0.0035μm的$Al_{0.35}Ga_{0.55}In_{0.10}As$构成的AlGaInAs层,p侧第2阻挡层是由膜厚0.0065μm的$Al_{0.18}Ga_{0.82}As$构成的无掺杂AlGaAs层和由膜厚0.025μm的p－$Al_{0.18}Ga_{0.82}As$构成的p型AlGaAs层的两层,p型导引层是由膜厚0.1825μm的p－$Al_{0.32}Ga_{0.68}As$构成的p型AlGaAs层。p型半导体层23中,p型第1组成倾斜层是由膜厚0.05μm的p－$Al_xGa_{1-x}As$(x＝0.32～0.70)构成的p型AlGaAs层,p型包层是由膜厚0.75μm的p－$Al_{0.70}Ga_{0.30}As$构成的p型AlGaAs层,p型第2组成倾斜层是由膜厚0.05μm的p－$Al_xGa_{1-x}As$(x＝0.70～0.15)构成的p型AlGaAs层。p型接触层24是由膜厚0.25μm的p－GaAs构成的p型GaAs层。如以上这样构成的实施例2的半导体激光元件1也起到与实施例1的半导体激光元件1同样的效果。

[0178] 此外,实施方式1的半导体激光元件1的层结构作为实施例3也可以如以下这样构成。

[0179] 具体而言,基板10是n型GaAs基板,n型半导体层21中,n型缓冲层是由膜厚0.50μm的n－GaAs构成的n型GaAs层,n型第1组成倾斜层是由膜厚0.05μm的n－$Al_xGa_{1-x}As$(x＝0.15～0.25)构成的n型AlGaAs层,n型包层是由膜厚3.10μm的n－$Al_{0.25}Ga_{0.75}As$构成的n型AlGaAs层,n型第2组成倾斜层是由膜厚0.83μm的n－$Al_xGa_{1-x}As$(x＝0.25～0.2)的n型AlGaAs层。活性层22中,n型导引层是由膜厚0.27μm的n－$Al_{0.20}Ga_{0.80}As$构成的n型AlGaAs层,n侧第2阻挡层是由膜厚0.01μm的$Al_{0.16}Ga_{0.84}As$构成的无掺杂AlGaAs层的单层,阱层是由膜厚0.0090μm的$In_{0.135}a_{0.865}As$构成的InGaAs层,p侧第2阻挡层是由膜厚0.01μm的$Al_{0.16}Ga_{0.84}As$构成的无掺杂AlGaAs层的单层,p型导引层是由膜厚0.01μm的p－$Al_{0.20}Ga_{0.80}As$构成的p型AlGaAs层和由膜厚0.28μm的p－$Al_xGa_{1-x}As$(x＝0.20～0.21)构成的p型AlGaAs层的两层。另外,活性层22不具有n侧第1阻挡层及p侧第1阻挡层。p型半导体层23中,p型第1组成倾斜层是由膜厚0.1μm的p－$Al_xGa_{1-x}As$(x＝0.21～0.70)构成的p型AlGaAs层,p型包层是由膜厚0.55μm的p－$Al_{0.70}Ga_{0.30}As$构成的p型AlGaAs层,p型第2组成倾斜层是由膜厚0.05μm的p－$Al_xGa_{1-x}As$(x＝0.70～0.15)构成的p型AlGaAs层。p型接触层24是由膜厚0.25μm的p－GaAs构成的p型GaAs层。如以上这样构成的实施例3的半导体激光元件1也起到与实施例1的半导体激光元件1同样的效果。进而,实施例3的半导体激光元件1没有形成窗区域22a、前槽部32及后槽部33。此外,在实施例3的半导体激光元件1中,没有形成Al组成比p侧第2阻挡层及n侧第2阻挡层高的n侧第1阻挡层及p侧第1阻挡层。由此,能够使动作电压降低。进而,在实施例3的半导体激光元件1中,n侧第2阻挡层是单层,没有形成n型AlGaAs。由此,能够降低波导损失,所以能够提高斜率效率。

[0180] (实施方式2)

[0181] 接着,使用图16～图18对实施方式2进行说明。图16是有关实施方式2的半导体激光元件1A的平面图。图17A～图17C是有关实施方式2的半导体激光元件1A的剖视图。另外,图17A、图17B及图17C分别表示图16的XVIIA－XVIIA线、图16的XVIIB－XVIIB线及图16的XVIIC－XVIIC线的截面。图18是有关实施方式2的半导体激光装置101的放大剖视图。图18

是与图5对应的剖视图。

[0182] 如图16～图18所示,有关本实施方式的半导体激光元件1A及半导体激光装置101构成为,在上述有关实施方式1的半导体激光元件1及半导体激光装置100中将p侧电极层61作为第1p侧电极层时还具备第2p侧电极层63。具体而言,第2p侧电极层63设置于半导体激光元件1A。

[0183] 如图17A～图17C所示,第2p侧电极层63形成在焊盘电极70之上,并且也形成在p侧电极层61之上。因而,如图18所示,在半导体激光装置101中,第2p侧电极层63形成于焊盘电极70中的热沉2侧的面和p侧电极层61中的热沉2侧的面。

[0184] 并且,如图18所示,在半导体激光元件1A的前端部,在p侧电极层61之上形成有第2p侧电极层63。因此,在本实施方式中,半导体激光元件1A的前端部的露出面不是p侧电极层61的表面,而是第2p侧电极层63的表面。因而,与半导体激光元件1A的前端部连接的接合部件3(凸缘3a)不是与p侧电极层61而是与第2p侧电极层63连接。

[0185] 第2p侧电极层63是由金属材料构成的金属层。第2p侧电极层63例如是由Pt、Ti、Cr、Ni、Mo及Au的至少一种形成的单层膜或多层膜。在本实施方式中,第2p侧电极层63由与p侧电极层61相同的多层膜构成。因而,第2p侧电极层63是从焊盘电极70侧依次层叠有Ti膜、Pt膜及Au膜的3层结构的多层膜。

[0186] 另外,除了追加有第2p侧电极层63以外,有关本实施方式的半导体激光元件1A及半导体激光装置101是与上述有关实施方式1的半导体激光元件1及半导体激光装置100相同的构成。

[0187] 因而,在有关本实施方式的半导体激光装置101中,也与上述有关实施方式1的半导体激光装置100同样,在半导体激光元件1A的前端部的露出面61a上连接着接合部件3(凸缘3a),但以焊盘电极70的前端面的至少一部分凹陷的方式形成。并且,在接合部件3与焊盘电极70的前端面之间形成有间隙4(空隙)。

[0188] 通过该构成,能够抑制接合部件3和焊盘电极70的合金化,所以能够抑制半导体激光元件1A的前端部上被施加应力。因而,能够抑制在半导体激光元件1A中发生的应变,所以能够抑制半导体激光元件1A的长期可靠性下降。

[0189] 进而,在有关本实施方式的半导体激光装置101中,在焊盘电极70之上和p侧电极层61之上形成有第2p侧电极层63,与半导体激光元件1A的前端部连接的接合部件3(凸缘3a)与第2p侧电极层63连接。

[0190] 通过该构成,能够进一步抑制由接合部件3与半导体激光元件1A接触而形成的合金层引起的剪切应力的影响,所以能够进一步抑制在半导体激光元件1A中发生的应变。结果,有关本实施方式的半导体激光装置101与上述有关实施方式的半导体激光装置100相比能够提高长期可靠性。

[0191] 另外,在本实施方式的半导体激光装置101中,如图18所示,半导体激光元件1A的前端面1a没有从热沉2的前端面突出,但并不限于此。例如,也可以如图19所示的半导体激光装置101A那样,半导体激光元件1A的前端面1a从热沉2的前端面突出。即,半导体激光元件1A也可以被安装成前端面1a从热沉2的前端面伸出。

[0192] 此外,本实施方式的半导体激光元件1A能够依据上述有关实施方式1的半导体激光元件1的制造方法来制作。具体而言,图6A～图6F为止,能够用与上述实施方式1同样的方

法制作。

[0193] 并且,在本实施方式中,在形成焊盘电极70之后,如图20A的(a)及(b)所示,在焊盘电极70之上和p侧电极层61之上形成第2p侧电极层63。具体而言,通过电子束蒸镀法,在焊盘电极70之上和p侧电极层61之上形成由Ti膜、Pt膜和Au膜的层叠膜构成的第2p侧电极层63。

[0194] 接着,如图20B的(a)及(b)所示,在基板10的下表面形成n侧电极层62。具体而言,通过从基板10侧使AuGe膜、Ni膜、Au膜、Ti膜、Pt膜及Au膜依次成膜,在基板10的下表面形成n侧电极层62。

[0195] 然后,虽然没有图示,但与上述实施方式1同样,可以通过将形成有规定形状的半导体层叠结构体20的基板10(晶片)分离为多个条状,进而进行芯片分离,能够制作单片状的半导体激光元件1A。

[0196] 另外,在图20A及图20B的各图中,(a)表示与图17A对应的截面(电流注入区域的截面),(b)表示与图17B对应的截面(前端部的电流非注入区域的截面)。

[0197] (实施方式3)

[0198] 接着,使用图21～图22C对实施方式3进行说明。图21是有关实施方式3的半导体激光元件1B的平面图。图22A～图22C是有关实施方式2的半导体激光装置102的剖视图。另外,图22A、图22B及图22C分别表示在与图21的XXIIA－XXIIA线、图21的XXIIB－XXIIB线及图21的XXIIC－XXIIC线对应的部分处将有关实施方式3的半导体激光装置102切断时的截面的一部分。另外,在图21中,为了表示第2焊盘电极90的位置,方便起见施以了阴影。

[0199] 如图21～图22C所示,有关本实施方式的半导体激光元件1B及半导体激光装置102构成为,在上述有关实施方式2的半导体激光元件1A及半导体激光装置101中在将焊盘电极70作为第1焊盘电极时还具备第2焊盘电极90。具体而言,第2焊盘电极90设置于半导体激光元件1B。

[0200] 第2焊盘电极90形成于在半导体激光元件1B的共振器长度方向上延伸的光波导的两侧。在本实施方式中,作为光波导而形成有脊部1R,所以如图21所示,在俯视中,第2焊盘电极90形成在脊部1R的两侧。具体而言,第2焊盘电极90以夹着脊部1R的方式形成有两个。两个第2焊盘电极90以在半导体激光元件1B的共振器长度方向上延伸的方式平行地形成。另外,各第2焊盘电极90的宽度为一定,各第2焊盘电极90的俯视形状是长条状的矩形。

[0201] 此外,如图22B及图22C所示,第2焊盘电极90形成在焊盘电极70(第1焊盘电极)的热沉2侧。即,第2焊盘电极90形成在焊盘电极70的与p侧电极层61侧相反一侧的面。因而,焊盘电极70为被p侧电极层61和第2焊盘电极90夹着的构成。

[0202] 另外,除了追加有第2焊盘电极90以外,有关本实施方式的半导体激光元件1B及半导体激光装置102是与上述有关实施方式2的半导体激光元件1A及半导体激光装置101相同的结构。

[0203] 因而,在有关本实施方式的半导体激光装置102中,也与上述有关实施方式2的半导体激光装置101同样,在半导体激光元件1B的前端部的露出面61a上连接着接合部件3(凸缘3a),但焊盘电极70的前端面的至少一部分以凹陷的方式形成。并且,在接合部件3与焊盘电极70的前端面之间形成有间隙4(空隙)。

[0204] 通过该构成,能够抑制接合部件3与焊盘电极70的合金化,所以能够抑制半导体激

光元件1B的前端部上被施加应力。因而,能够抑制在半导体激光元件1B上发生的应变,所以能够抑制半导体激光元件1B的长期可靠性下降。

[0205] 此外,在有关本实施方式的半导体激光装置102中,也与上述实施方式2同样,在焊盘电极70之上和p侧电极层61之上形成有第2p侧电极层63,与半导体激光元件1B的前端部连接的接合部件3(凸缘3a)与第2p侧电极层63连接。

[0206] 通过该构成,与上述实施方式2同样,能够抑制在半导体激光元件1B中发生的应变,所以能够提高长期可靠性。

[0207] 进而,在有关本实施方式的半导体激光装置102中,在焊盘电极70的热沉2侧形成有第2焊盘电极90,第2焊盘电极90形成于在半导体激光元件1B的共振器长度方向上延伸的光波导的两侧。

[0208] 通过该构成,当通过接合部件3将半导体激光元件1B安装到热沉2时,能够限制半导体激光元件1B与热沉2之间的接合部件3在横向上扩展而使其在共振器长度方向上浸润扩展。由此,能够促进在半导体激光元件1B的前端部的脊宽度区域中形成接合部件3的凸缘3a。因而,在半导体激光元件1B发光时产生的热在脊部1R(脊宽度区域)成为最高,所以通过在半导体激光元件1B的前端部的脊宽度区域中形成接合部件3的凸缘3a,能够使在半导体激光元件1B的前端部的脊宽度区域中产生的热有效地散热。

[0209] 另外,虽然没有图示,但在本实施方式的半导体激光装置102中也是半导体激光元件1B的前端面1a也可以从热沉2的前端面突出。

[0210] 此外,本实施方式的半导体激光元件1B能够依据有关上述实施方式1、2的半导体激光元件1、1A的制造方法制作。具体而言,图6A～图6F为止,可以用与上述实施方式1、2同样的方法制作。

[0211] 并且,在本实施方式中,在形成焊盘电极70之后,如图23A的(a)及(b)所示,在焊盘电极70之上形成一对第2焊盘电极90,然后,以将第2焊盘电极90覆盖的方式在焊盘电极70之上形成第2p侧电极层63,并且在p侧电极层61之上形成第2p侧电极层63。

[0212] 接着,如图23B的(a)及(b)所示,与上述实施方式1、2同样,在基板10的下表面形成n侧电极层62。

[0213] 然后,虽然没有图示,但与上述实施方式2同样,可以通过将形成有规定形状的半导体层叠结构体20的基板10(晶片)分离为多个条状,进而进行芯片分离,来制作单片状的半导体激光元件1B。

[0214] 另外,在图23A及图23B的各图中,(a)表示电流注入区域的截面,(b)表示半导体激光元件1B的前端部的电流非注入区域的截面。

[0215] 此外,在上述实施方式的半导体激光元件1B中,各第2焊盘电极90沿着共振器长度方向连续地形成,但并不限于此。例如,也可以如图24所示的半导体激光元件1D那样,各第2焊盘电极90D也可以沿着共振器长度方向断续地形成。即,第2焊盘电极90D也可以在共振器长度方向上部分地分断。

[0216] 此外,在上述实施方式的半导体激光元件1B中,各第2焊盘电极90是长条状的矩形,但并不限于此。例如,也可以如图25所示的半导体激光元件1E那样,在俯视中在第2焊盘电极90E的长边方向的两端部分别形成有向内侧突出的突出部。由此,在通过接合部件3将半导体激光元件1E安装到热沉2时,在共振器长度方向上浸润扩散的接合部件3在半导体激

光元件的前端部向内侧进展。因而,能够在半导体激光元件1E的前端部的脊宽度区域中容易地形成接合部件3的凸缘3a。

[0217] (变形例)

[0218] 以上,基于实施方式对有关本公开的半导体激光装置及半导体激光元件等进行说明,但本公开并不限定于上述实施方式。

[0219] 例如,在上述实施方式1～3中,半导体激光元件构成为射出红外光的激光,但并不限于此。例如,半导体激光元件也可以构成为射出可视光或紫外光的激光。

[0220] 此外,在上述实施方式1～3中,半导体激光元件由AlGaInAs系的III—V族半导体材料构成,但并不限于此。例如,半导体激光元件也可以是由氮化物系半导体材料构成的氮化物系半导体激光元件。

[0221] 除此以外,对上述实施方式施以本领域技术人员想到的各种变形而得到的形态、在不脱离本公开的主旨的范围中通过将各实施方式的构成要素及功能任意地组合而实现的形态也包含在本公开中。

[0222] 工业实用性

[0223] 有关本公开的半导体激光装置及半导体激光元件能够应用于以激光加工装置等为代表的各种产品的光源。

[0224] 标号说明

[0225] 1、1A、1B、1D、1E半导体激光元件

[0226] 1a前端面

[0227] 1b 后端面

[0228] 1R 脊部

[0229] 2 热沉

[0230] 2a热沉主体

[0231] 2b第1导体层

[0232] 2c第2导体层

[0233] 2d第3导体层

[0234] 2e第4导体层

[0235] 3接合部件

[0236] 3a凸缘

[0237] 4间隙

[0238] 5a、5b凸部

[0239] 10基板

[0240] 20半导体层叠结构体

[0241] 20a第1端面覆膜

[0242] 20b第2端面覆膜

[0243] 20c 分离槽

[0244] 21 n型半导体层

[0245] 22 活性层

[0246] 22a窗区域

[0247] 23p型半导体层

[0248] 24p型接触层

[0249] 30开口部

[0250] 30a底部

[0251] 31 横槽部

[0252] 32 前槽部

[0253] 33 后槽部

[0254] 40翼部

[0255] 50绝缘膜

[0256] 50a开口部

[0257] 61 p侧电极层

[0258] 61a露出面

[0259] 62 n侧电极层

[0260] 63第2p侧电极层

[0261] 70、70B焊盘电极

[0262] 70a凹部

[0263] 71檐部

[0264] 80抗蚀剂

[0265] 90、90D、90E第2焊盘电极

[0266] 100、100A、100B、101、101A、102半导体激光装置

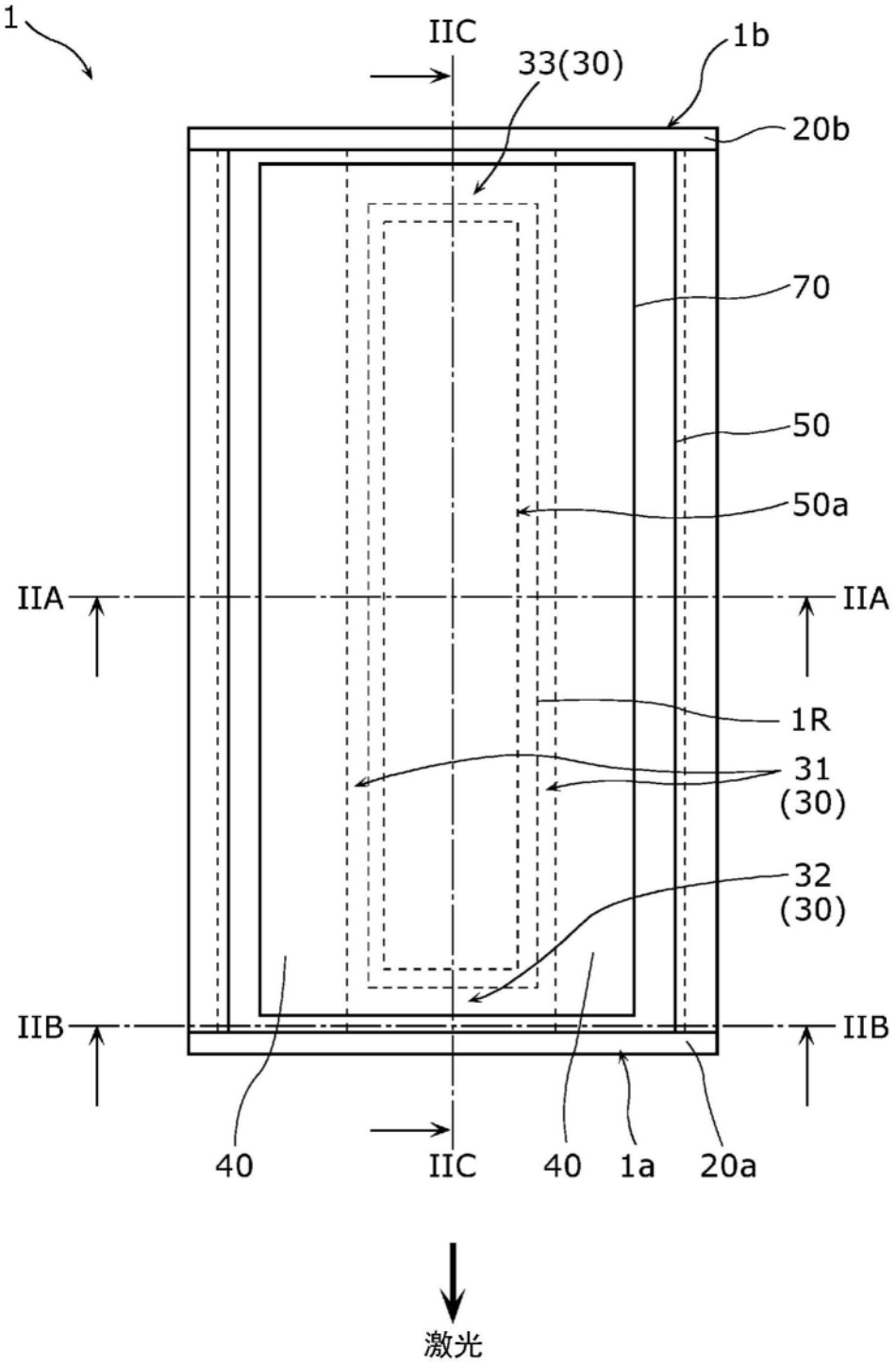

1
IIC
33(30)
1b
20b
70
50
50a
IIA
IIA
1R
31
(30)
32
(30)
IIB
IIB
40
IIC
40
1a
20a
激光

图1

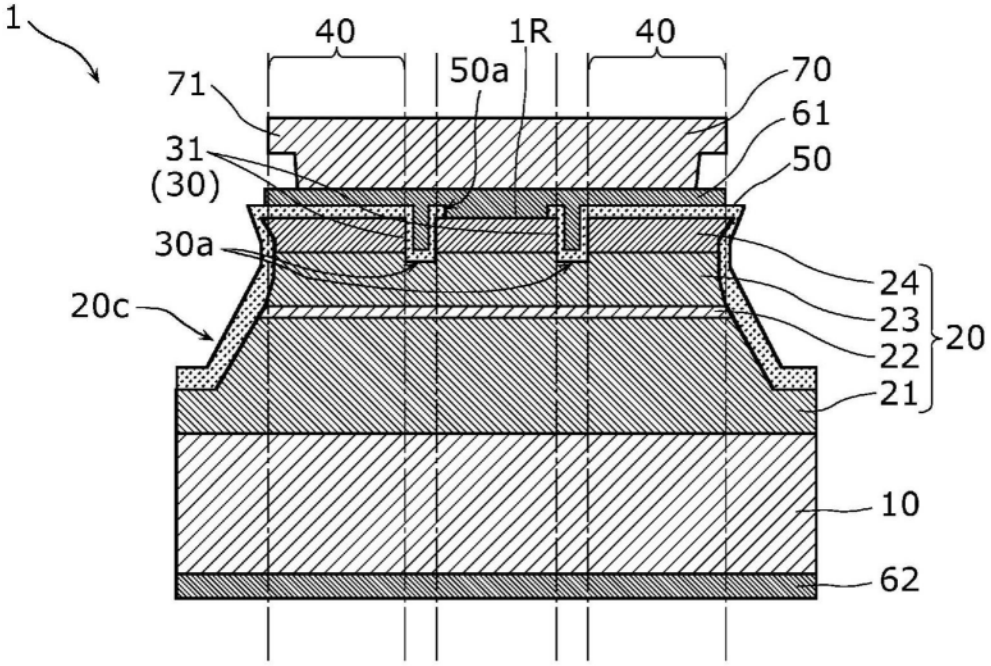

1
40
1R
40
71
50a
70
61
31
(30)
50
30a
24
23
22
21
20
20c
10
62

图2A

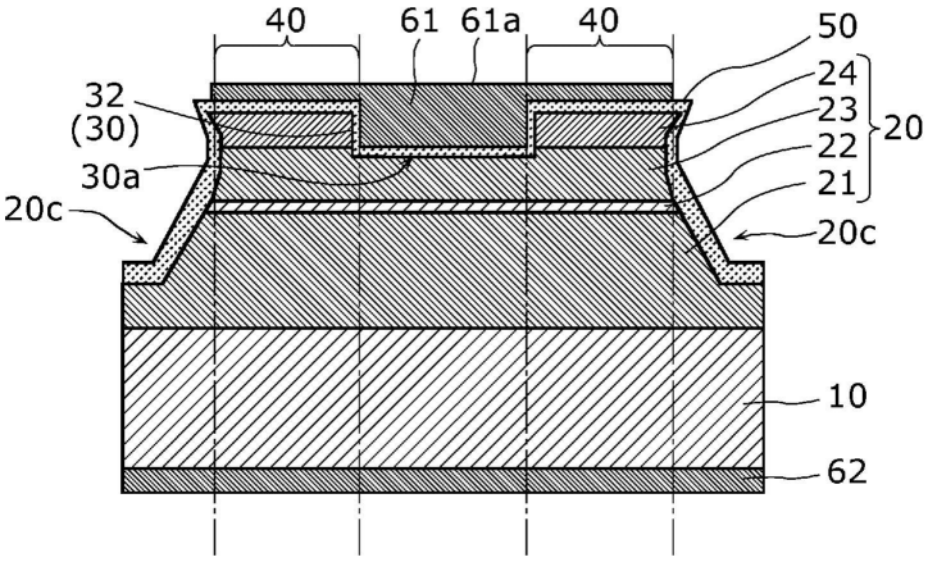

40
61
61a
40
50
24
23
22
21
20
32
(30)
30a
20c
20c
10
62

图2B

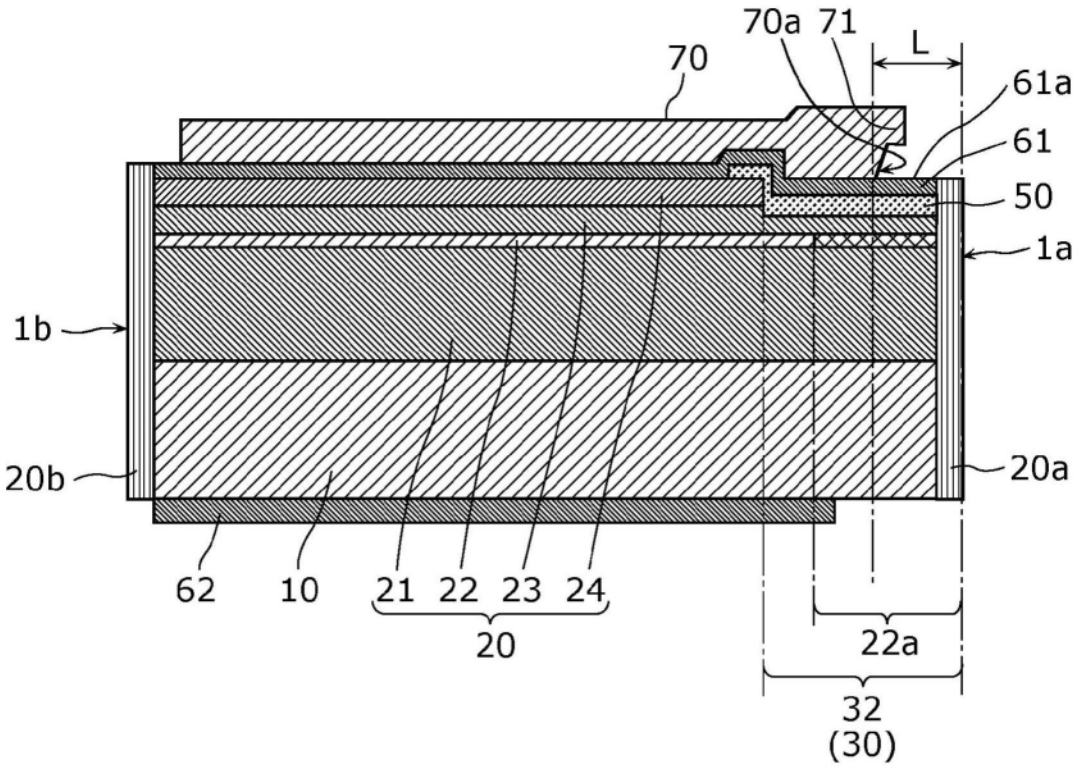


图2C

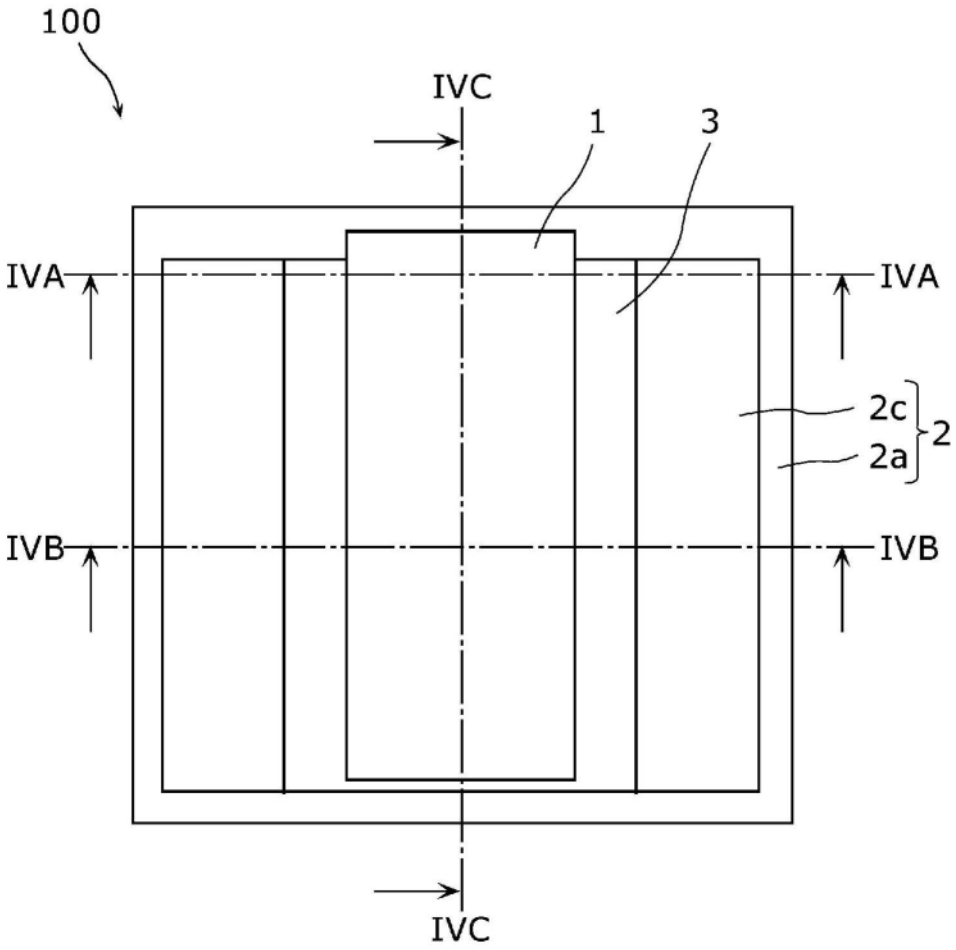


图3

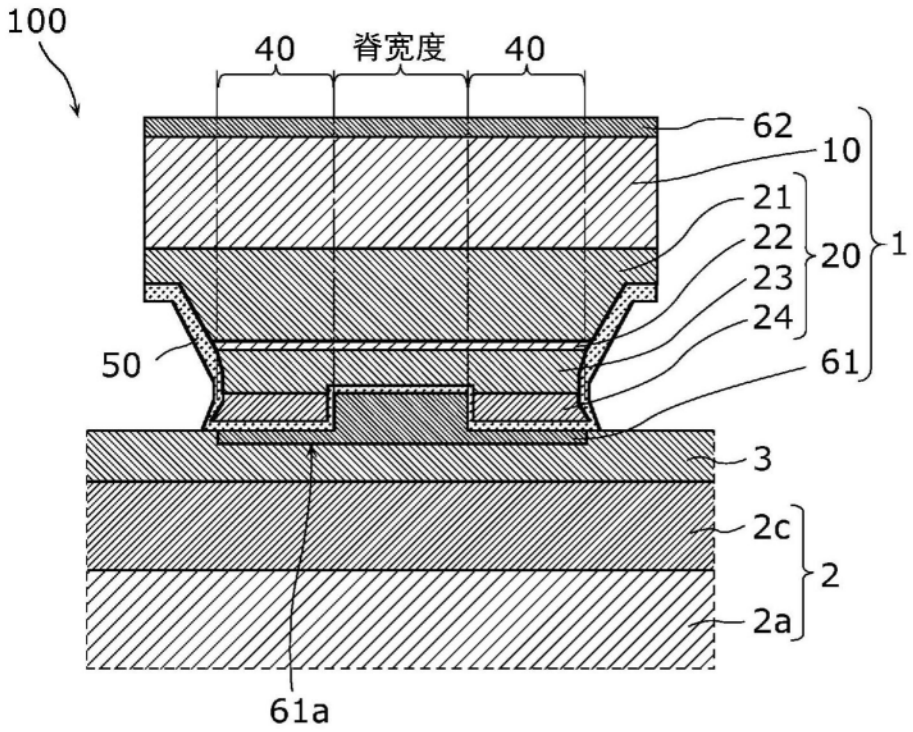

100
40
脊宽度
40
62
10
21
22
23
24
20
1
50
61
3
2c
2
2a
61a

图4A

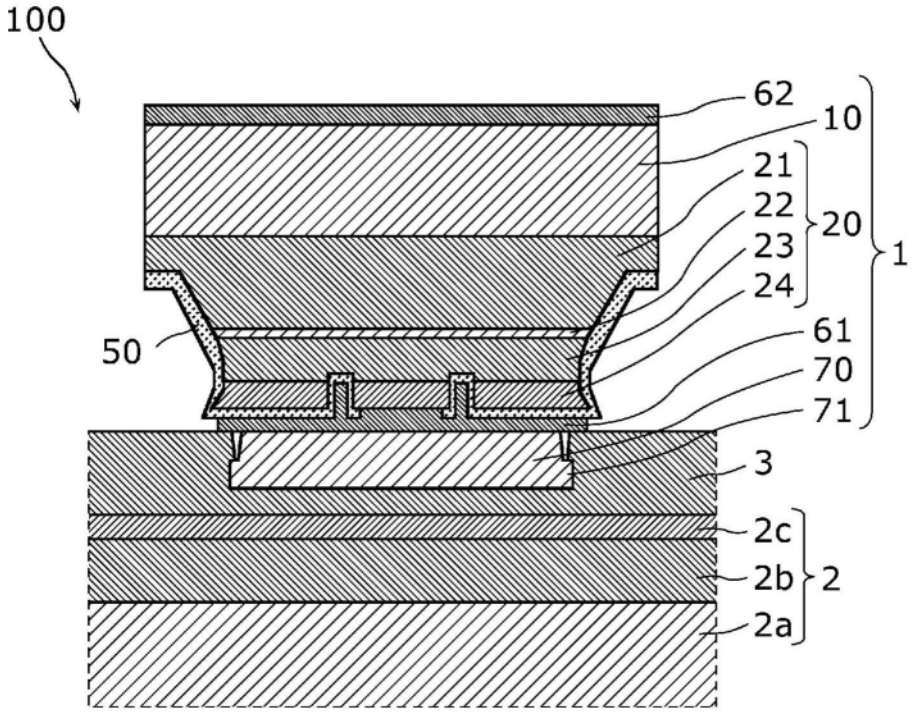

100
62
10
21
22
23
24
20
1
50
61
70
71
3
2c
2b
2
2a

图4B

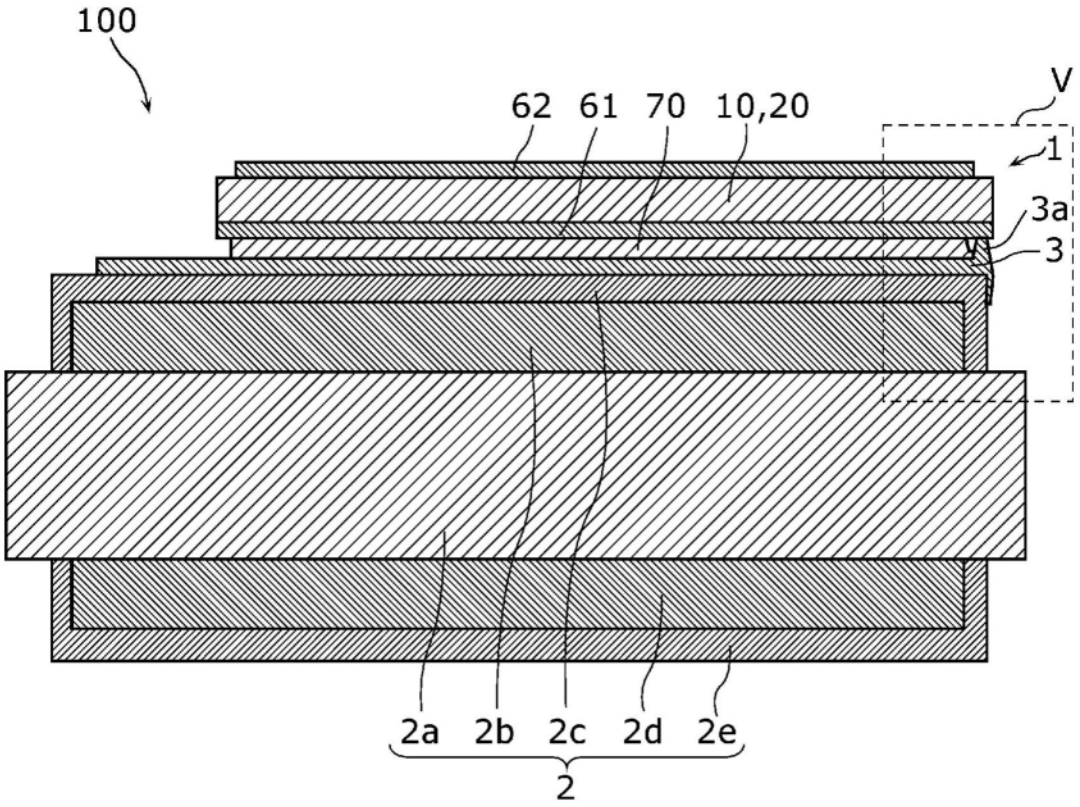


图4C

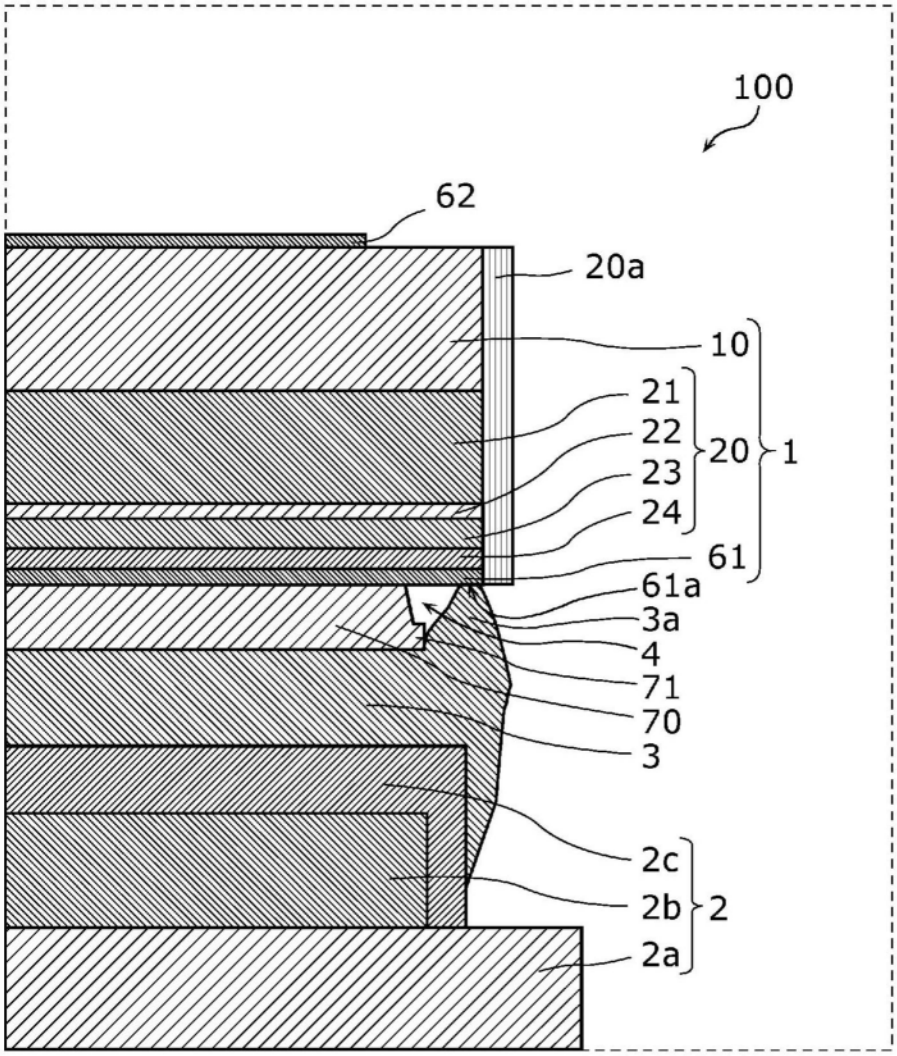

100
62
20a
10
21
22
20
23
24
1
61
61a
3a
4
71
70
3
2c
2b
2
2a

图5

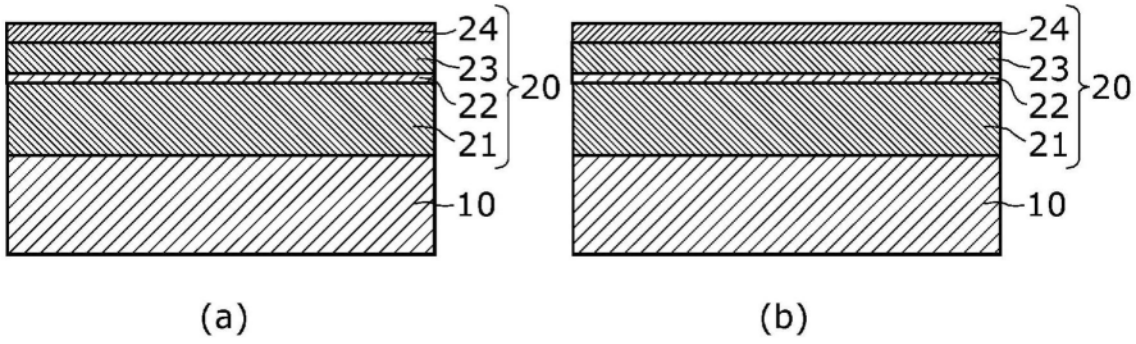

24
23
22
20
21
10
(a)
24
23
22
20
21
10
(b)

图6A

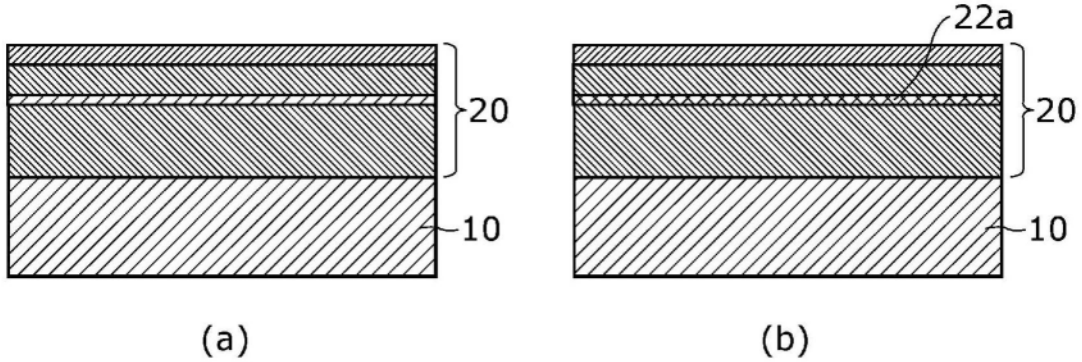

22a
20
10
(a)
(b)

图6B

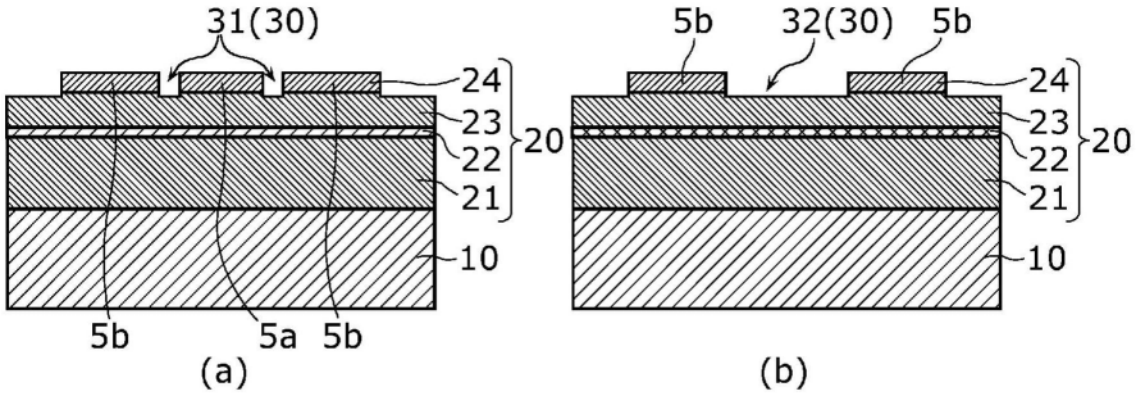

31(30)
24
23
22
21
20
10
5b
5a
5b
(a)
5b
32(30)
5b
24
23
22
21
20
10
(b)

图6C

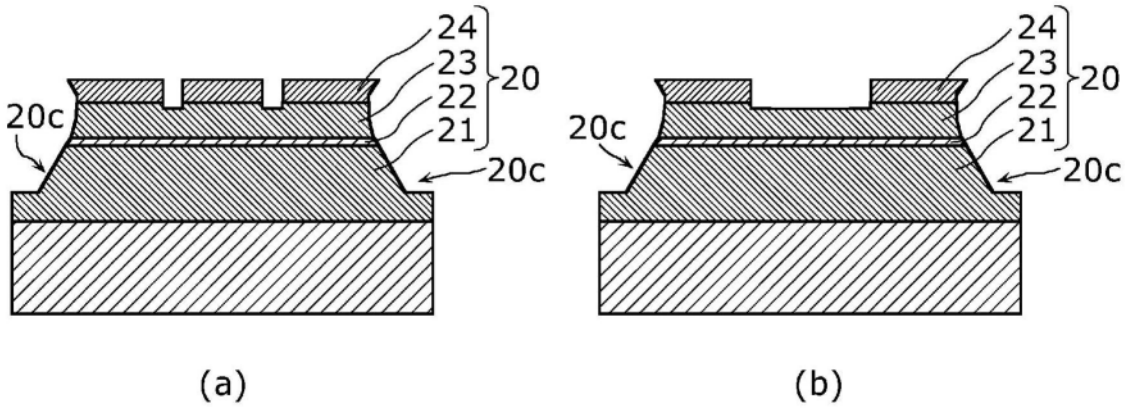

24
23
22
21
20
20c
20c
(a)
24
23
22
21
20
20c
20c
(b)

图6D

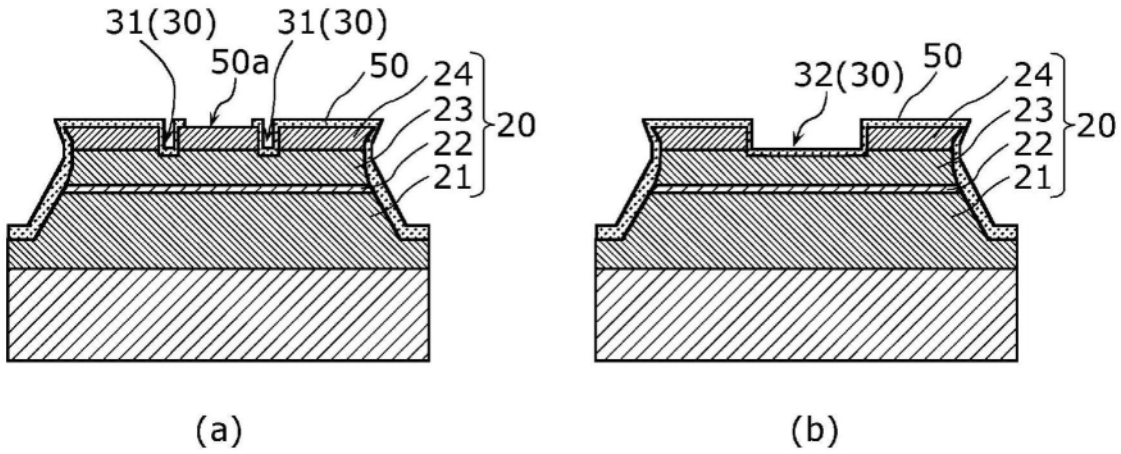

31(30)
31(30)
50a
50
24
23
22
21
20
(a)
32(30)
50
24
23
22
21
20
(b)

图6E

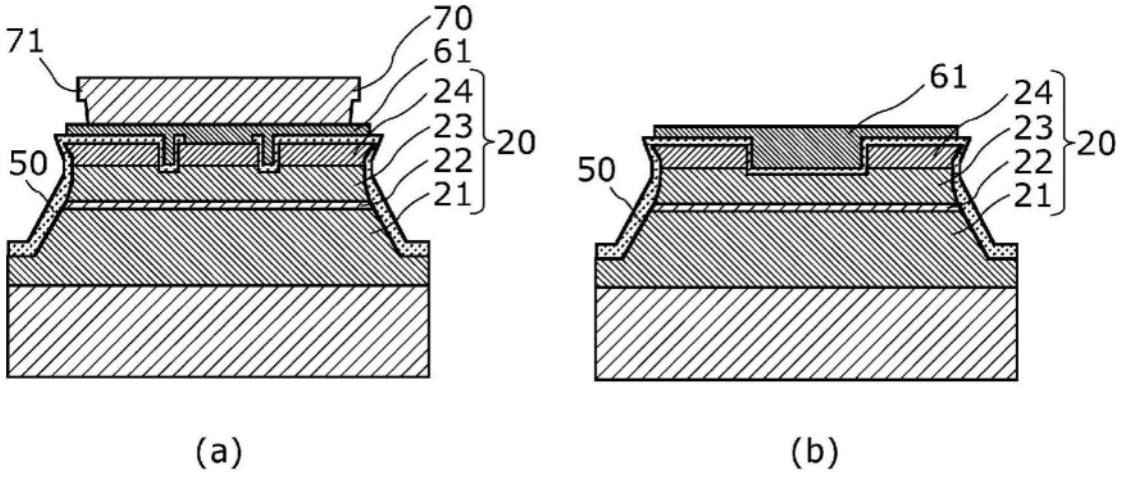

71
70
61
24
23
22
21
20
50
(a)
61
24
23
22
21
20
50
(b)

图6F

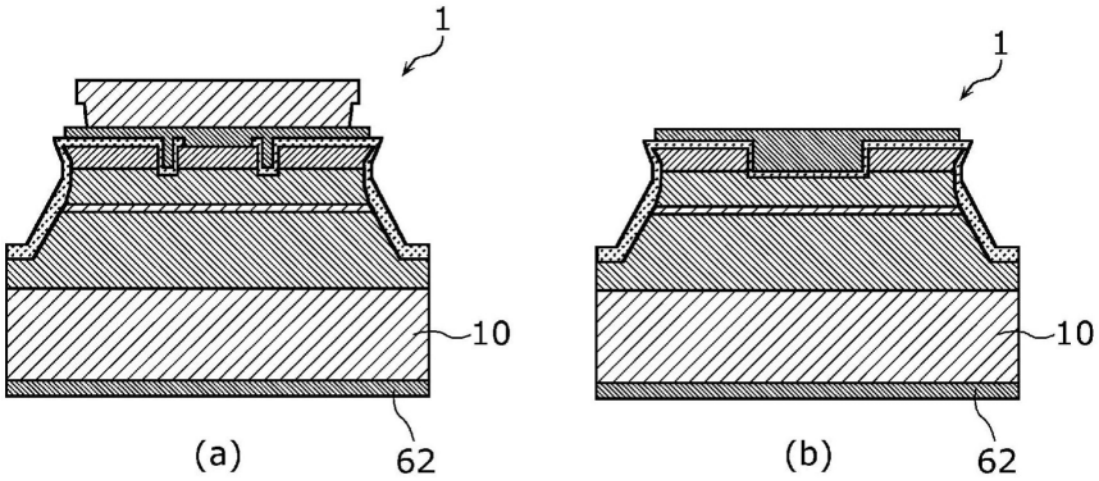

1
10
62
(a)
1
10
62
(b)

图6G

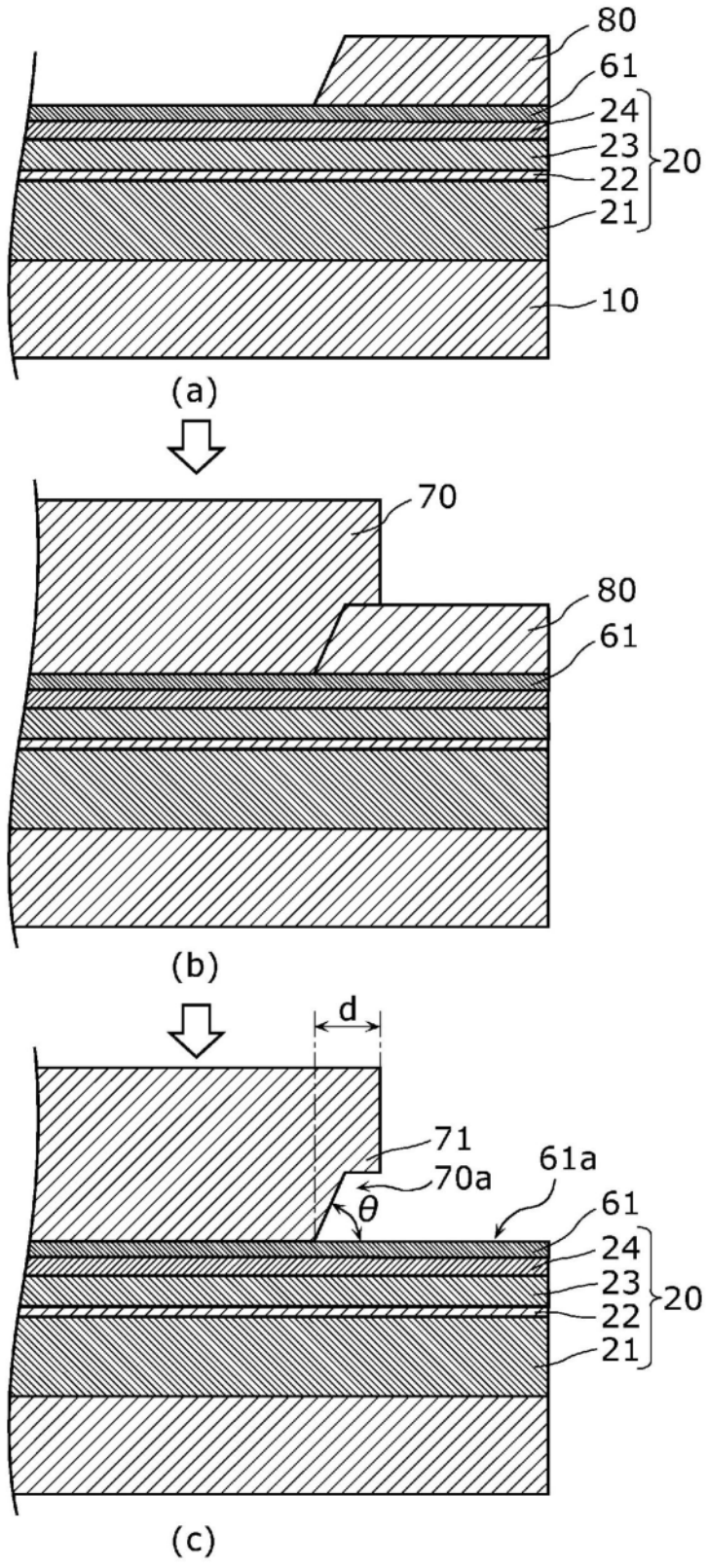


图7

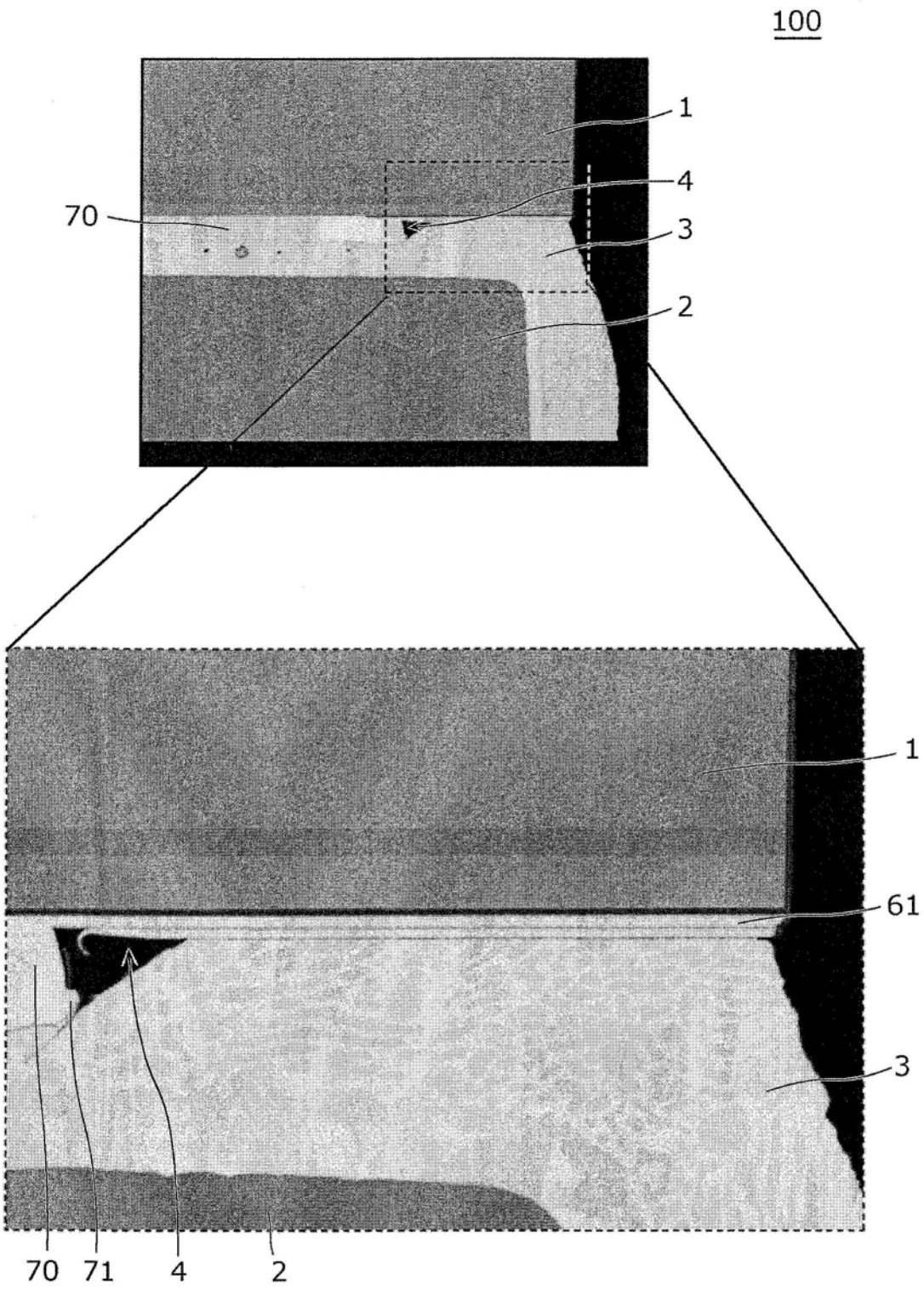


图8

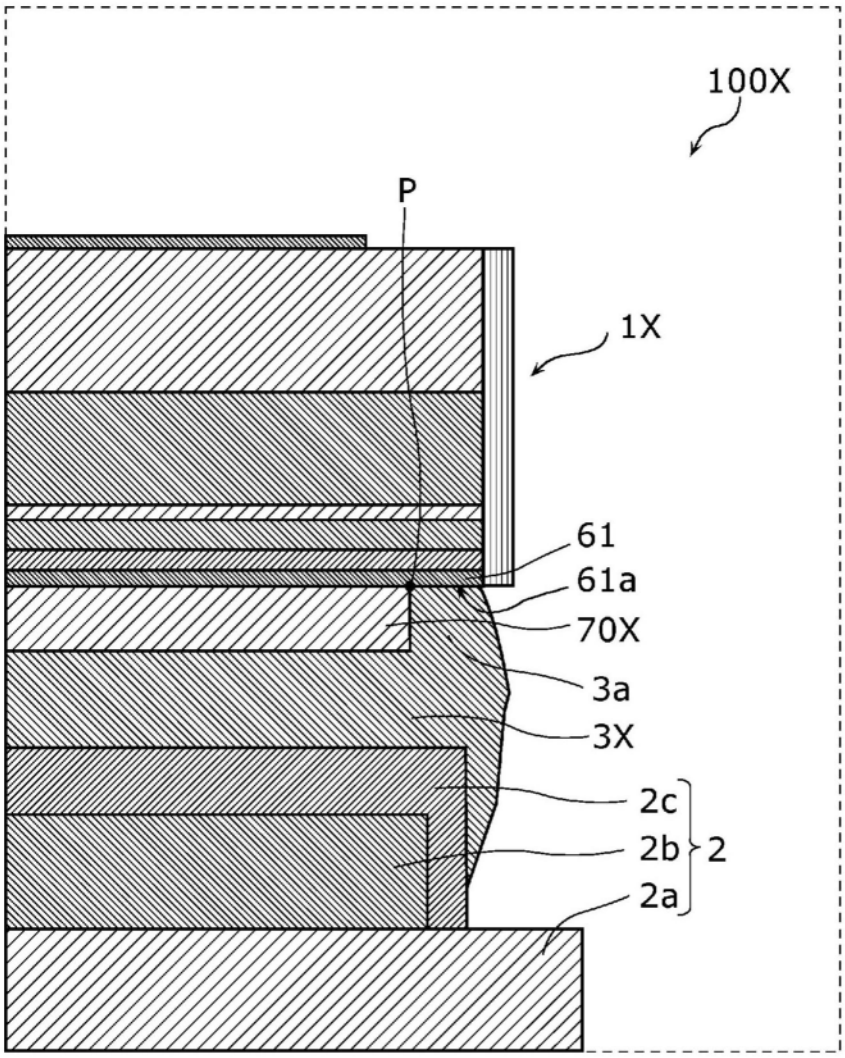


图9

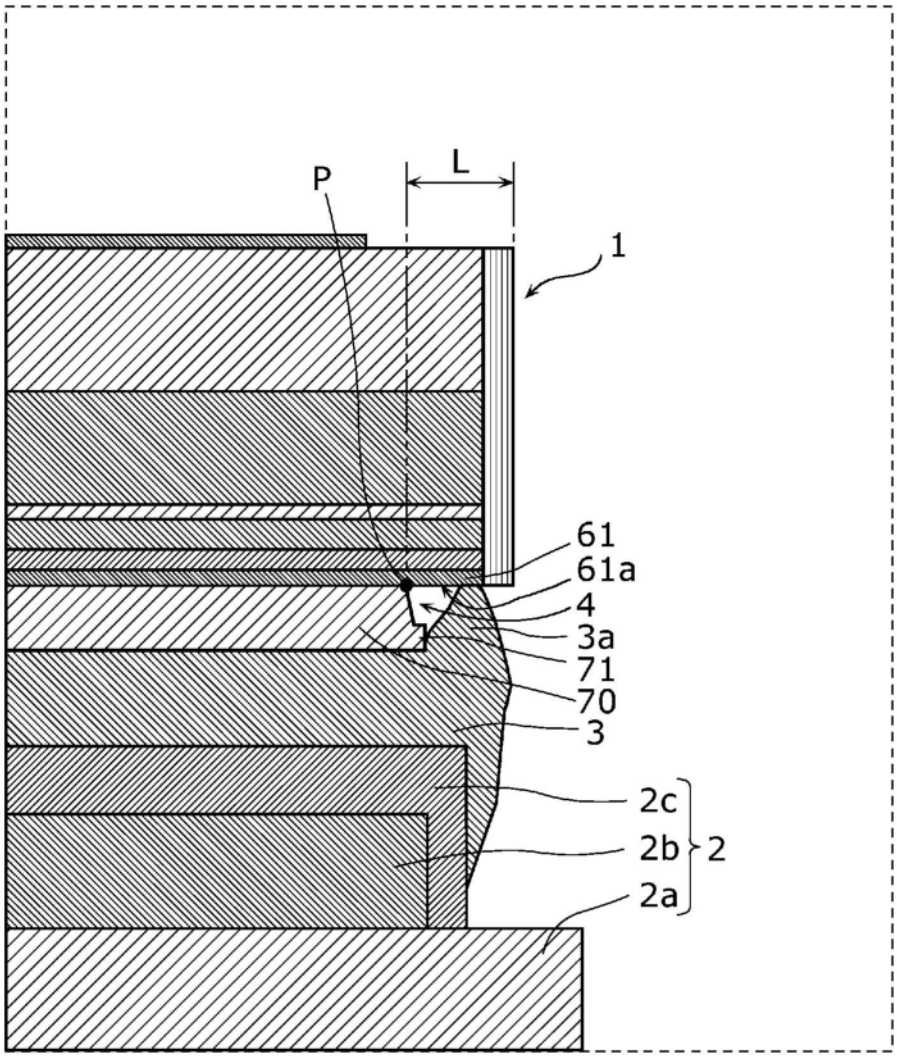


图10

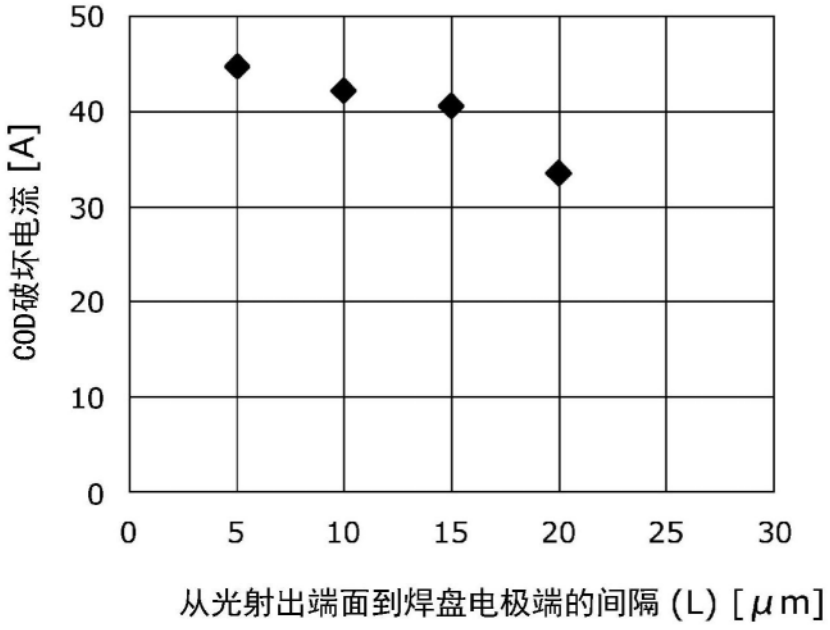


图11

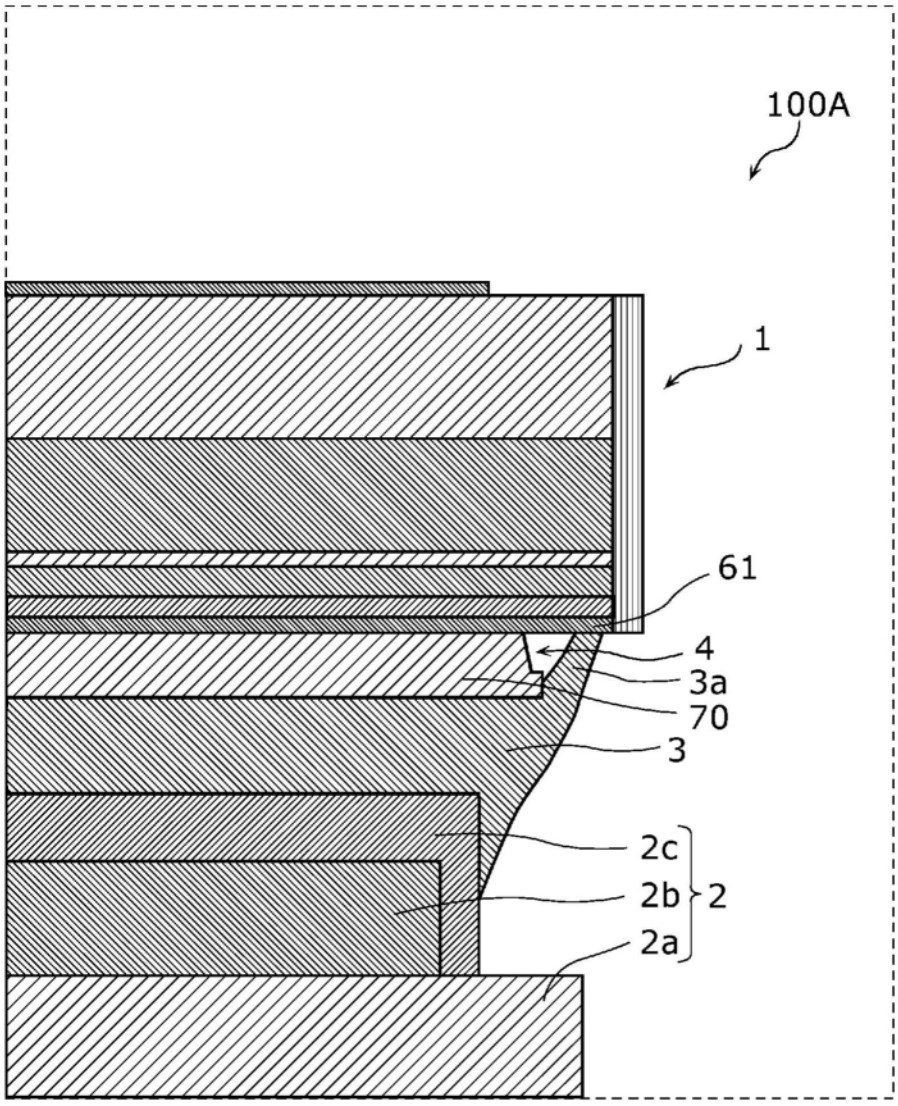


图12

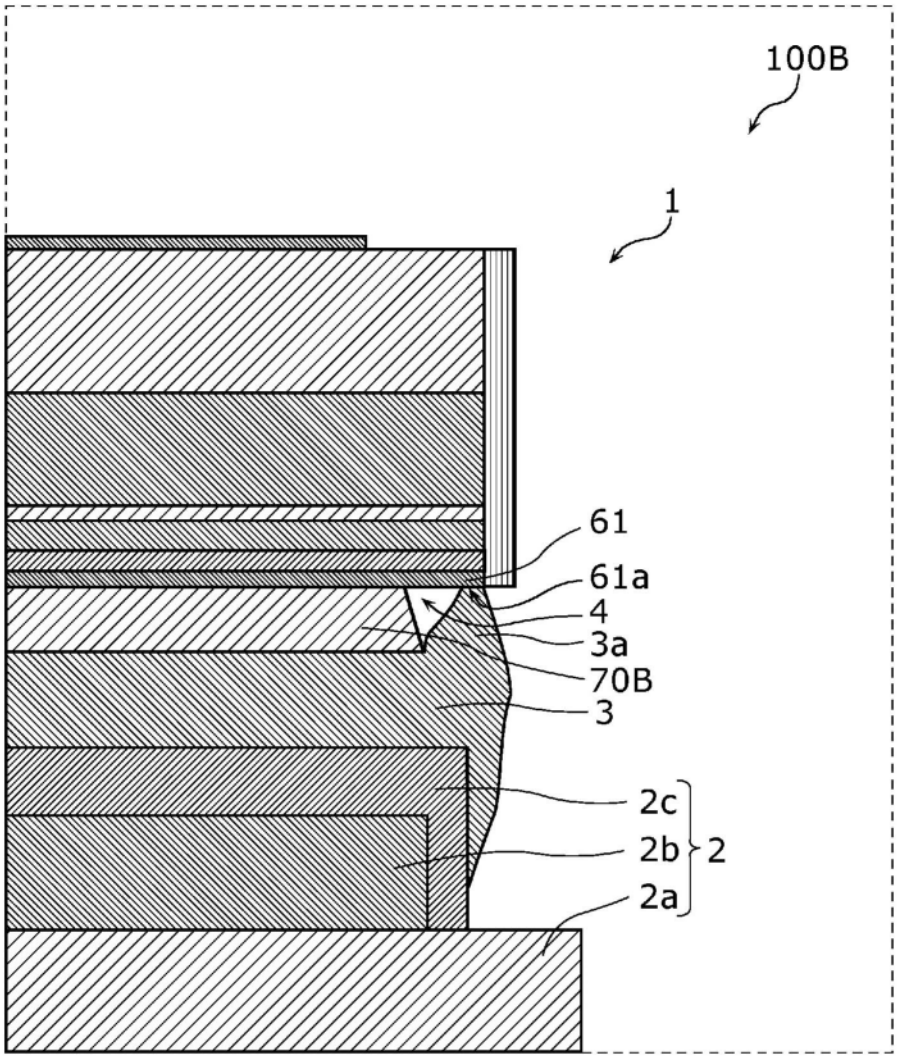


图13

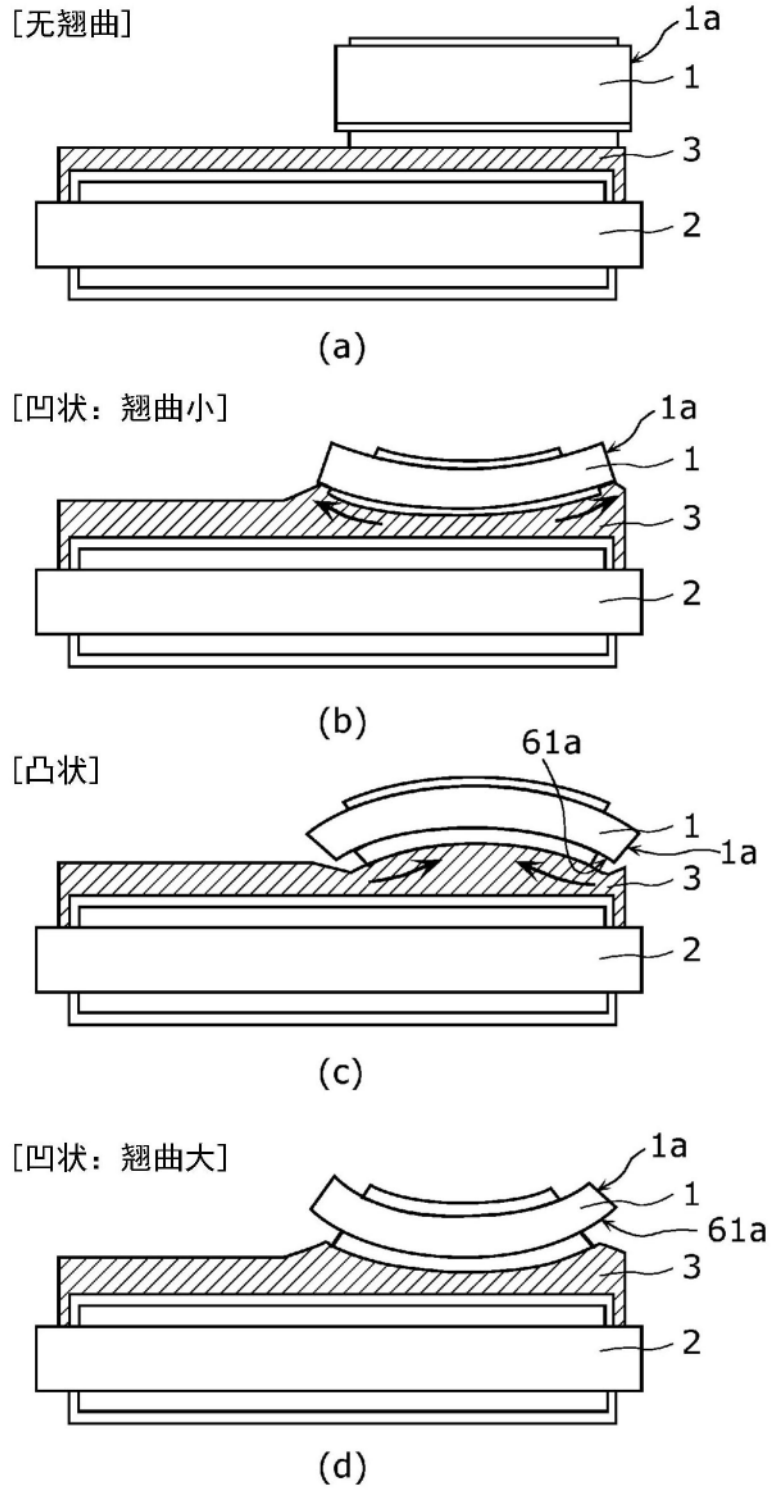


图14

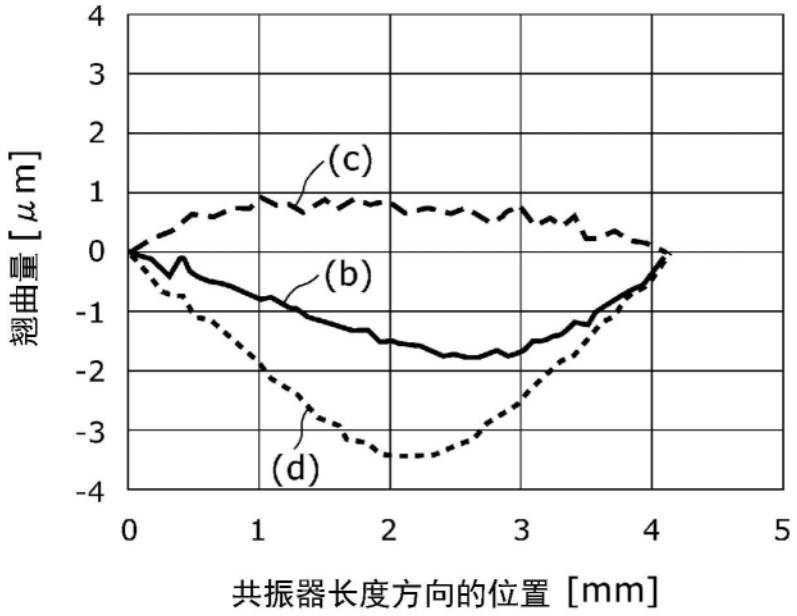


图15

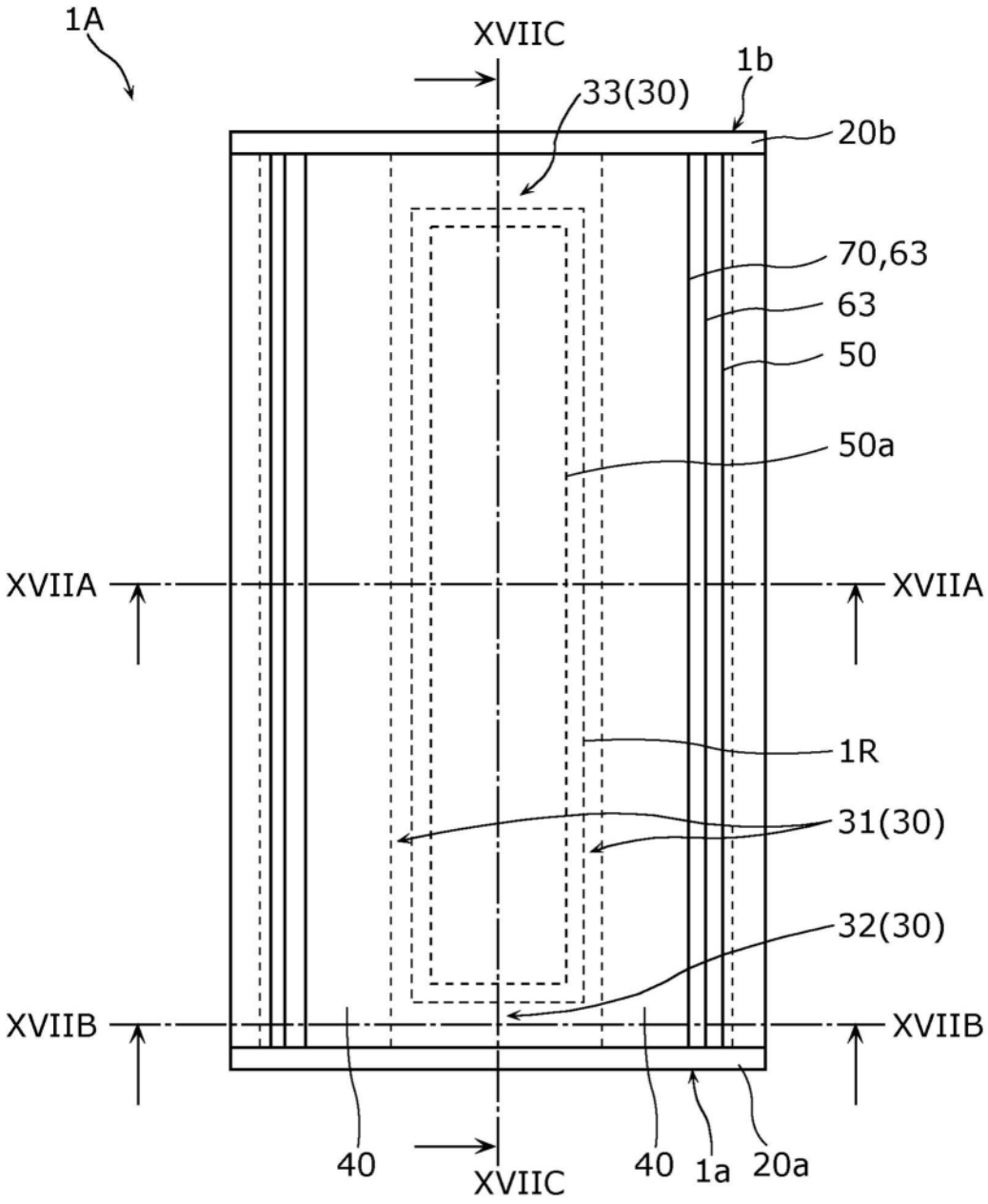

1A
XVIIC
1b
33(30)
20b
70,63
63
50
50a
XVIIA
XVIIA
1R
31(30)
32(30)
XVIIB
XVIIB
40
XVIIC
40
1a
20a

图16

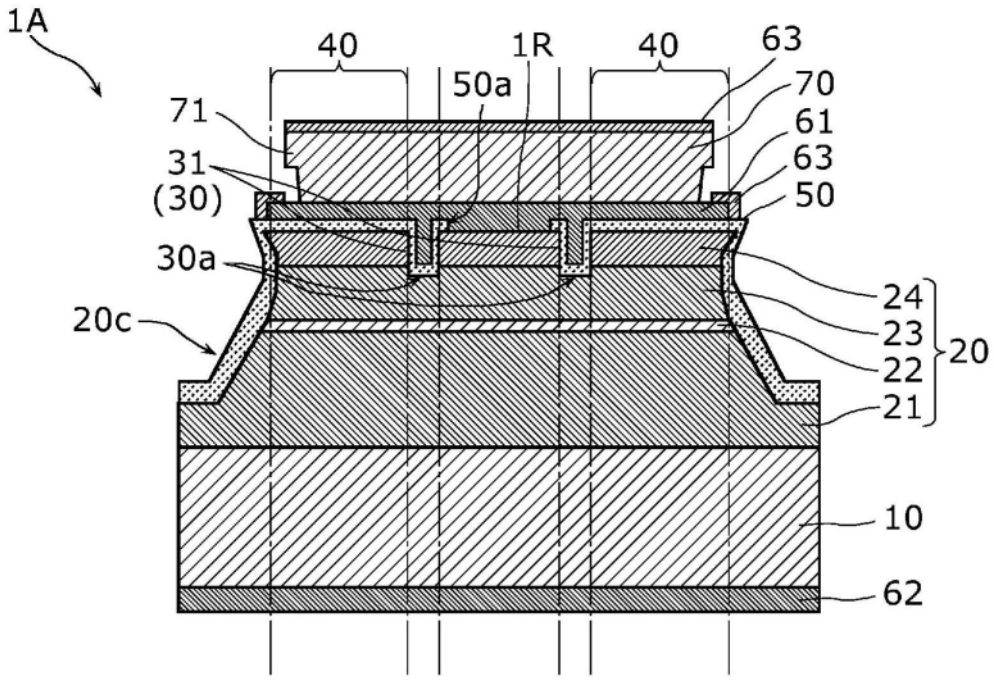

1A
40
1R
40
63
50a
70
71
61
31
63
(30)
50
30a
24
20c
23
20
22
21
10
62

图17A

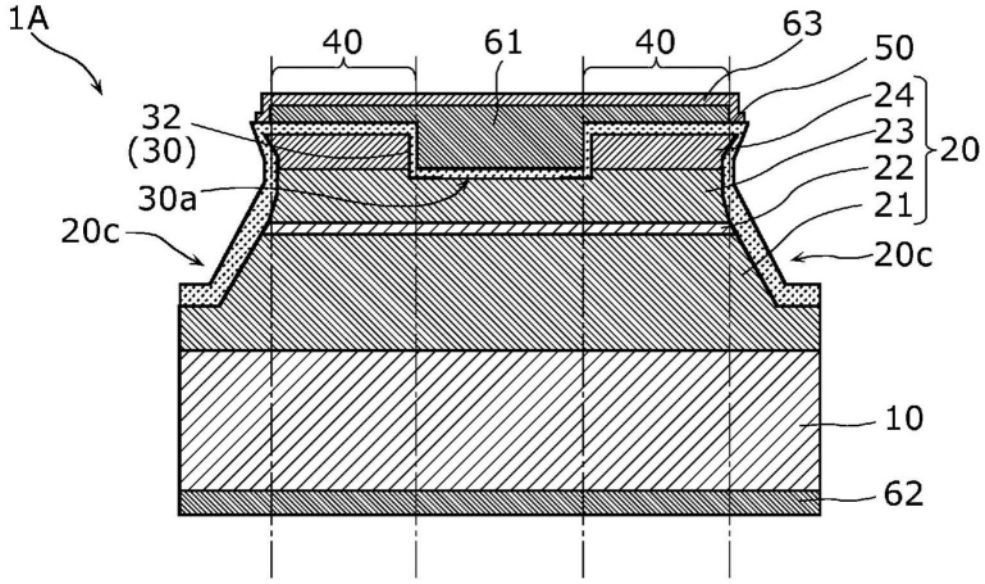

1A
40
61
40
63
50
24
32
23
20
(30)
22
30a
21
20c
20c
10
62

图17B

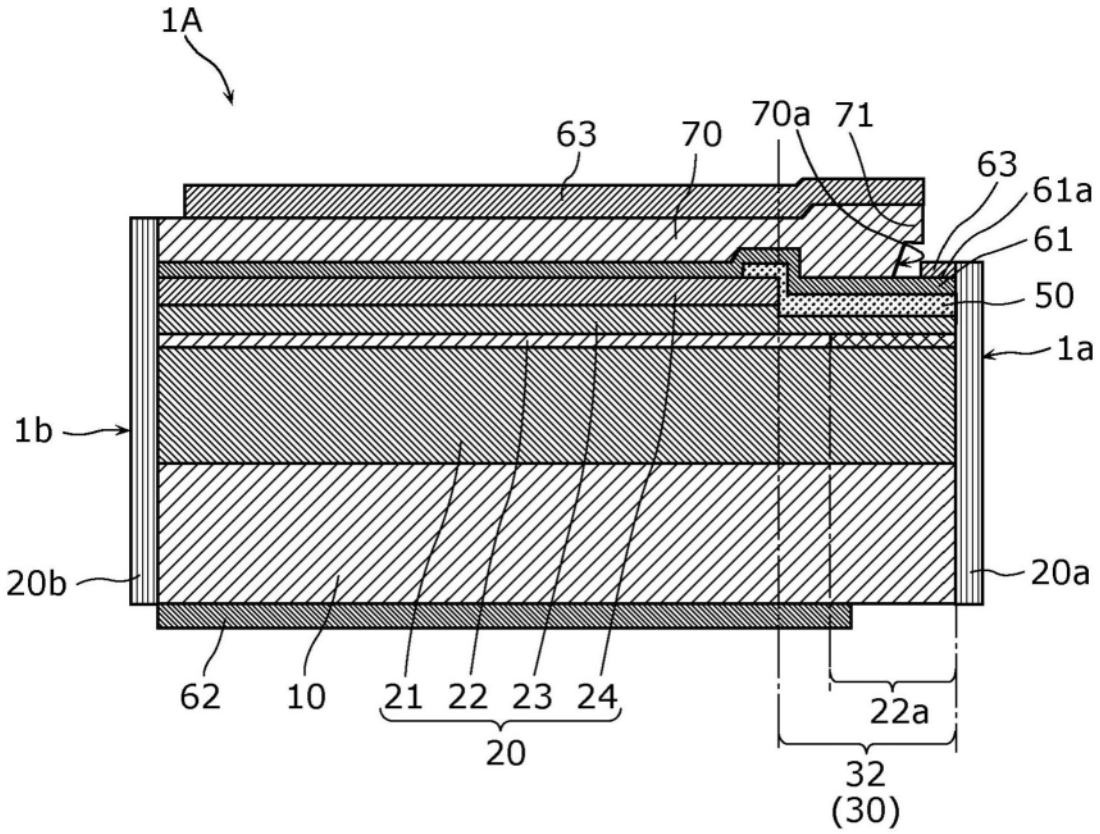

1A
63
70
70a
71
63
61a
61
50
1a
1b
20b
20a
62
10
21
22
23
24
20
22a
32
(30)

图17C

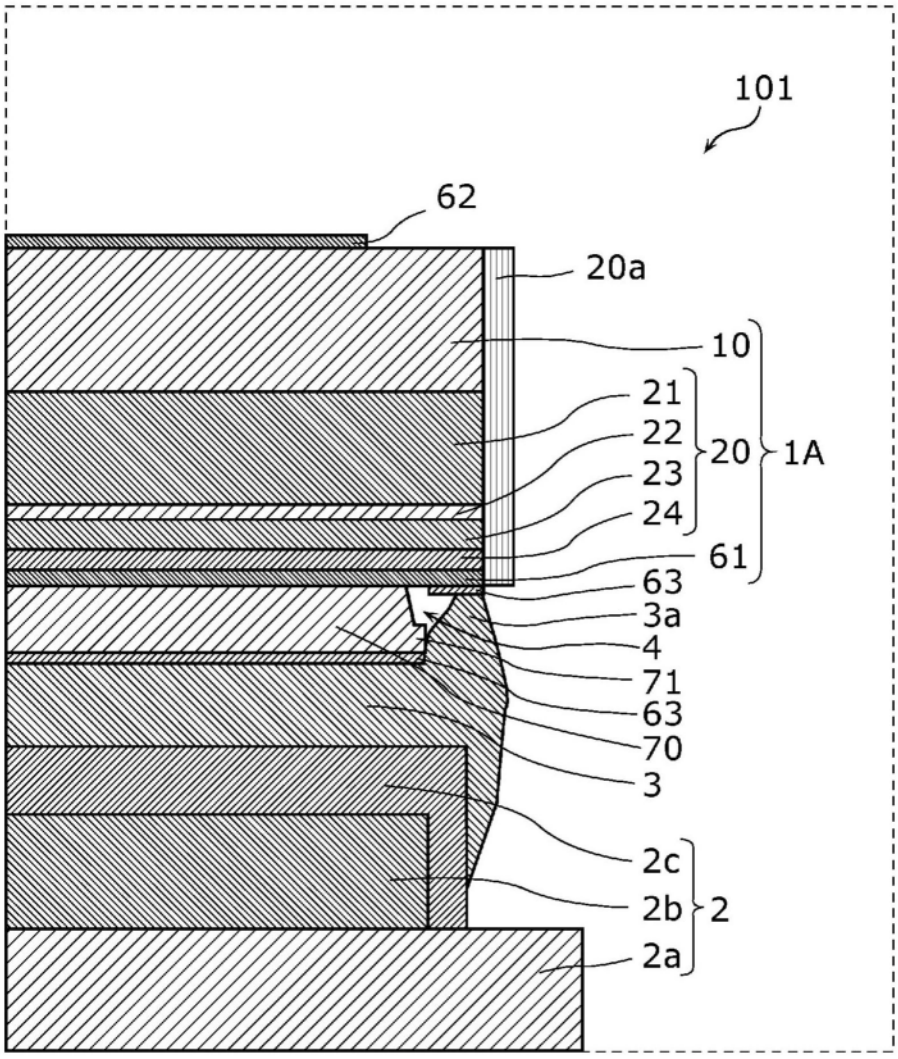


图18

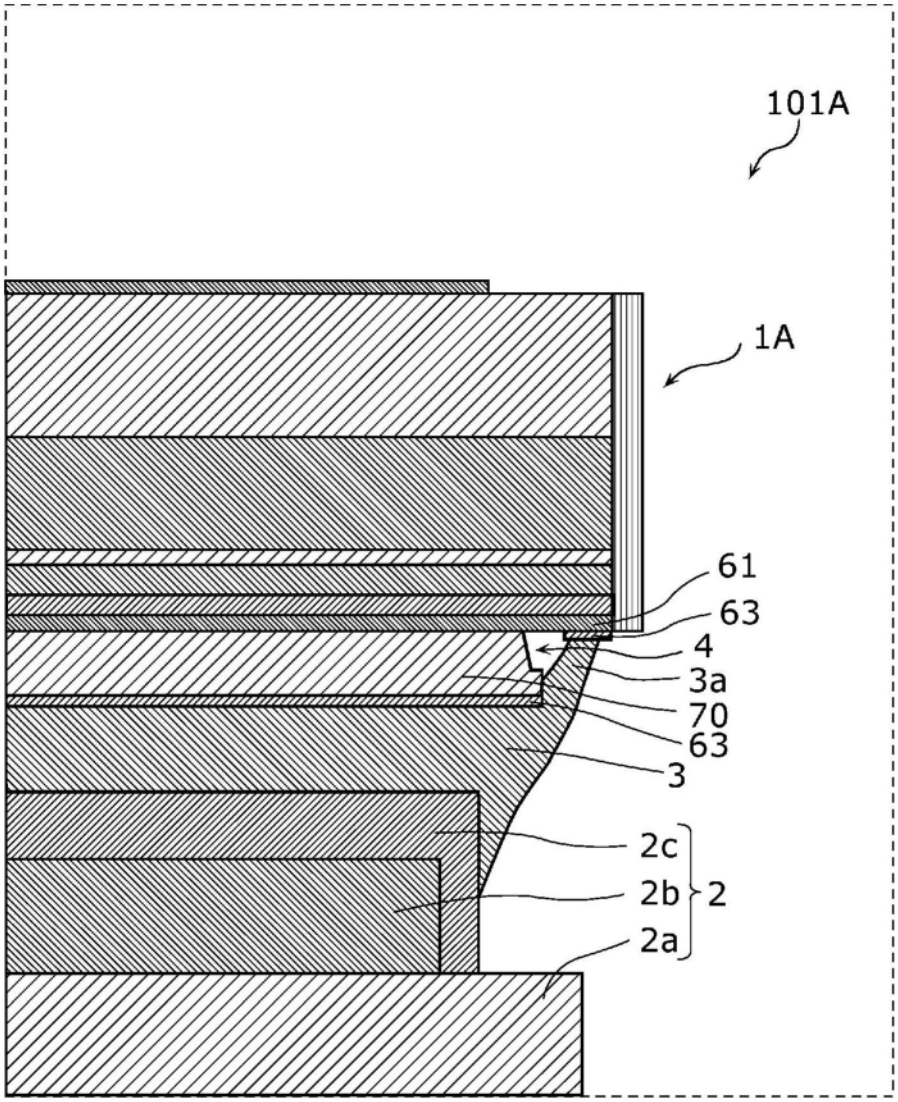


图19

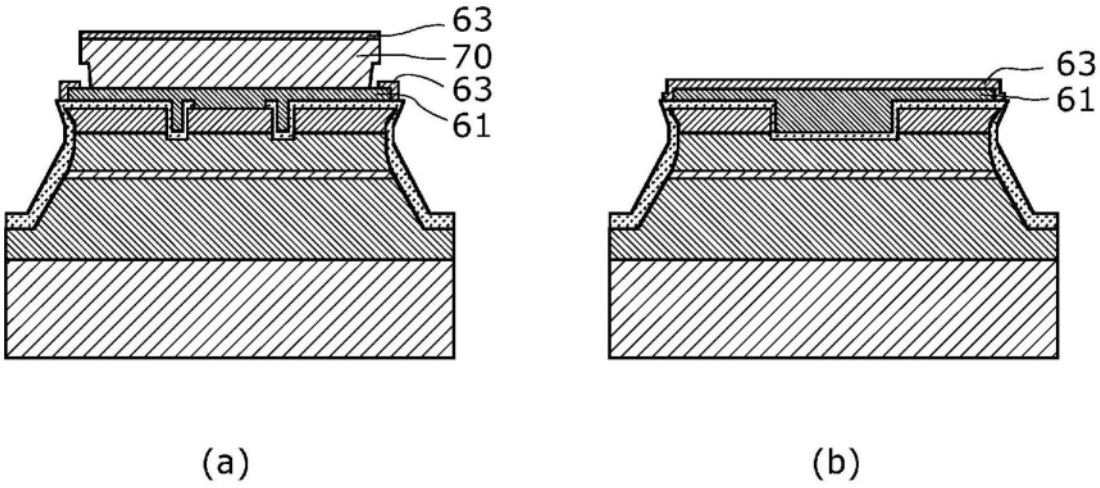


图20A

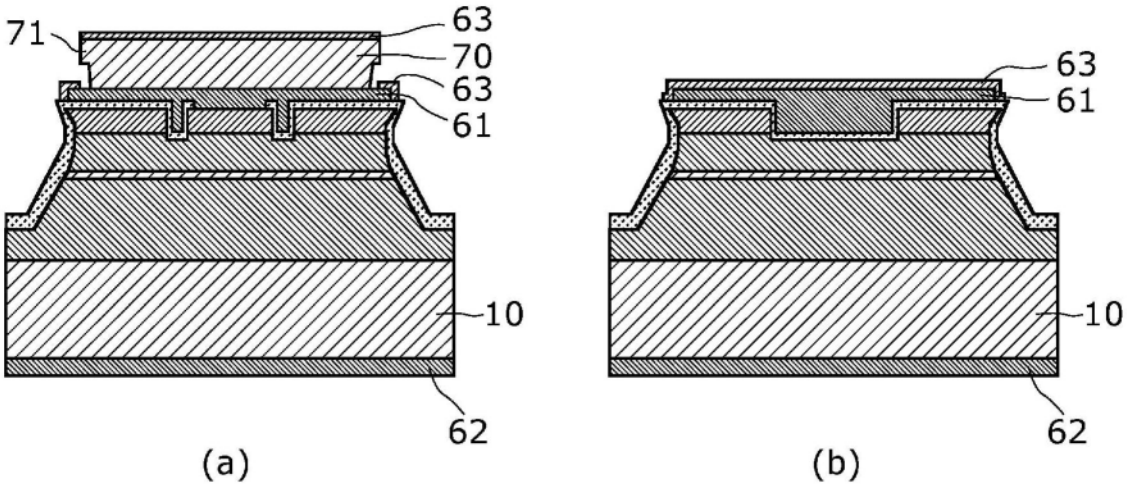


图20B

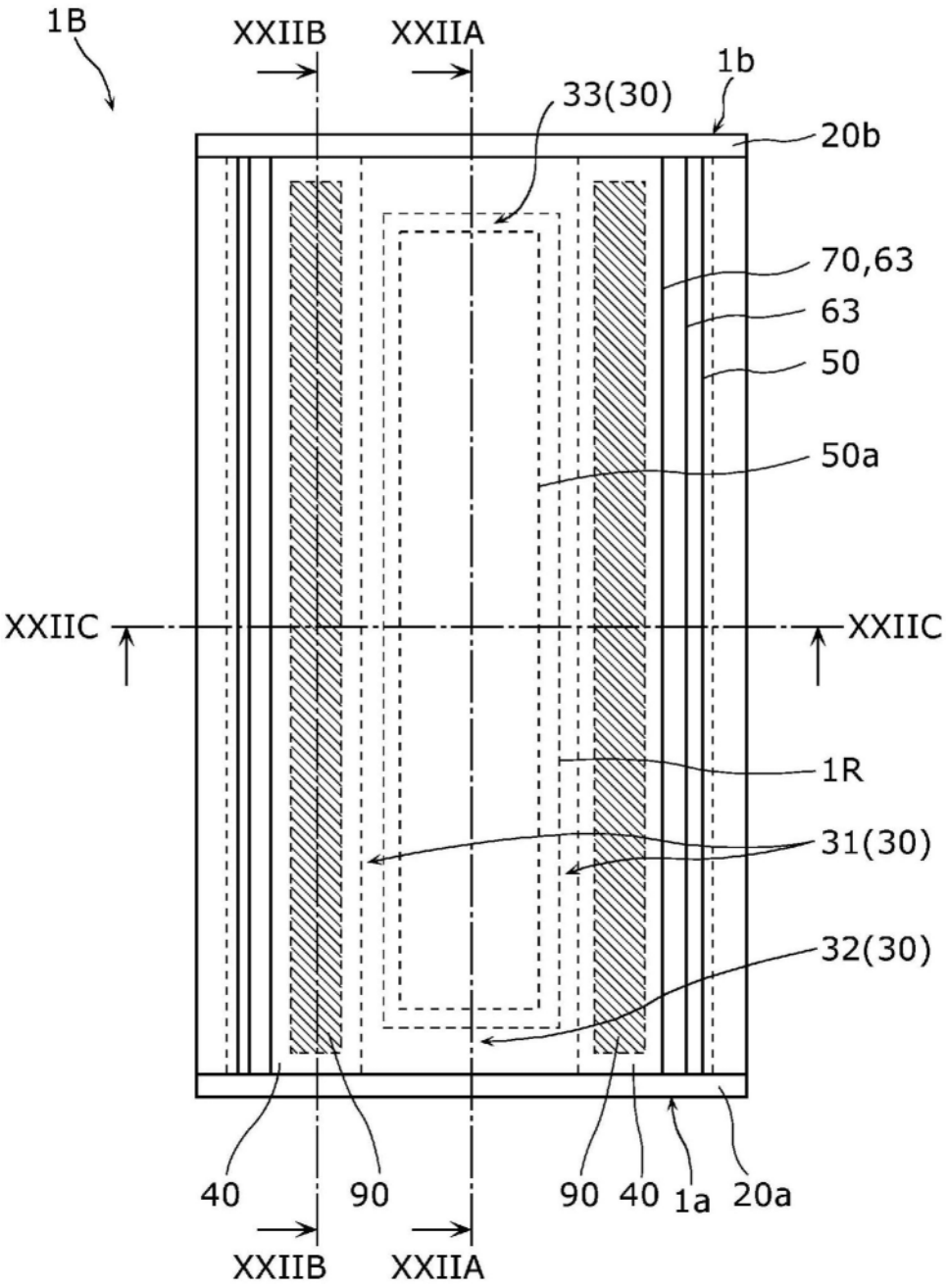

1B
XXIIB
XXIIA
1b
33(30)
20b
70,63
63
50
50a
XXIIC
XXIIC
1R
31(30)
32(30)
40
90
90
40
1a
20a
XXIIB
XXIIA

图21

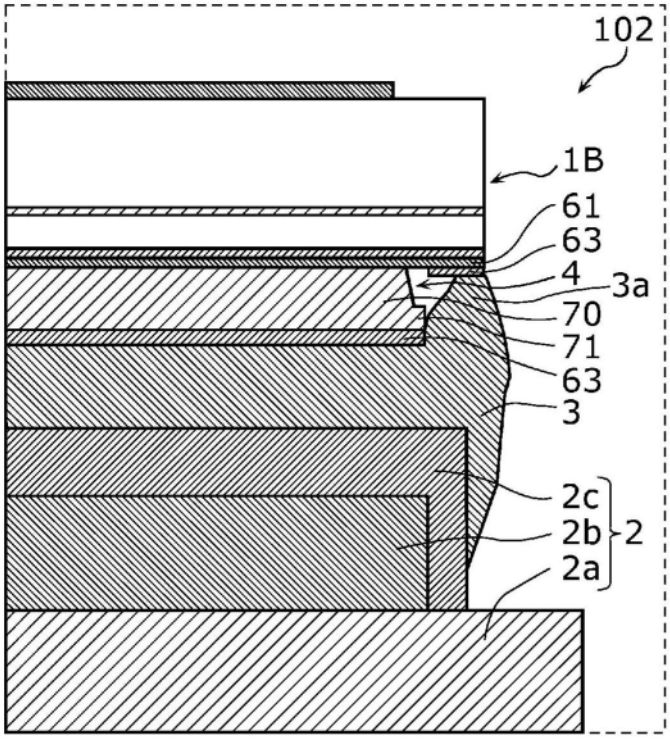

102
1B
61
63
4
3a
70
71
63
3
2c
2b
2
2a

图22A

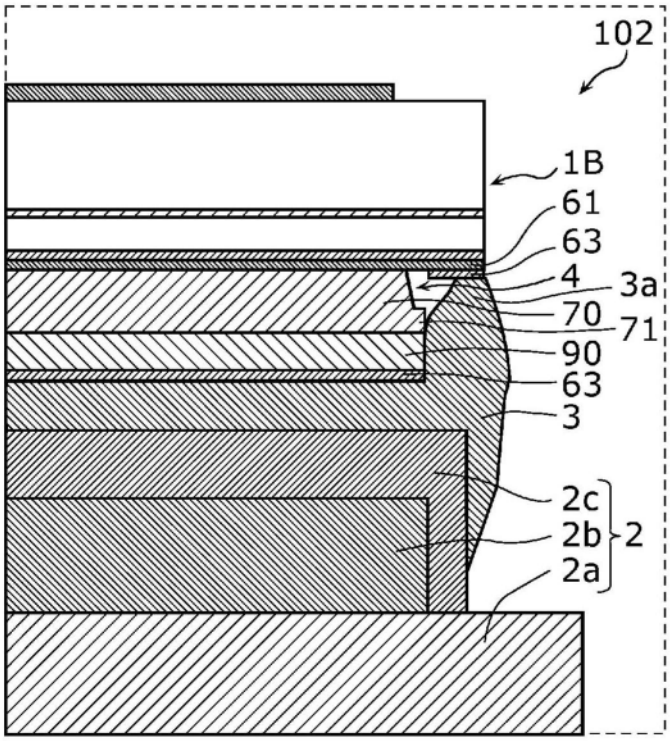

102
1B
61
63
4
3a
70
71
90
63
3
2c
2b
2
2a

图22B

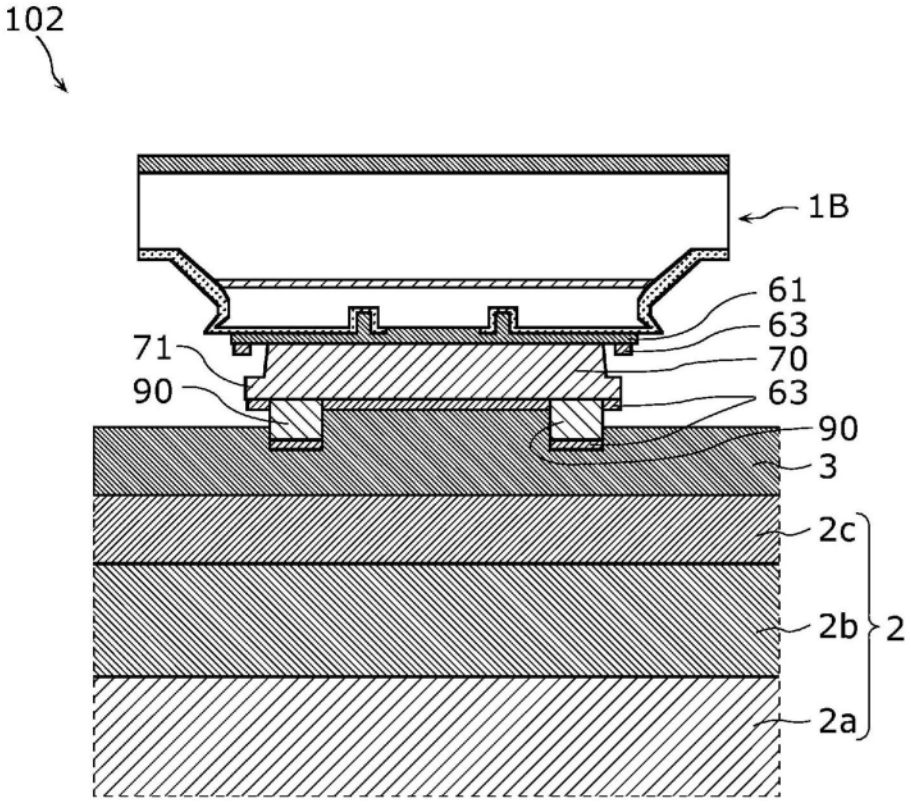


图22C

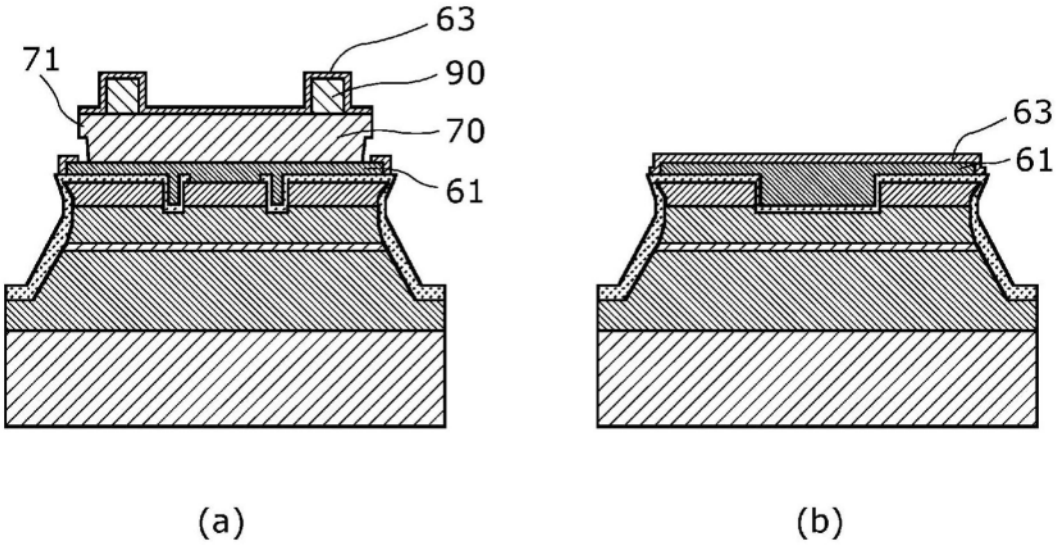


图23A

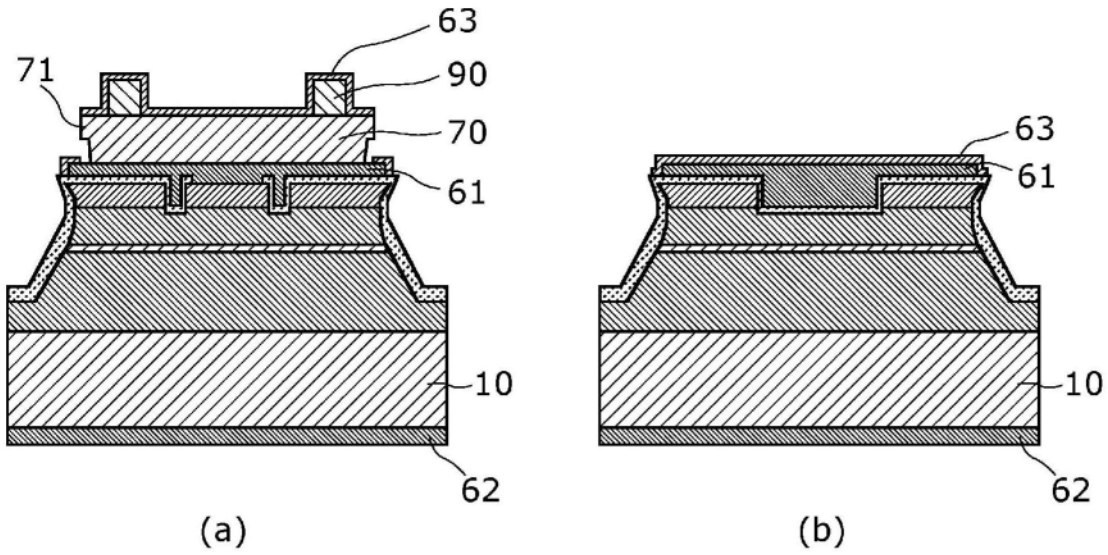


图23B

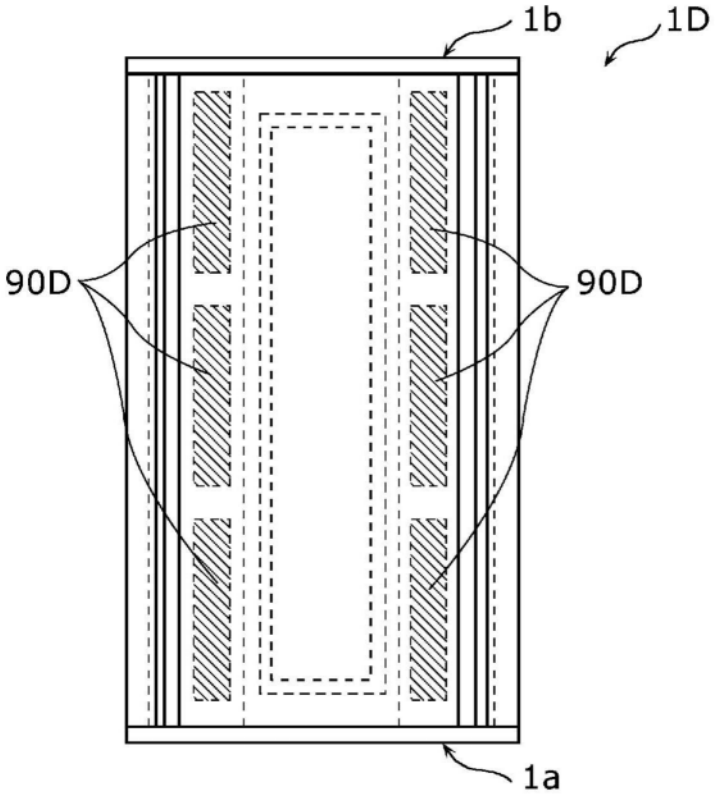


图24

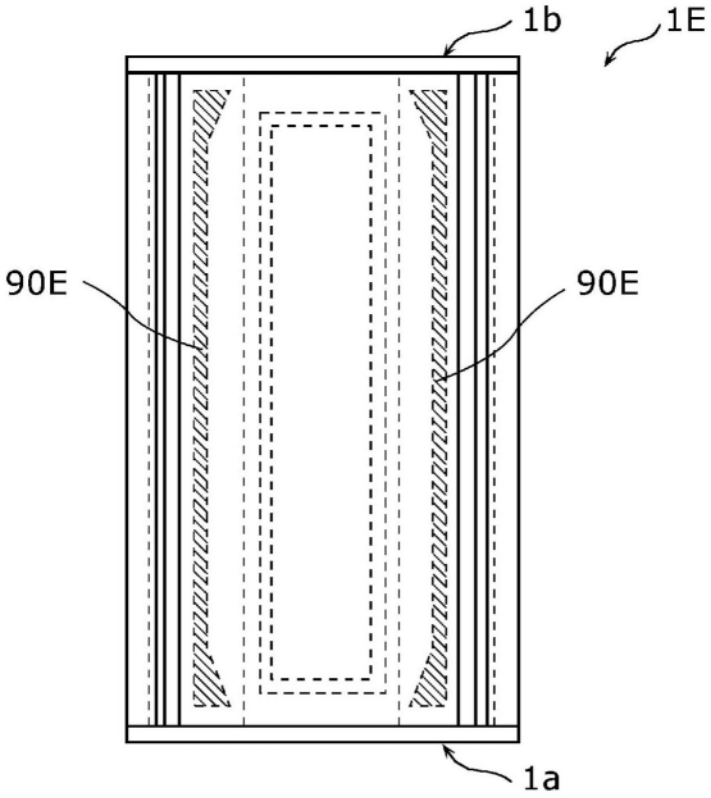


图25