



(21) 申请号 202280089433.1

(22) 申请日 2022.11.28

(30) 优先权数据

2022-042073 2022.03.17 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.07.18

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/043689 2022.11.28

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/176054 JA 2023.09.21

(71) 申请人 株式会社村田制作所

地址 日本

(72) 发明人 浜村聪希 会田康弘

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

专利代理师 李国华

(51) Int.Cl.

G02F 1/035 (2006.01)

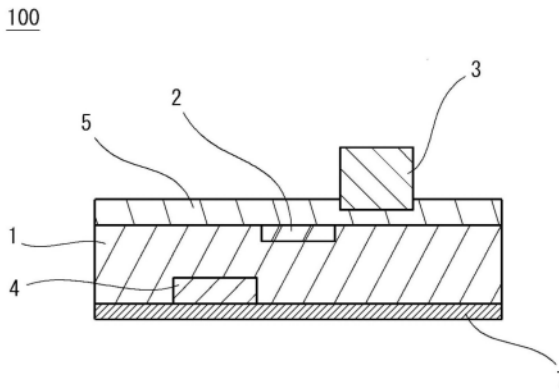
权利要求书2页 说明书11页 附图9页

(54) 发明名称

光调制器

(57) 摘要

光调制器(100)具备光波导(2)、第一电极(3)、第二电极(4)以及低介电常数层(5)。光波导(2)包括具有电光效应的材料。第一电极(3)及第二电极(4)相互形成电位差。在与光波导(2)的延伸方向垂直的剖视中,第一电极(3)设置在光波导(2)的宽度方向的一侧且光波导(2)的厚度方向的一侧,第二电极(4)设置在光波导(2)的宽度方向的另一侧且光波导(2)的厚度方向的另一侧,在第一电极(3)与光波导(2)之间夹设有低介电常数层(5),第一电极(3)中的接近光波导(2)的部分埋设于低介电常数层(5)。



1. 一种光调制器,具备:
光波导,其包括具有电光效应的材料;
控制电极,其用于控制通过所述光波导的光;以及
低介电常数层,其介电常数比所述光波导低,
所述控制电极包括相互形成电位差的第一电极及第二电极,
在与所述光波导的延伸方向垂直的剖视中,
所述第一电极设置在所述光波导的宽度方向的一侧且所述光波导的厚度方向的一侧,
所述第二电极设置在所述光波导的宽度方向的另一侧且所述光波导的厚度方向的另一侧,
在所述第一电极与所述光波导之间夹设有所述低介电常数层,
所述第一电极中的接近所述光波导的部分埋设于所述低介电常数层。
2. 根据权利要求1所述的光调制器,其中,
所述第一电极包括角部,该角部配置在所述光波导侧,埋设于所述低介电常数层。
3. 根据权利要求1或2所述的光调制器,其中,
在与所述光波导的延伸方向垂直的剖视中,
所述光波导包括沿所述宽度方向延伸的第一边、以及与所述第一边平行配置且沿所述宽度方向延伸的第二边,
所述第一电极设置在所述第一边侧。
4. 根据权利要求1或2所述的光调制器,其中,
在与所述光波导的延伸方向垂直的剖视中,
所述光波导具有包括沿所述宽度方向延伸的作为长轴的底边的半椭圆形状,
所述第一电极设置在所述底边侧。
5. 根据权利要求1至4中任一项所述的光调制器,其中,
在与所述光波导的延伸方向垂直的剖视中,
所述第一电极具有矩形状,
所述第一电极埋设于所述低介电常数层的与所述光波导相反的一侧的面。
6. 根据权利要求1至5中任一项所述的光调制器,其中,
在与所述光波导的延伸方向垂直的剖视中,
所述第一电极仅设置在比所述光波导的所述厚度方向的中央靠所述一侧的位置,
所述第二电极仅设置在比所述光波导的所述厚度方向的所述中央靠所述另一侧的位置。
7. 根据权利要求1至6中任一项所述的光调制器,其中,
在所述第二电极与所述光波导之间,设置有介电常数比所述光波导低的辅助低介电常数层。
8. 根据权利要求1至7中任一项所述的光调制器,其中,
所述光波导的所述材料是 LiNbO_3 。
9. 根据权利要求1至8中任一项所述的光调制器,其中,
所述第一电极及所述第二电极中的一者从所述光波导沿所述厚度方向延伸,另一者从所述光波导沿所述宽度方向延伸。

10. 根据权利要求1至9中任一项所述的光调制器,其中,所述光调制器还具备设置有所述光波导的基板。
11. 根据权利要求10所述的光调制器,其中,所述基板包括与所述光波导相同的材料,所述光波导为脊型。
12. 根据权利要求1至9中任一项所述的光调制器,其中,所述光调制器具备两个光调制器单元,该两个光调制器单元分别包括所述光波导、所述控制电极以及所述低介电常数层,并且并列地配置。
13. 根据权利要求12所述的光调制器,其中,所述两个光调制器单元中的一个光调制器单元的所述第一电极与另一个光调制器单元的所述第一电极形成为一体。
14. 根据权利要求12或13所述的光调制器,其中,所述光调制器单元分别还包括设置有所述光波导的基板,所述两个光调制器单元中的一个光调制器单元的所述基板与另一个光调制器单元的所述基板并列地配置。
15. 根据权利要求14所述的光调制器,其中,在所述光调制器单元的各个光调制器单元中,所述基板包括与所述光波导相同的材料,所述光波导为脊型。
16. 根据权利要求14或15所述的光调制器,其中,所述两个光调制器单元中的一个光调制器单元的所述基板与另一个光调制器单元的所述基板为一体,所述一个光调制器单元的所述光波导与所述另一个光调制器单元的所述光波导的自发极化的方向相互反转,向所述一个光调制器单元的所述第一电极及所述另一个光调制器单元的所述第一电极施加相互相同的相位的电压。

光调制器

技术领域

[0001] 本公开涉及光调制器。

背景技术

[0002] 通过移动终端和云的普及,因特网的通信量显著增加。因此,光通信的需求扩大。在光通信中,为了对光信号与电信号进行相互转换,需要光收发器。光收发器具备光调制器作为主要部件。光调制器担负将电信号转换成光信号的作用。

[0003] 以往的光调制器例如在日本特开2008-250080号公报(专利文献1)中被公开。专利文献1的光调制器具有:具有电光效应的薄板;形成于薄板的光波导;以及用于控制通过光波导的光的控制电极。控制电极包括第一电极和第二电极,第一电极和第二电极配置为夹着薄板。第一电极具有至少包括信号电极和接地电极的共面型的电极。第二电极至少具有接地电极。在薄板的下方,形成有具有至少比第一电极的信号电极的宽度大的宽度的低折射率层。另外,也有时至少在薄板与第一电极之间形成有缓冲层。

[0004] 在先技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:日本特开2008-250080号公报

发明内容

[0007] 发明要解决的问题

[0008] 在专利文献1的光调制器中,在与光波导的延伸方向垂直的剖面中,第一电极的信号电极具有矩形状,该信号电极与光波导在该光波导的厚度方向上排列。在该情况下,信号电极的底面整体与光波导对置,因此,从光波导泄漏的光容易被信号电极吸收,产生光损失。另外,在专利文献1的光调制器中,在包括信号电极的第一电极与薄板之间形成有缓冲层。缓冲层有助于有效折射率的调整。在不存在缓冲层的情况下,电信号感受到的有效折射率与光波感受到的有效折射率之差不变小,无法提高调制频率。

[0009] 本公开是鉴于这样的问题而完成的。本公开的目的在于,提供一种能够抑制光损失并提高调制频率的光调制器。

[0010] 用于解决问题的技术方案

[0011] 本公开的光调制器具备:光波导,其包括具有电光效应的材料;控制电极,其用于控制通过光波导的光;以及低介电常数层,其介电常数比光波导低。控制电极包括相互形成电位差的第一电极及第二电极。在与光波导的延伸方向垂直的剖视中,第一电极设置在光波导的宽度方向的一侧且光波导的厚度方向的一侧,第二电极设置在光波导的宽度方向的另一侧且光波导的厚度方向的另一侧。在该剖视中,在第一电极与光波导之间夹设有低介电常数层,第一电极中的接近光波导的部分埋设于低介电常数层。

[0012] 发明效果

[0013] 根据本公开的光调制器,能够抑制光损失并提高调制频率。

附图说明

- [0014] 图1是示出第一实施方式的光调制器的剖面的示意图。
- [0015] 图2是用于说明第一实施方式的光调制器中的基板的性质的示意图。
- [0016] 图3是示出第二实施方式的光调制器的剖面的示意图。
- [0017] 图4是示出第三实施方式的光调制器的剖面的示意图。
- [0018] 图5是示出第四实施方式的光调制器的剖面的示意图。
- [0019] 图6是示出第五实施方式的光调制器的剖面的示意图。
- [0020] 图7是示出第六实施方式的光调制器的剖面的示意图。
- [0021] 图8是示出第七实施方式的光调制器的剖面的示意图。
- [0022] 图9是示出第八实施方式的光调制器的剖面的示意图。
- [0023] 图10是示出第九实施方式的光调制器的剖面的示意图。
- [0024] 图11是示出第十实施方式的光调制器的剖面的示意图。
- [0025] 图12是示出第十一实施方式的光调制器的剖面的示意图。
- [0026] 图13A是示出第一电极及第二电极未被拉伸时的电场的强度的示意图。
- [0027] 图13B是示出仅第一电极被拉伸了时的电场的强度的示意图。
- [0028] 图13C是示出第一电极及第二电极双方被拉伸了时的电场的强度的示意图。

具体实施方式

[0029] 以下,对本公开的实施方式进行说明。需要说明的是,在以下的说明中,对本公开的实施方式举例进行说明,但本公开不限于以下说明的例子。在以下的说明中,有时例示特定的数值或特定的材料,但本公开不限定于这些例示。

[0030] 本实施方式的光调制器具备:包括具有电光效应的材料的光波导;用于控制通过光波导的光的控制电极;以及介电常数比光波导低的低介电常数层。控制电极包括相互形成电位差的第一电极及第二电极。在与光波导的延伸方向垂直的剖视中,第一电极设置在光波导的宽度方向的一侧且光波导的厚度方向的一侧,第二电极设置在光波导的宽度方向的另一侧且光波导的厚度方向的另一侧。在该剖视中,在第一电极与光波导之间夹设有低介电常数层,第一电极中的接近光波导的部分埋设于低介电常数层(第一结构)。

[0031] 在第一结构的光调制器中,相对于光波导,第一电极向光波导的宽度方向的两侧中的一侧偏移,第二电极向光波导的宽度方向的两侧中的另一侧偏移。另外,相对于光波导,第一电极向光波导的厚度方向的两侧中的一侧偏移,第二电极向光波导的厚度方向的两侧中的另一侧偏移。即,第一电极、光波导及第二电极相对于光波导的宽度方向及厚度方向依次倾斜地配置。并且,在第一电极与光波导之间夹设有低介电常数层,第一电极中的接近光波导的部分埋设于该低介电常数层。而且,第一电极与光波导未接触。

[0032] 第一电极及第二电极的位置相对于光波导在厚度方向及宽度方向上偏移,由此,相比于矩形状的电极在光波导的厚度方向或宽度方向上与光波导排列且该电极的一面整体与光波导对置的情况,第一电极及第二电极与光波导的对置面积变小。由此,从光波导泄漏的光难以被第一电极及第二电极吸收。因此,能够抑制光损失。

[0033] 并且,从第一电极朝向光波导的电场通过低介电常数层。由此,电信号感受到的有效折射率下降。此时,通过将第一电极中的至少接近光波导的部分埋设于低介电常数层,与

将第一电极仅是载置于低介电常数层上的情况相比,第一电极相对于低介电常数层的接触面积变大,因此,通过低介电常数层的电场变多。因此,能够使电信号感受到的有效折射率比通常小。通常,电信号感受到的有效折射率比光波感受到的有效折射率大。这样,电信号感受到的有效折射率与光波感受到的有效折射率之差变小。因此,能够提高调制频率。

[0034] 在第一结构的光调制器中,第一电极也可以包括角部。该角部配置在光波导侧,并埋设于低介电常数层(第二结构)。在该情况下,电场集中于第一电极的角部,因此,能够使从第一电极朝向光波导的电场的强度上升。因此,能够抑制向第一电极与第二电极之间的光波导施加的电场的下降。

[0035] 第一结构或第二结构的光调制器例如具备下述的结构。在与光波导的延伸方向垂直的剖视中,光波导包括沿宽度方向延伸的第一边、以及与第一边平行配置且沿宽度方向延伸的第二边。在该剖视中,第一电极设置在第一边侧(第三结构)。

[0036] 第一结构或第二结构的光调制器也可以具备下述的结构。在与光波导的延伸方向垂直的剖视中,光波导具有包括沿宽度方向延伸的作为长轴的底边的半椭圆形状。在该剖视中,第一电极设置在底边侧(第四结构)。

[0037] 上述的光调制器也可以还具备下述的结构。在与光波导的延伸方向垂直的剖视中,第一电极具有矩形状,第一电极埋设于低介电常数层的与光波导相反的一侧的面(第五结构)。

[0038] 上述的光调制器也可以还具备下述的结构。在与光波导的延伸方向垂直的剖视中,第一电极仅设置在比光波导的厚度方向的中央靠上述的一侧的位置,第二电极仅设置在比光波导的厚度方向的中央靠上述的另一侧的位置(第六结构)。

[0039] 上述的光调制器优选具备下述的结构。在第二电极与光波导之间设置有辅助低介电常数层。辅助低介电常数层的介电常数比光波导低(第七结构)。

[0040] 在第七结构的光调制器中,在第二电极与光波导之间设置有辅助低介电常数层,因此,电场也通过辅助低介电常数层。由此,电信号感受到的有效折射率进一步下降。因此,电信号感受到的有效折射率与光波感受到的有效折射率之差进一步变小。因此,能够进一步提高调制频率。

[0041] 上述的光调制器优选具备下述的结构。光波导的材料是 LiNbO_3 (第八结构)。 LiNbO_3 (铌酸锂)的电光效应特别高。在本说明书中,有时将 LiNbO_3 记作LN。光波导的材料只要具有电光效应即可,没有特别限定。例如,光波导的材料也可以是 LiTaO_3 (钽酸锂),也可以是PLZT(锆钛酸铅镧)、KTN(钽酸铌酸钾)及 BaTiO_3 (钛酸钡)等。

[0042] 上述的光调制器优选具备下述的结构。第一电极及第二电极中的一者从光波导沿厚度方向延伸,另一者从光波导沿宽度方向延伸(第九结构)。在该情况下,电场相对于光波导变强。

[0043] 上述的光调制器也可以还具备设置有光波导的基板(第十结构)。

[0044] 第十结构的光调制器也可以具备下述的结构。基板包括与光波导相同的材料,光波导为脊型(第十一结构)。在该情况下,能够通过低介电常数层来覆盖光波导中的除了与基板的边界之外的周围。因此,容易调整有效折射率。并且,能够进一步将光封闭在光波导内。

[0045] 但是,也能够通过使钛(Ti)扩散到基板来形成光波导。也能够通过质子交换法来

形成光波导。

[0046] 第一结构~第九结构中的任意一个光调制器也可以具备并列配置的两个光调制器单元。两个光调制器单元分别包括光波导、控制电极以及低介电常数层(第十二结构)。

[0047] 第十二结构的光调制器构成马赫-曾德(Mach-Zehnder)型的光调制器。在该情况下,也能够与相位调制配合地进行强度调制。由此能够进行多值调制,能够增大传输容量。而且,第十二结构的光调制器起到与第一结构~第九结构同样的效果。

[0048] 第十二结构的光调制器也可以具备下述的结构。两个光调制器单元中的一个光调制器单元的第一电极与另一个光调制器单元的第一电极形成为一体(第十三结构)。在该情况下,能够将一个光调制器单元的第一电极与另一个光调制器单元的第一电极共用。

[0049] 第十二结构或第十三结构的光调制器也可以具备下述的结构。光调制器单元分别还包括设置有光波导的基板。两个光调制器单元中的一个光调制器单元的基板与另一个光调制器单元的基板并列地配置(第十四结构)。

[0050] 第十四结构的光调制器也可以具备下述的结构。在光调制器单元的各个光调制器单元中,基板包括与光波导相同的材料,光波导为脊型(第十五结构)。第十五结构的光调制器对应于第十一结构。因此,与第十一结构同样地,容易调整有效折射率,并且,能够进一步将光封闭在光波导内。

[0051] 第十四结构或第十五结构的光调制器也可以具备下述的结构。两个光调制器单元中的一个光调制器单元的基板与另一个光调制器单元的基板为一体,一个光调制器单元的光波导与另一个光调制器单元的光波导的自发极化的方向相互反转。向一个光调制器单元的第一电极及另一个光调制器单元的第一电极施加相互相同的相位的电压(第十六结构)。

[0052] 在第十六结构的光调制器中,能够将一个光调制器单元的基板与另一个光调制器单元的基板共用。一个光调制器单元的光波导及另一个光调制器单元的光波导设置于共用的基板。因此,能够减小一个光调制器单元的光波导与另一个光调制器单元的光波导的间隔。在该情况下,能够缩窄光调制器整体的宽度。

[0053] 以下,参照附图对本公开的实施方式进行说明。在各图中针对相同或相当的结构标注相同的标记,不再重复相同的说明。

[0054] <第一实施方式>

[0055] [光调制器100的结构]

[0056] 图1是示出第一实施方式的光调制器100的剖面的示意图。在图1中示出与光波导2的延伸方向垂直的剖面。光波导2的延伸方向也可以说是沿着光波导2的方向。在本说明书中,只要没有特别说明,则剖面是指与光波导2或者后述的光波导2A、2B的延伸方向垂直的剖面。在光调制器100的剖面中,支承整体的支承板7位于最下方,光调制器100的厚度方向相当于上下方向,光调制器100的宽度方向相当于左右方向。但是,在本说明书中,上、下、左及右是为了方便说明而决定的,不限定实际的光调制器100的姿势。

[0057] 参照图1,光调制器100具备基板1、光波导2、第一电极3、第二电极4以及低介电常数层5。第一电极3及第二电极4包含在用于控制通过光波导2的光的控制电极中。

[0058] 第一电极3及第二电极4相互形成电位差。第一电极3例如是信号电极。第二电极4只要与第一电极3形成电位差即可,没有特别限定。第二电极4例如是接地电极。第二电极4也可以是施加与第一电极3的电位相反相位的电压的反向信号电极。

[0059] 第二电极4配置在比第一电极3靠下的位置。基板1、光波导2、低介电常数层5、第一电极3及第二电极4由支承板7支承。支承板7配置在最下方。

[0060] 光波导2包括具有电光效应的材料。光波导2的材质例如是LN。光波导2形成于基板1。具体而言,在基板1的上部形成有光波导2。该光波导2通过使Ti扩散到基板1而形成。基板1中的Ti所扩散的部分的折射率变高,能够封闭光,因此,能够用作光波导2。

[0061] 光波导2例如能够具有宽度(左右方向的尺寸)比厚度(上下方向的尺寸)大的剖面形状。在图1中,光波导2的剖面形状是实质上宽幅的大致矩形状。在该情况下,光波导2的剖面形状包括沿宽度方向延伸的第一边、以及与第一边平行配置且沿宽度方向延伸的第二边。光波导2的剖面形状还包括分别沿厚度方向延伸的第三边及第四边。在图1所示的例子中,第一边及第二边是一对长边,第三边及第四边是一对短边。在光波导2的剖面形状是宽幅的矩形状的情况下,一对长边中的一个长边(上侧的第一边)位于基板1的表面上,另一个长边(下侧的第二边)位于基板1的内部。

[0062] 在光波导2的剖面中,作为长边的第一边及第二边通过作为短边的第三边及第四边而连接。在图1所示的例子中,光波导2的第三边及第四边在光调制器100的剖视中为直线状,与光波导2的厚度方向平行。但是,第三边及第四边也可以相对于光波导2的厚度方向倾斜,未必一定是直线状。在光调制器100的剖视中,光波导2的第三边及第四边也可以具有曲线状,也可以具有将直线与曲线组合而成的形状。另外,第三边的长度可以与第四边的长度相同,也可以不同。同样地,第一边的长度可以与第二边的长度相同,也可以不同。

[0063] 光波导2的剖面形状也有时是宽幅的半椭圆形状。在该情况下,光波导2的剖面形状包括沿宽度方向延伸的作为长轴的底边和沿宽度方向延伸的椭圆弧状的边。在光波导2的剖面形状是宽幅的半椭圆形状的情况下,底边位于基板1的表面上,椭圆弧状的边位于基板1的内部。

[0064] 在基板1之上层叠有低介电常数层5。因此,在光波导2之上层叠有低介电常数层5。在该情况下,低介电常数层5直接覆盖光波导2的上表面及其周边的基板1的上表面。例如,在光波导2的剖面形状是宽幅的矩形状的情况下,在光调制器100的剖面中,低介电常数层5主要沿着光波导2的上述的一个长边(上侧的长边)而设置。在光波导2的剖面形状是横长的半椭圆形状的情况下,在光调制器100的剖面中,低介电常数层5主要沿着光波导2的上述的底边而设置。低介电常数层5的介电常数比光波导2的介电常数低。低介电常数层5的材质只要是介电常数比光波导2的介电常数低即可,没有特别限定。作为低介电常数层5,使用氧化物(例: Al_2O_3 、 SiO_2 、 LaAlO_3 、 LaYO_3 、 ZnO 、 HfO_2 、 MgO 、 Y_2O_3)。作为低介电常数层5,也可以使用聚合物(例:BCB(苯并环丁烯)、PI(聚酰亚胺))。

[0065] 第一电极3配置在基板1的上方。第二电极4配置在基板1的下部。在其他观点中,第二电极4埋在基板1的下部。第一电极3和第二电极4包括金属材料,各自的剖面形状为矩形状。例如,在光波导2的剖面形状为宽幅的矩形状的情况下,在光调制器100的剖面中,第一电极3具有与光波导2的上述的一个长边(上侧的第一边)平行的一对边。在光波导2的剖面形状为宽幅的半椭圆形状的情况下,在光调制器100的剖面中,第一电极3具有与光波导2的上述的底边平行的一对边。在低介电常数层5中的与光波导2相反的一侧的面埋设有第一电极3。如本实施方式那样,在第一电极3的一部分埋设于低介电常数层5的情况下,第一电极3所处的部分的低介电常数层5的厚度(上下方向的尺寸)明显比其他部分的低介电常数层5

的厚度小。

[0066] 第一电极3例如能够如下那样埋设于低介电常数层5。即,首先,在基板1中,在形成有光波导2的面上形成低介电常数层5。接下来,通过光刻、蚀刻,在低介电常数层5形成槽。之后,通过对该槽进行蒸镀、剥离而形成第一电极3。由此,能够形成埋设于低介电常数层5的第一电极3。

[0067] 这里,第一电极3及第二电极4配置为,在相对于光波导2的厚度方向倾斜的方向上夹着光波导2。第一电极3设置在光波导2的宽度方向的一侧且光波导2的厚度方向的一侧。第二电极4设置在光波导2的宽度方向的另一侧且光波导2的厚度方向的另一侧。即,相对于光波导2,第一电极3向光波导2的宽度方向的两侧中的一侧(图1中的右侧)偏移,第二电极4向光波导2的宽度方向的两侧中的另一侧(图1中的左侧)偏移。另外,相对于光波导2,第一电极3向光波导2的厚度方向的两侧中的一侧(图1中的上侧)偏移,第二电极4向光波导2的厚度方向的两侧中的另一侧(图1中的下侧)偏移。

[0068] 在第一电极3与光波导2之间夹设有低介电常数层5。第一电极3的下部埋设于低介电常数层5。即,第一电极3中的接近光波导2的部分埋设于低介电常数层5。在其他观点中,第一电极3中的配置于光波导2侧的角部埋设于低介电常数层5。在该情况下,第一电极3的角部存在于光波导2的附近。而且,第一电极3与光波导2未接触。

[0069] 在本实施方式中,在光调制器100的剖面中,第一电极3仅设置在比光波导2的厚度方向的中央靠上述的一侧的位置,第二电极4仅设置在比光波导2的厚度方向的中央靠上述的另一侧的位置。例如,在光波导2的剖面形状为宽幅的矩形状的情况下,第一电极3的整体设置在比光波导2的厚度方向的中央靠上述的一个长边(上侧的长边)侧的位置,第二电极4的整体设置在比光波导2的厚度方向的中央靠上述的另一个长边(下侧的长边)侧的位置。在光波导2的剖面形状为宽幅的半椭圆形状的情况下,第一电极3的整体设置在比光波导2的厚度方向的中央靠底边侧的位置,第二电极4的整体设置在比光波导2的厚度方向的中央靠上述的椭圆弧状的边侧的位置。

[0070] 在本实施方式中,第一电极3在沿着左右方向观察时不具有与光波导2重叠的部分。第二电极4也同样地,在沿着左右方向观察时不具有与光波导2重叠的部分。另外,第一电极3在沿着上下方向观察时不具有与光波导2重叠的部分。第二电极4也同样地,在沿着上下方向观察时,不具有与光波导2重叠的部分。在基板1之下层叠有支承板7。

[0071] [效果]

[0072] 根据本实施方式的光调制器100,在光调制器100的工作时,从第一电极3朝向第二电极4作用电场,向光波导2施加电场。此时,在本实施方式的光调制器100中,第一电极3及第二电极4配置为在相对于光波导2的厚度方向倾斜的方向上夹着光波导2,并且,第一电极3中的接近光波导2的部分埋设于低介电常数层5。因此,得到以下的效果。

[0073] 在本实施方式的光调制器100中,相比于信号电极未埋设于低介电常数层且仅是与具有固定厚度的低介电常数层的表面相接的情况,第一电极3中的接近光波导2的部分,更具体而言是第一电极3的角部埋设于低介电常数层5并存在于光波导2的附近。由于电场集中于第一电极3的角部,因此,从第一电极3朝向光波导2的电场的强度上升。因此,向光波导2施加的电场不下降。因此,能够抑制向光波导2施加的电场的下降。

[0074] 另外,由于在第一电极3与光波导2之间夹设有低介电常数层5,因此,第一电极3与

光波导2不接触,其一部分(角部)只不过存在于光波导2的附近。因此,相比于具有矩形状剖面的光波导的上表面与具有矩形状剖面的信号电极的下表面对置配置的情况,即便光波导2与第一电极3的最短的分离距离相同,在本实施方式的光调制器100中,第一电极3中的与光波导2对置的区域也较少。因此,能够抑制从光波导2泄漏的光的被第一电极3的吸收。因此,能够抑制光损失。

[0075] 并且,从第一电极3朝向光波导2的电场通过低介电常数层5。由此,电信号感受到的有效折射率下降。此时,通过第一电极3中的接近光波导2的部分,更具体而言为第一电极3的角部埋设于低介电常数层5,相比于电极仅是载置于低介电常数层上的情况,第一电极3与低介电常数层5的接触面积变大,通过低介电常数层5的电场变多。因此,能够使电信号感受到的有效折射率比通常小。在通常的材料中,由于在光学响应中包括离子极化,因此,电信号(GHz)感受到的有效折射率比光波(THz)感受到的有效折射率大。这样,电信号感受到的有效折射率与光波感受到的有效折射率之差变小。因此,能够提高调制频率。

[0076] [基板1的材料的切割角]

[0077] 图2是用于说明第一实施方式的光调制器100中的光波导2的性质的示意图。在图2中示出光调制器100的剖面。如图2所示,第一电极3及第二电极4配置为在相对于光波导2的厚度方向倾斜的方向上夹着光波导2。

[0078] 当向形成于基板1的光波导2施加电场时,折射率根据电光效应而变化。此时,电场的方向能够视为与将第一电极3与第二电极4的彼此最接近的角部彼此连结的直线L(参照图2中的粗线)平行。如果光波导2的晶轴(例:在LN的情况下为c轴)的倾斜度与电场的方向平行,则能够使折射率有效地变化。电场的倾斜度,即电极配置的倾斜度 θ 能够基于下述的式(1)并根据第一电极3与第二电极4的最短间隔中的宽度方向(左右方向)的分量 w 及厚度方向(上下方向)的分量 t 来计算。

[0079] 成为 $\theta = \arctan(t/w) \times 180/\pi$ 。(1)

[0080] 如果电极配置的倾斜度 θ 为 $0 \sim 5^\circ$,则作为光波导2(基板1)的原材料,也可以使用通常被称为X切割的晶片。如果电极配置的倾斜度 θ 为 $85 \sim 90^\circ$,则作为光波导2的原材料(基板1),也可以使用通常被称为Z切割的晶片。

[0081] <第二实施方式>

[0082] 图3是示出第二实施方式的光调制器100的剖面的示意图。本实施方式的光调制器100是将第一实施方式的光调制器100变形而得到的。

[0083] 参照图3,光调制器100还具备辅助低介电常数层6。具体而言,在基板1之下层叠有辅助低介电常数层6。辅助低介电常数层6的介电常数与低介电常数层5同样地比光波导2的介电常数低。辅助低介电常数层6的材质只要是介电常数比光波导2的介电常数低即可,没有特别限定。辅助低介电常数层6的材质可以与低介电常数层5的材质相同,也可以不同。

[0084] 在本实施方式中,支承板7层叠于辅助低介电常数层6之下。并且,第二电极4配置在辅助低介电常数层6的内部。即,在第二电极4与光波导2之间设置有辅助低介电常数层6。在该情况下,辅助低介电常数层6直接覆盖基板1的下表面而覆盖光波导2的下表面。

[0085] 在本实施方式的光调制器100中,由于在第二电极4与光波导2之间设置有辅助低介电常数层6,因此,电场也通过辅助低介电常数层6。由此,电信号感受到的有效折射率进一步下降。因此,电信号感受到的有效折射率与光波感受到的有效折射率之差进一步变小。

因此,能够进一步提高调制频率。

[0086] <第三实施方式>

[0087] 图4是示出第三实施方式的光调制器100的剖面的示意图。本实施方式的光调制器100是将第一实施方式的光调制器100变形而得到的。

[0088] 参照图4,基板1具有脊型的光波导2。即,基板1在上部具有凸条,该凸条作为光波导2发挥功能。通过对作为原材料的晶片实施加工,在基板1上形成凸条。凸条能够在其厚度方向及宽度方向上封闭光。脊型的光波导2的剖面形状为大致矩形状。严格来说脊型的光波导2的剖面形状大多为梯形状。在本实施方式中,第一电极3在沿着上下方向观察时具有与光波导2稍微重叠的部分。第二电极4也在沿着上下方向观察时具有与光波导2稍微重叠的部分。

[0089] 基板1包括与光波导2相同的材料。但是,基板1的材料也可以与光波导2的材料不同。在该情况下,基板1的材料例如是Si。

[0090] 本实施方式的光调制器100起到与第一实施方式同样的效果。不过,在本实施方式的情况下,由于光波导2为脊型,因此,能够通过低介电常数层5来覆盖光波导2中的除了与基板1的边界之外的周围。即,通过低介电常数层5,宽范围地覆盖光波导2的周围。因此,容易调整有效折射率。并且,能够进一步将光封闭在光波导2内。

[0091] 本实施方式的结构也可以应用于第二实施方式的光调制器100。

[0092] <第四实施方式>

[0093] 图5是示出第四实施方式的光调制器100的剖面的示意图。本实施方式的光调制器100是将第三实施方式的光调制器100变形而得到的。

[0094] 参照图5,光波导2为脊型。在本实施方式中,第一电极3在沿着上下方向观察时具有与光波导2重叠的部分。也可以在光波导2的宽度方向的区域中的从宽度方向的端开始的整个宽度W的10%以内的范围内重叠第一电极3。第二电极4也在沿着上下方向观察时具有与光波导2重叠的部分。也可以在光波导2的宽度方向的区域中的从宽度方向的端开始的整个宽度W的10%以内的范围内重叠第二电极4。

[0095] 本实施方式的光调制器100与第三实施方式同样地起到与第一实施方式同样的效果。不过,本实施方式的结构也可以应用于光波导2通过Ti扩散而形成到基板1的光波导2。

[0096] <第五实施方式>

[0097] 图6是示出第五实施方式的光调制器100的剖面的示意图。本实施方式的光调制器100是将第三实施方式的光调制器100变形而得到的。

[0098] 参照图6,光波导2为脊型。在本实施方式中,第一电极3在沿着上下方向观察时不具有与光波导2重叠的部分。但是,第一电极3在沿着左右方向观察时具有与光波导2重叠的部分。也可以在光波导2的厚度方向的区域中的从上端开始的整个厚度T的10%以内的范围内重叠第一电极3。第二电极4也在沿着上下方向观察时不具有与光波导2重叠的部分。但是,第二电极4在沿着左右方向观察时具有与光波导2重叠的部分。也可以在光波导2的厚度方向的区域中的从下端开始的整个厚度T的10%以内的范围内重叠第二电极4。

[0099] 本实施方式的光调制器100与第三实施方式同样地起到与第一实施方式同样的效果。不过,本实施方式的结构也可以应用于光波导2通过Ti扩散而形成到基板1的光波导2。

[0100] <第六实施方式>

[0101] 图7是示出第六实施方式的光调制器100的剖面的示意图。本实施方式的光调制器100是将第三实施方式的光调制器100变形而得到的。

[0102] 参照图7,光波导2为脊型。在本实施方式中,第一电极3在沿着上下方向观察时具有与光波导2重叠的部分。并且,第一电极3在沿着左右方向观察时具有与光波导2重叠的部分。也可以在光波导2的宽度方向的区域中的从宽度方向的端开始的全部宽度W的10%以内的范围内重叠第一电极3。也可以在光波导2的厚度方向的区域中的从上端开始的整个厚度T的10%以内的范围内重叠第一电极3。与第一电极3同样地,第二电极4在沿着上下方向观察时具有与光波导2稍微重叠的部分。并且,第二电极4在沿着左右方向观察时具有与光波导2重叠的部分。

[0103] 本实施方式的光调制器100与第三实施方式同样地起到与第一实施方式同样的效果。

[0104] <第七实施方式>

[0105] 图8是示出第七实施方式的光调制器100的剖面的示意图。本实施方式的光调制器100是将第三实施方式的光调制器100变形而得到的。

[0106] 参照图8,在本实施方式中,低介电常数层5及辅助低介电常数层6成为一体。即,在光调制器100的剖视中,光波导2的整周被一体的低介电常数层5及辅助低介电常数层6覆盖。因此,通过低介电常数层5的电场进一步变多,有效折射率的调整变得更加容易。

[0107] 在图8所示的例子中,第一电极3的整体埋在低介电常数层5中。第一电极3也可以是其一部分埋在低介电常数层5中。

[0108] <第八实施方式>

[0109] 图9是示出第八实施方式的光调制器101的剖面的示意图。本实施方式的光调制器101构成马赫-曾德型的光调制器。本实施方式的光调制器101是将应用了第二实施方式的结构第三实施方式的光调制器100变形而得到的,是将该第三实施方式的光调制器100的各要素分别并列配置而得到的。

[0110] 参照图9,本实施方式的光调制器101具备两个光调制器单元100A、100B。

[0111] 一个光调制器单元100A具备基板1A、光波导2A、第一电极3A、第二电极4A、低介电常数层5A以及辅助低介电常数层6A。另一个光调制器单元100B具备基板1B、光波导2B、第一电极3B、第二电极4B、低介电常数层5B以及辅助低介电常数层6B。光调制器单元100A、光调制器单元100B由支承板7支承。

[0112] 基板1A、1B相当于上述的基板1。光波导2A、2B相当于上述的光波导2。低介电常数层5A、5B相当于上述的低介电常数层5。第一电极3A、3B相当于上述的第一电极3。第二电极4A、4B相当于上述的第二电极4。辅助低介电常数层6A、6B相当于上述的辅助低介电常数层6。

[0113] 设置有光波导2A的基板1A与设置有光波导2B的基板1B并列地配置。即,光波导2A与光波导2B相互并排配置的光波导2A、2B分别为脊型。在光波导2A及光波导2B的上游,一根入侧光波导分支为光波导2A及光波导2B。在光波导2A及光波导2B的下游,光波导2A及光波导2B合流为一根出侧光波导。

[0114] 如图9所示,在光调制器101的剖视中,光调制器单元100A与光调制器单元100B成为左右对称。即,光调制器单元100A与光调制器单元100B在其宽度方向上成为对称。具体说

明的话,在光调制器单元100A中,第一电极3A相对于光波导2A在其宽度方向上向光调制器单元100B侧偏移,第二电极4A相对于光波导2A在其宽度方向上向光调制器单元100B的相反侧偏移。另一方面,在光调制器单元100B中,第一电极3B相对于光波导2B在其宽度方向上向光调制器单元100A侧偏移,第二电极4B相对于光波导2B在其宽度方向上向光调制器单元100A的相反侧偏移。在该情况下,与第二电极彼此4A、4B相比,第一电极3A、3B彼此在光波导2A、2B的宽度方向上位于更接近的位置。但是,在光调制器101的剖视中,光调制器单元100A也可以与光调制器单元100B为左右非对称。

[0115] 即便是本实施方式的光调制器101,也能够得到与上述的第一实施方式同样的效果。并且,由于本实施方式的光调制器101构成马赫-曾德型的光调制器,因此,也能够与相位调制配合地进行强度调制。由此,能够进行多值调制,能够增大传输容量。

[0116] 在本实施方式的光调制器101中,也可以如第一实施方式那样不具有辅助低介电常数层6A、辅助低介电常数层6B。另外,在本实施方式的光调制器101中,也可以如第七实施方式那样不具有基板1A、1B。

[0117] 在本实施方式的光调制器101中,光波导2A、2B为脊型。因此,得到与第三实施方式同样的效果。但是,光波导2A、2B也可以通过Ti扩散而形成。

[0118] <第九实施方式>

[0119] 图10是示出第九实施方式的光调制器101的剖面的示意图。本实施方式的光调制器101是将第八实施方式的光调制器101变形而得到的。

[0120] 参照图10,光调制器单元100A的第一电极3A与光调制器单元100B的第一电极3B形成为一体。即,第一电极3B与第一电极3A是电一体的。在该情况下,能够将第一电极3B与第一电极3A共用。

[0121] <第十实施方式>

[0122] 图11是示出第十实施方式的光调制器101的剖面的示意图。本实施方式的光调制器101是将第九实施方式的光调制器101变形而得到的。

[0123] 参照图11,光调制器单元100A的基板1A与光调制器单元100B的基板1B为一体。光波导2A与光波导2B自发极化的方向相互反转。在基板1A及基板1B的材料为LN或LiTaO₃等这样的铁电性晶体的情况下,通过向该铁电性晶体的材料施加高电压,能够实现自发极化的方向的反转。能够通过利用原子力显微镜或电子显微镜的观察来识别反转极化的部位。在该情况下,能够将第一电极3B与第一电极3A共用,向第一电极3A及第一电极3B施加相互相同的相位的电压。

[0124] 在本实施方式的光调制器101中,能够减小光波导2A与光波导2B的间隔。在该情况下,能够缩窄光调制器101整体的宽度,能够实现光调制器101的小型化。

[0125] <第十一实施方式>

[0126] 图12是示出第十一实施方式的光调制器100的剖面的示意图。本实施方式的光调制器100是将第三实施方式的光调制器100变形而得到的。

[0127] 参照图12,第一电极3向上方被拉伸。即,第一电极3从光波导2沿厚度方向延伸。另一方面,第二电极4向侧方被拉伸。即,第二电极4从光波导2沿宽度方向延伸。在该情况下,能够不改变电场的强度而向低介电常数层5施加电场。

[0128] 但是,第一电极3也可以向侧方被拉伸。即,第一电极3也可以从光波导2沿宽度方

向延伸。另一方面,第二电极4也可以向下方被拉伸。即,第二电极4也可以从光波导2沿厚度方向延伸。

[0129] 图13A~图13C是示出电极的长度与电场的强度的相关性的示意图。图13A~图13C示出光调制器100的剖面。图13A示出第一电极3及第二电极4未被拉伸时的情形。图13B示出仅第一电极3被拉伸时的情形。图13C示出第一电极3及第二电极4双方被拉伸时的情形。在这些各图中,以等高线描绘出电势(V)。等高线的间隔越窄则电场(V/m)越强。在光波导2之外,等高线的间隔按照图13A、图13B及图13C的顺序变窄。因此,在第一电极3及第二电极4配置为倾斜地夹着光波导2的情况下,如图13C所示,如果第一电极3向上方被拉伸且第二电极4向侧方被拉伸,则电场相对于光波导2变强。

[0130] 此外,本公开不限于上述实施方式,在不脱离本公开的主旨的范围内能够进行各种变更。

[0131] 附图标记说明

[0132] 100、101:光调制器;

[0133] 1:基板;

[0134] 2:光波导;

[0135] 3:第一电极;

[0136] 4:第二电极;

[0137] 5:低介电常数层;

[0138] 6:辅助低介电常数层;

[0139] 7:支承板。

100

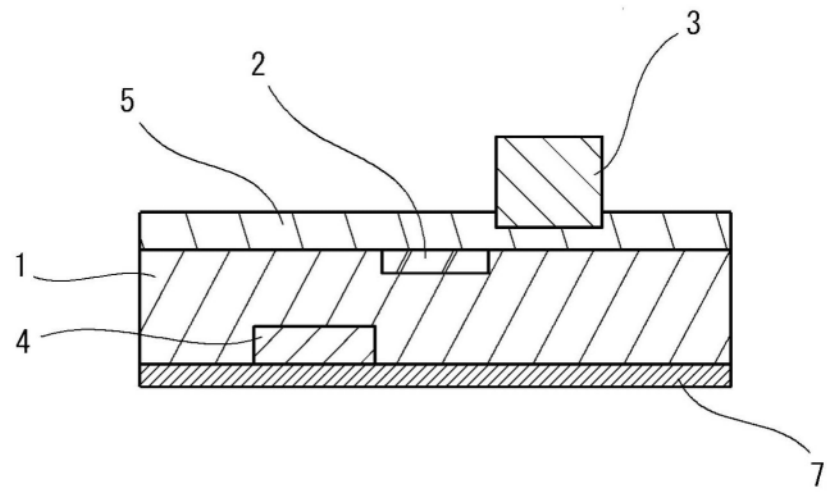


图1

100

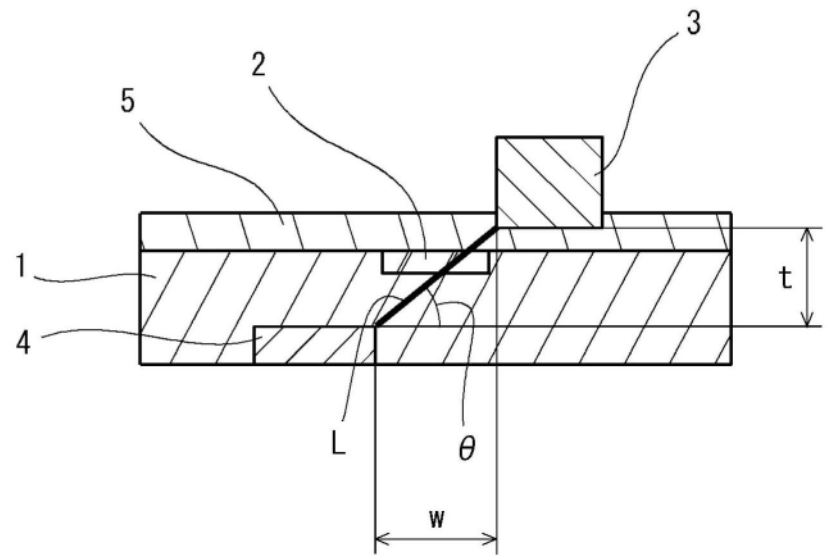


图2

100

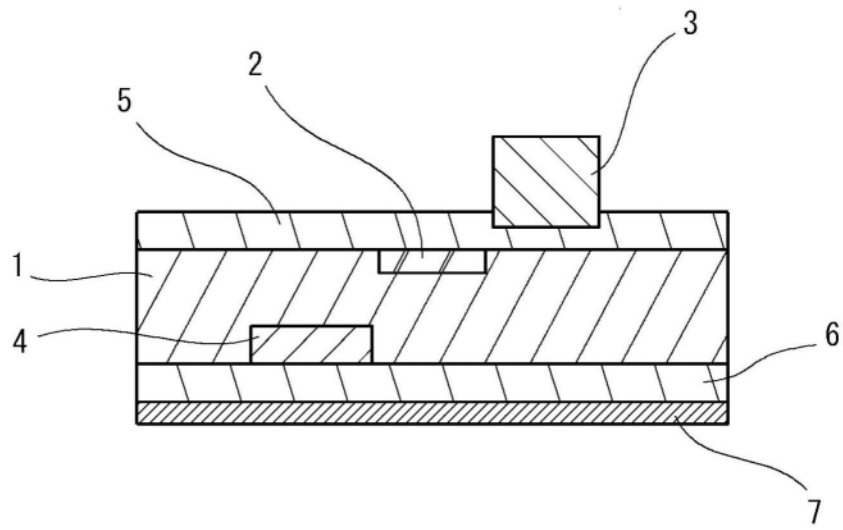


图3

100

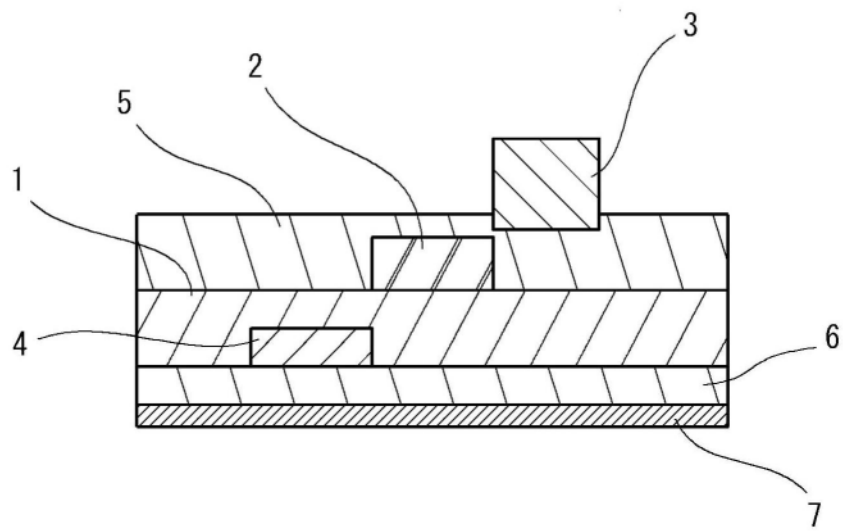


图4

100

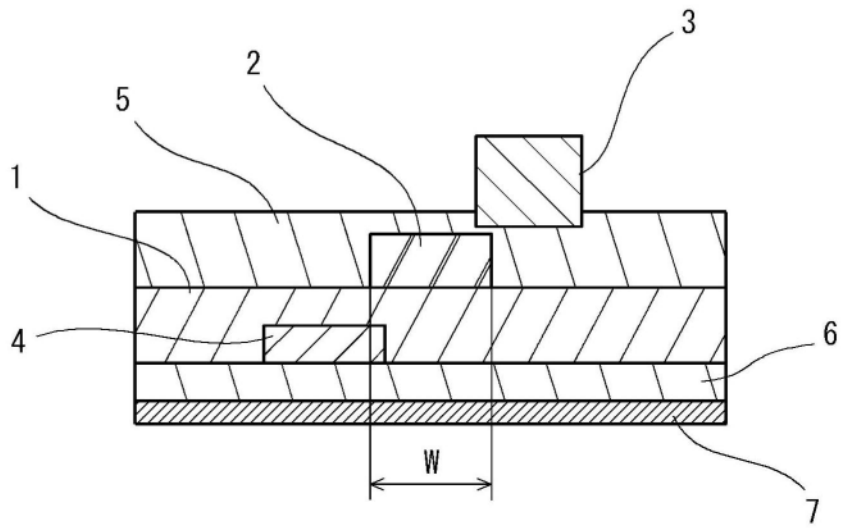


图5

100

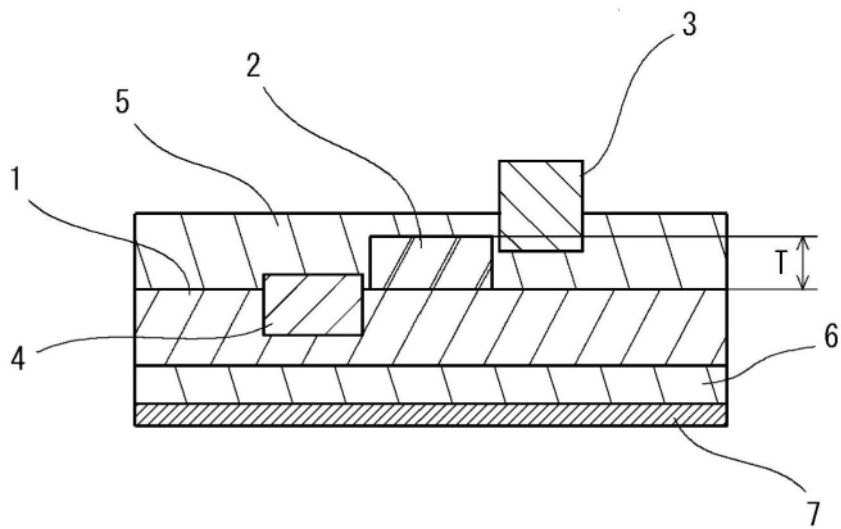


图6

100

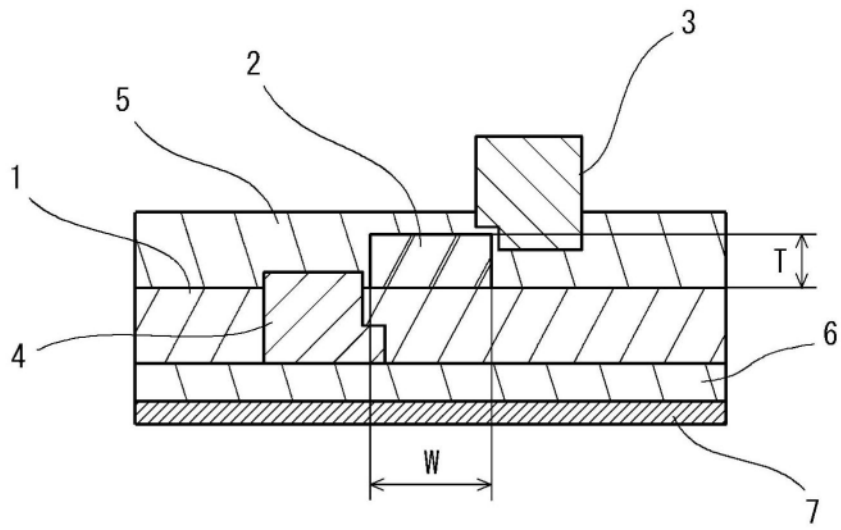


图7

100

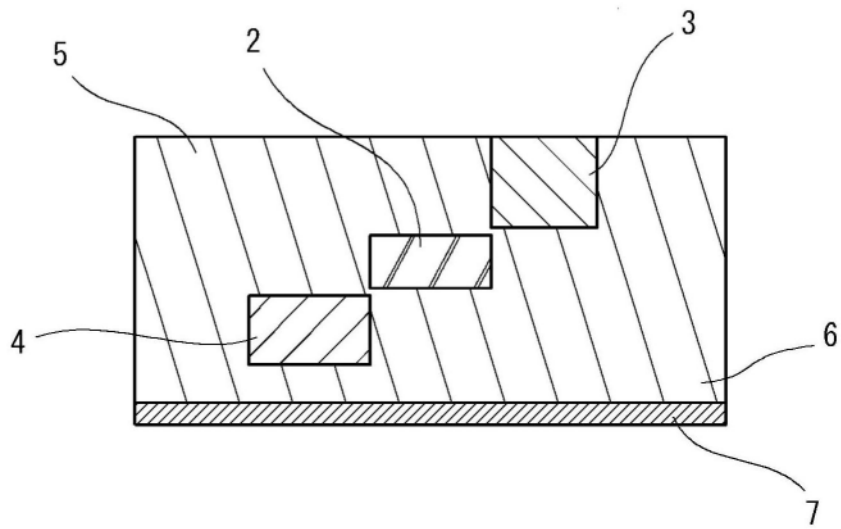


图8

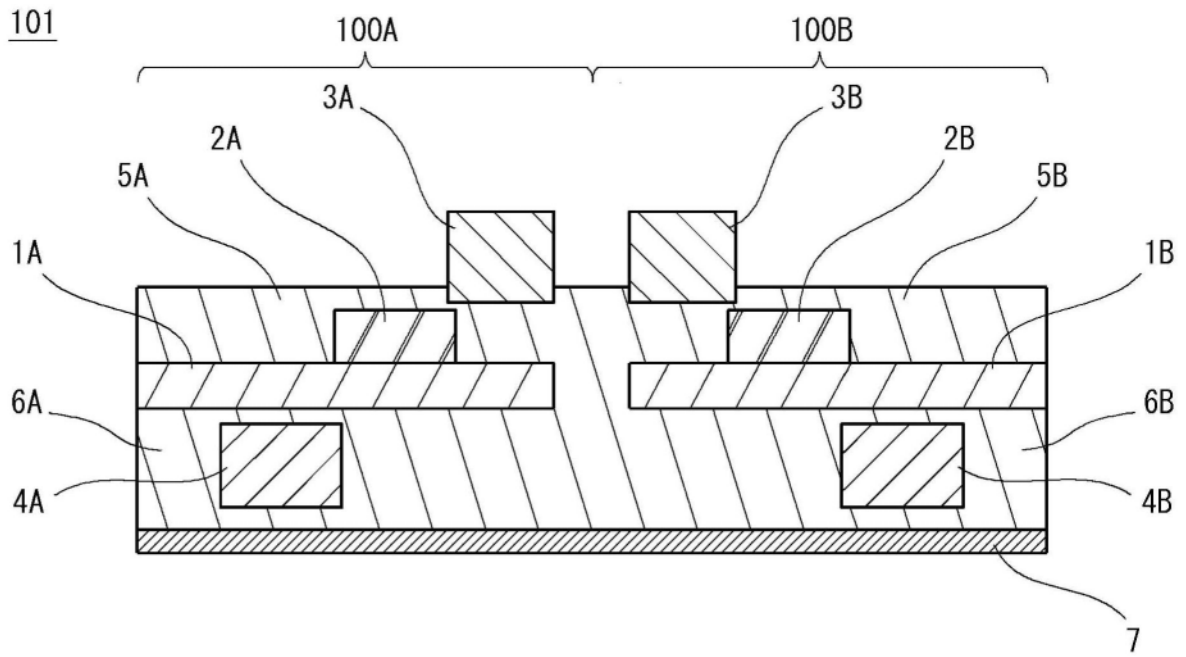


图9

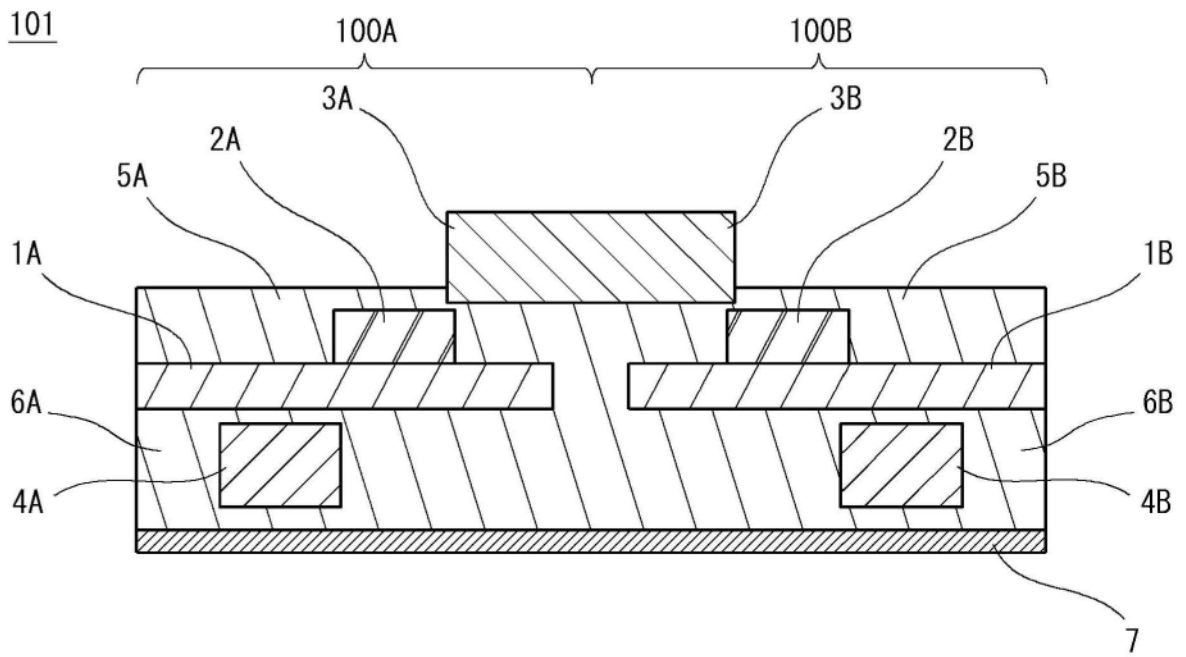


图10

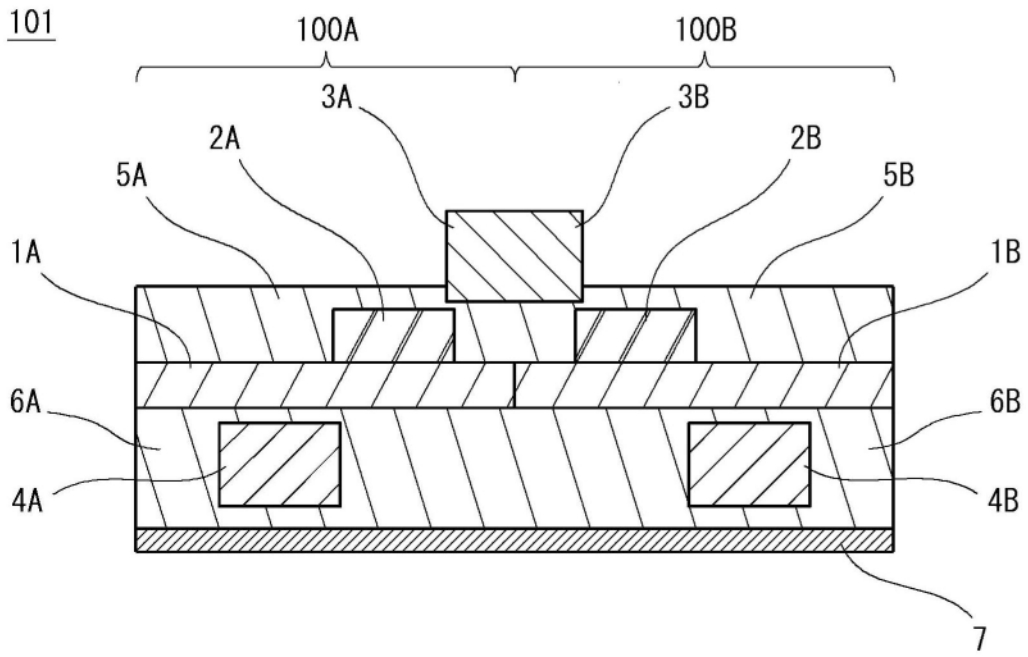


图11

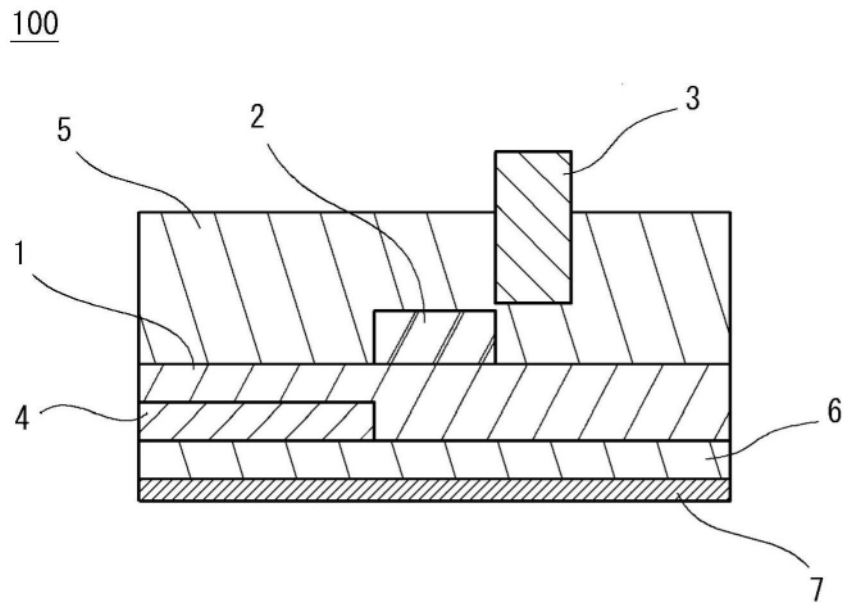


图12

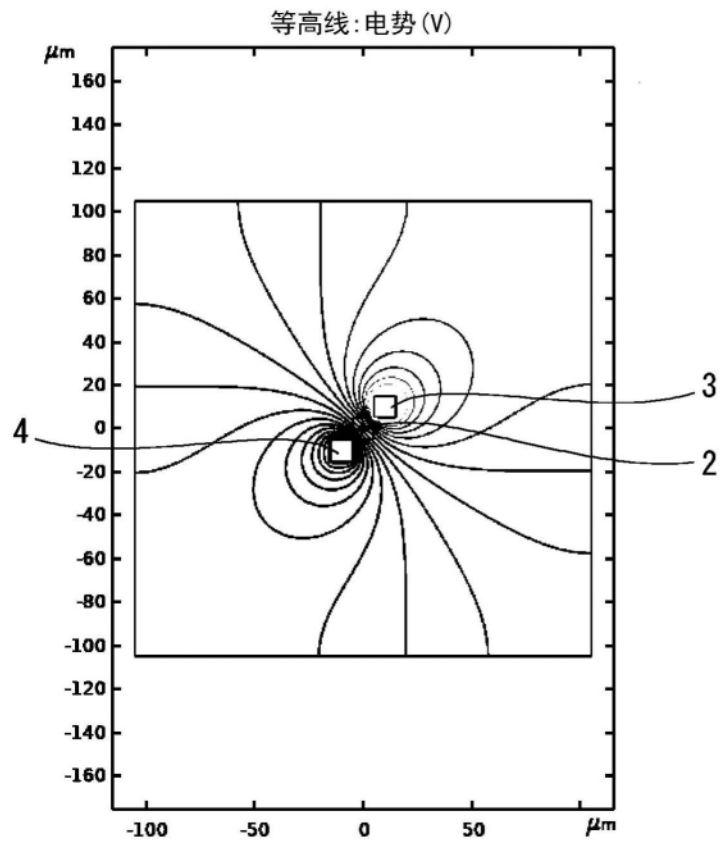


图13A

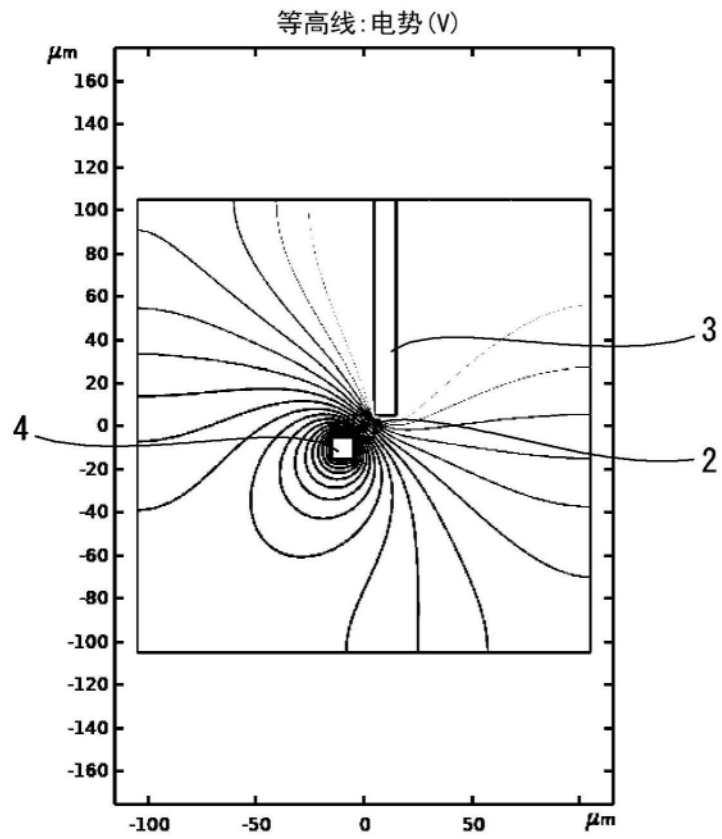


图13B

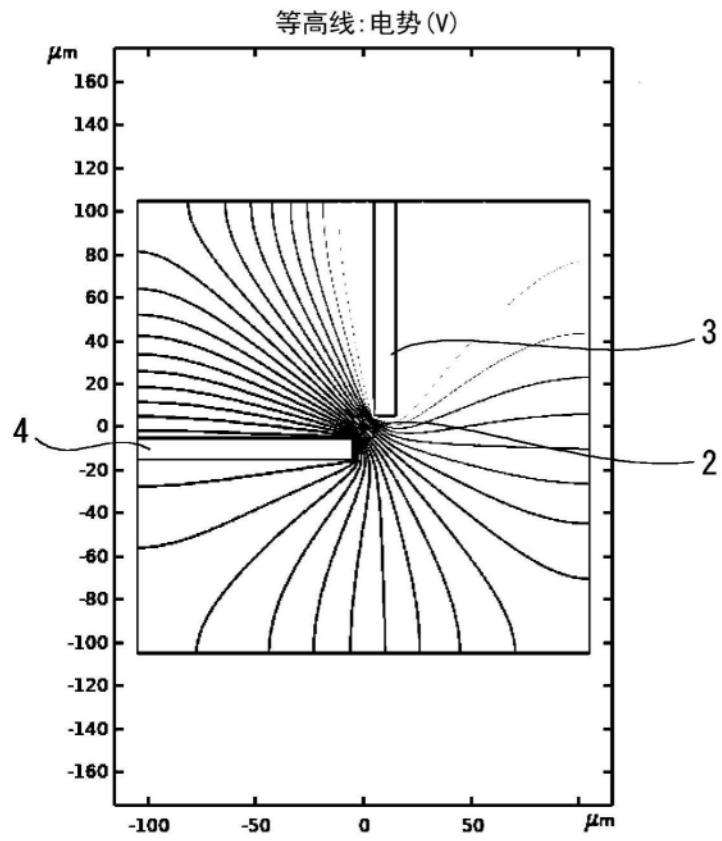


图13C