



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107017881 B

(45) 授权公告日 2021.06.01

(21) 申请号 201610921948.X

(22) 申请日 2016.10.21

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107017881 A

(43) 申请公布日 2017.08.04

(30) 优先权数据  
2015-210824 2015.10.27 JP

(73) 专利权人 精工爱普生株式会社  
地址 日本东京

(72) 发明人 西田哲朗

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限  
责任公司 11240  
代理人 田喜庆 吴孟秋

(51) Int.Cl.

H03L 7/26 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 102025372 A, 2011.04.20

CN 103997339 A, 2014.08.20

CN 104734014 A, 2015.06.24

CN 1736009 A, 2006.02.15

JP 2010287937 A, 2010.12.24

US 2010002231 A1, 2010.01.07

US 2010102893 A1, 2010.04.29

岳德胜等. 准分子宽带泵浦碱金属激光器实现铷激光输出. 《准分子宽带泵浦碱金属激光器实现铷激光输出》. 2013, 第25卷(第1期),

审查员 刘晴晴

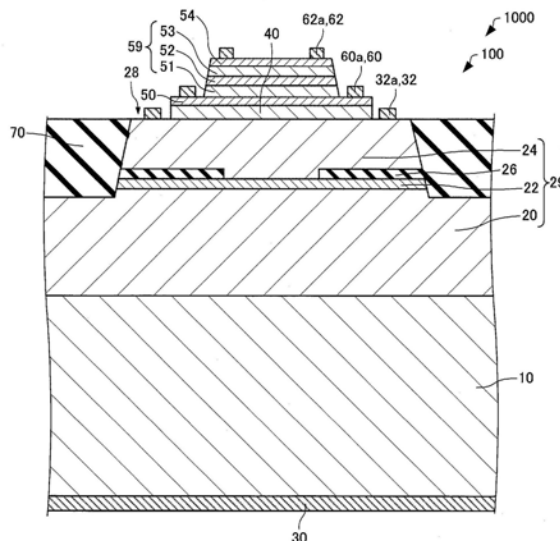
权利要求书1页 说明书11页 附图13页

(54) 发明名称

原子振荡器

(57) 摘要

本申请提供能够单独地控制光源的输出波长和光输出的原子振荡器。其包括：气室，密封有碱金属原子；光源，向所述气室照射光；以及光检测单元，检测透过了所述气室的光的光量，所述光源具有：光振荡层，依次层叠有第一反射层、活性层和第二反射层；电场吸收层，依次层叠有第一半导体层、量子阱层和第二半导体层；以及热扩散层，配置于所述光振荡层与所述电场吸收层之间、且热传导率高于所述第二反射层。



1. 一种原子振荡器,其特征在于,包括:  
气室,在所述气室中密封有碱金属原子;  
光源,向所述气室照射光;以及  
光检测单元,检测透过所述气室的光的光量,  
所述光源自基板起依次具有:  
所述基板;  
光振荡层,依次层叠有第一反射层、活性层和第二反射层;  
热扩散层,配置于所述光振荡层与电场吸收层之间、且热传导率高于所述第二反射层;  
以及  
电场吸收层,依次层叠有第一半导体层、量子阱层和第二半导体层。
2. 根据权利要求1所述的原子振荡器,其特征在于,  
所述热扩散层为i型的AlAs层。
3. 根据权利要求1所述的原子振荡器,其特征在于,  
所述热扩散层为i型的GaAs层。
4. 根据权利要求1~3中任一项所述的原子振荡器,其特征在于,  
所述原子振荡器还包括设于所述热扩散层与所述第一半导体层之间的接触层,  
在所述接触层的供所述第一半导体层配置的面设有用于向所述电场吸收层施加电压的电极。

## 原子振荡器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及原子振荡器。

### 背景技术

[0002] 将原子的跃迁能量用作基准频率的原子振荡器作为最高精度的振荡器之一而被广泛地应用于通信基站等。原子振荡器具有几种方式,使用铷(Rb)灯的微波双共振方式是最常采用的方式。

[0003] 近年来,提出了使用作为量子干扰效果之一的、被称作CPT(Coherent Population Trapping:相干布居囚禁)的现象的原子振荡器(例如参照专利文献1),与以往相比,原子振荡器的小型化、低功耗化值得期待。在CPT方式的情况下,将激光等相干的光源用作光源,通过叠加高频信号,从而将其边带用于CPT现象的显现。CPT方式的原子振荡器是一种这样的振荡器:其利用了当向碱金属原子照射具有不同的两种波长(频率)的相干光时相干光的吸收将会停止的电磁感应透明现象(EIT现象:Electromagnetically Induced Transparency)。

[0004] 作为原子振荡器的光源,为了显现CPT现象,需要进行激光元件等的输出波长的高精度调整。当使注入激光元件等的注入电流发生变化时,能够调整输出波长。

[0005] 现有技术文献

[0006] 专利文献

[0007] 专利文献1:日本特开2015-62167号公报

[0008] 然而,当使注入激光元件的注入电流发生变化时,同时还会使激光元件等的光输出发生变化,因此,考虑到这种情况而需要形成原子振荡器的控制环路,需要进行复杂的控制。为此,寻求一种能够单独地控制输出波长与光输出的光源。

### 发明内容

[0009] 本发明的几个方式所涉及的目的之一在于,提供一种能够单独地控制光源的输出波长与光输出的原子振荡器。

[0010] 本发明所涉及的原子振荡器包括:气室,在所述气室中密封有碱金属原子;光源,向所述气室照射光;以及光检测单元,检测透过了所述气室的光的光量,所述光源具有:光振荡层,依次层叠有第一反射层、活性层和第二反射层;电场吸收层,依次层叠有第一半导体层、量子阱层和第二半导体层;以及热扩散层,配置于所述光振荡层与所述电场吸收层之间、且热传导率高于所述第二反射层。

[0011] 在这样的原子振荡器中,当使注入活性层的电流量发生变化而使从光源射出的光的中心波长发生变化的情况下,即使从光源射出的光的光输出(光量)偏离规定值,通过使向电场吸收层施加的电压发生变化,也能够使从光源射出的光的光输出回到规定值。进而,在这样的原子振荡器中,即使电场吸收层(量子阱层)吸收光而发热,也能够经由热扩散层使该热扩散至外部,能够抑制该热到达第二反射层、活性层。由此,能够抑制在电场吸收层

中产生的热所引起的光源的温度变化。因而,能够抑制光源的中心波长因温度而发生波动,能够利用注入活性层的电流与施加于电场吸收层的电压来单独地(独立地)控制光源的输出波长(中心波长)与光输出。

[0012] 在本发明涉及的原子振荡器中,也可以是,所述热扩散层为i型的AlAs层。

[0013] 在这样的原子振荡器中,能够与光振荡层以及电场吸收层一道通过一系列的工序(在与用于形成光振荡层以及电场吸收层的装置相同的装置中)来形成热扩散层。

[0014] 在本发明涉及的原子振荡器中,也可以是,所述热扩散层为i型的GaAs层。

[0015] 在这样的原子振荡器中,能够与光振荡层以及电场吸收层一道通过一系列的工序来形成热扩散层。

[0016] 在本发明涉及的原子振荡器中,也可以是,还包括设于所述热扩散层与所述第一半导体层之间的接触层,并且,在所述接触层的供所述第一半导体层配置的面设有用于向所述电场吸收层施加电压的电极。

[0017] 在这样的原子振荡器中,与电极和第一半导体层直接接触的情况相比,能够降低电极的接触电阻。

## 附图说明

[0018] 图1是本实施方式所涉及的原子振荡器的功能框图。

[0019] 图2是表示共振光的频谱的图。

[0020] 图3是表示碱金属原子的 $\Lambda$ 型3能级模型与第一边带及第二边带的关系的图。

[0021] 图4是示意性表示本实施方式所涉及的原子振荡器的光源的平面图。

[0022] 图5是示意性表示本实施方式所涉及的原子振荡器的光源的剖视图。

[0023] 图6是示意性表示本实施方式所涉及的原子振荡器的光源的剖视图。

[0024] 图7是示意性表示本实施方式所涉及的原子振荡器的光源的剖视图。

[0025] 图8是用于说明本实施方式所涉及的原子振荡器的光源的电路图。

[0026] 图9是示意性表示本实施方式所涉及的原子振荡器的光源的制造工序的剖视图。

[0027] 图10是示意性表示本实施方式所涉及的原子振荡器的光源的制造工序的剖视图。

[0028] 图11是示意性表示本实施方式所涉及的原子振荡器的光源的制造工序的剖视图。

[0029] 图12是示意性表示本实施方式的第一变形例所涉及的原子振荡器的光源的剖视图。

[0030] 图13是示意性表示本实施方式的第二变形例所涉及的原子振荡器的光源的剖视图。

[0031] 图14是示意性表示本实施方式的第二变形例所涉及的原子振荡器的光源的平面图。

[0032] 图15是示意性表示本实施方式的第二变形例所涉及的原子振荡器的光源的剖视图。

[0033] 附图标记说明

[0034] 2、电源;3、pin二极管;4、电源;5、pin二极管;6、空间;10、基板;20、第一反射层;22、活性层;24、第二反射层;26、电流狭窄层;26a、被氧化层;28、柱状部;29、光振荡层;30、第一电极;32、第二电极;32a、接触部;32b、引出部;32c、衬垫部;40、热扩散层;42、隔热层;

43、低热传导率层;50、第一接触层;51、第一半导体层;52、量子阱层;53、第二半导体层;54、第二接触层;59、电场吸收层;60、第三电极;60a、接触部;60c、衬垫部;62、第四电极;62a、接触部;62b、引出部;62c、衬垫部;70、72、74、绝缘层;100、光源;102、气室;104、光检测部;106、光输出可变部;108、中心波长可变部;110、高频产生部;112、吸收检测部;114、EIT检测部;120、控制部;122、光输出控制部;124、中心波长控制部;126、高频控制部;162、开口部;601、第一部分;602、第二部分;1000、2000、3000、原子振荡器

## 具体实施方式

[0035] 以下,使用附图,对本发明的理想实施方式进行详细说明。需要注意的是,以下说明的实施方式并非不当限定权利要求书中所记载的本发明内容。并且,以下说明的构成未必全部都是本发明的必须构成要件。

### [0036] 1. 原子振荡器

#### [0037] 1.1. 构成

[0038] 首先,参照附图说明本实施方式所涉及的原子振荡器。图1是本实施方式所涉及的原子振荡器1000的功能框图。

[0039] 如图1所示,原子振荡器1000包括光源100、气室(gas cell)102、光检测单元(光检测部)104、光输出可变部106、中心波长可变部108、高频产生部110、吸收检测部112、EIT检测部114、以及控制部120。控制部120具有光输出控制部122、中心波长控制部124、以及高频控制部126。原子振荡器1000通过具有两种不同的频率成分的共振光对(第一光以及第二光)而使碱金属原子产生EIT现象。

[0040] 光源100产生频率彼此不同的第一光及第二光,并对密封在气室102中的碱金属原子照射第一光及第二光。关于光源100的详细构成见后述。

[0041] 在此,图2是表示共振光的频谱的图。图3是表示碱金属原子的 $\Lambda$ 型3能级模型( $\Lambda$ -type three-level model)与第一边带(第一光)W1以及第二边带(第二光)W2的关系的图。从光源100射出的光L包括:图2所示的具有中心频率 $f_0$ ( $=c/\lambda_0$ : $c$ 为光速、 $\lambda_0$ 为激光的中心波长)的基波F、相对于中心频率 $f_0$ 在上边带具有频率 $f_1$ 的第一边带W1、以及相对于中心频率 $f_0$ 在下边带具有频率 $f_2$ 的第二边带W2。第一边带W1的频率 $f_1$ 为 $f_1=f_0+f_m$ ,第二边带W2的频率 $f_2$ 为 $f_2=f_0-f_m$ 。

[0042] 如图3所示,第一边带W1的频率 $f_1$ 和第二边带W2的频率 $f_2$ 的频率差与相当于碱金属原子的基能级(基底準位)GL1与基能级GL2的能量差 $\Delta E_{12}$ 的频率一致。因此,碱金属原子通过具有频率 $f_1$ 的第一边带W1和具有频率 $f_2$ 的第二边带W2而发生EIT现象。

[0043] 在此,对EIT现象进行说明。已知碱金属原子与光的相互作用能够通过 $\Lambda$ 型3能级系模型来说明。如图3所示,碱金属原子具有两个基能级,当分别单独地向碱金属原子照射具有相当于基能级GL1与激发能级的能量差的波长(频率 $f_1$ )的第一边带W1、或者具有相当于基能级GL2与激发能级的能量差的波长(频率 $f_2$ )的第二边带W2时,引发光吸收。但如图2所示,当向该碱金属原子同时照射频率差 $f_1-f_2$ 恰好与相当于基能级GL1和基能级GL2的能量差 $\Delta E_{12}$ 的频率一致的第一边带W1和第二边带W2时,成为两个基能级重叠的状态、即量子干涉状态,发生向激发能级的激发停止、第一边带W1和第二边带W2透过碱金属原子的透明化现象(EIT现象)。利用该EIT现象,检测并控制第一边带W1与第二边带W2的频率差 $f_1-f_2$ 从相

当于基能级GL1与基能级GL2的能量差  $\Delta E_{12}$  的频率偏离时的光吸收举动的急剧变化,由此能够建立高精度的振荡器。

[0044] 气室102通过在容器中密封气体状的碱金属原子(钠原子、铷原子、铯原子等)而成。铯原子例如被加热为80℃左右而成为气体状。当对该气室102照射具有相当于碱金属原子的两个基能级的能量差的频率(波长)的两个光波(第一光以及第二光)时,碱金属原子产生EIT现象。例如,若碱金属原子为铯原子,因D1线中基能级GL1与基能级GL2的能量差所相当的频率为9.19263……GHz,所以当照射频率差为9.19263……GHz的两个光波时,将引发EIT现象。

[0045] 光检测部104检测透过气室102(透过密封在气室102中的碱金属原子)的光的光量(强度)。光检测部104输出与透过碱金属原子的光量相应的检测信号。作为光检测部104,例如使用光电二极管。

[0046] 光输出可变部106基于来自光输出控制部122的信号而向光源100的电极60、62(参照后述的图5)间施加电压,使光源100的光输出(光量)发生变化。光输出可变部106也可以构成为包括向电极60、62间施加电压的电源4(参照后述的图8)。

[0047] 中心波长可变部108基于来自中心波长控制部124的信号而向光源100的电极30、32(参照图5)间施加电压,将电流注入活性层22,使从光源100射出的光L的中心波长发生变化。由此,能够使光L中包含的共振光对(第一光以及第二光)的中心波长发生变化。中心波长可变部108也可以构成为包括向电极30、32间施加电压的电源2(参照图8)。

[0048] 高频产生部110基于来自高频控制部126的信号而向光源100的电极30、32间供给高频信号,生成共振光对。高频产生部110也可以通过专用电路来实现。

[0049] 吸收检测部112例如检测改变了光L的中心波长时光检测部104输出的检测信号的信号强度的最小值(吸收的底)。吸收检测部112也可以通过专用电路来实现。

[0050] EIT检测部114对光检测部104输出的检测信号进行同步检波,检测EIT现象。EIT检测部114也可以通过专用电路来实现。

[0051] 光输出控制部122基于光检测部104输出的检测信号的光量的平均(DC分量)而控制光输出可变部106,从而控制向光源100的电场吸收层59(参照图5)施加(向量子阱层52施加)的电压,使电场吸收层59中(量子阱层52中)的光吸收量发生变化。由此,光输出控制部122能够使光源100的光输出(光量)发生变化。光输出控制部122也可以基于检测信号的光量的移动平均而控制光输出可变部106。光输出控制部122以使从光源100射出的光输出一定的方式(例如光检测部104输出的检测信号的DC分量一定的方式)控制向电场吸收层59施加的电压。光输出控制部122也可以构成为包括APC(Auto Power Control:自动功率控制)电路。

[0052] 中心波长控制部124通过基于来自吸收检测部112的信号而控制中心波长可变部108,从而控制注入光源100的活性层22(参照图5)的电流,使从光源100射出的光L的光输出(光量)以及波长(中心波长)发生变化。

[0053] 高频控制部126基于来自EIT检测部114的信号,向高频产生部110输入产生高频信号的信号。

[0054] 需要注意的是,控制部120也可以构成为通过专用电路实现来进行上述的控制。另外,控制部120例如也可以构成为,通过使CPU(Central Processing Unit:中央处理单元)

执行存储在ROM(Read Only Memory:只读存储器)、RAM(Random Access Memory:随机存取存储器)等存储装置中的控制程序而作为计算机发挥功能来进行上述的控制。

[0055] 接下来,对原子振荡器1000的动作进行说明。首先,对启动停止状态的原子振荡器1000时的初始动作进行说明。

[0056] 高频控制部126向高频产生部110输入信号,从高频产生部110向光源100输入高频信号。此时,使高频信号的频率以不会产生EIT现象的方式稍微偏移。例如在使用铯作为气室102的碱金属原子的情况下,与4.596……GHz的值偏离。

[0057] 接下来,中心波长控制部124控制中心波长可变部108,扫描(sweep)光L的中心波长。此时,由于高频信号的频率被设定为不会产生EIT现象的频率,故不会产生EIT现象。吸收检测部112在已扫描了光L的中心波长之时,检测在光检测部104中输出的检测信号的强度的最小值(吸收的底)。吸收检测部112例如将相对于光L的中心波长的检测信号的强度变化变为一定的点设为吸收的底(bottom of absorption)。

[0058] 当吸收检测部112检测到吸收的底时,中心波长控制部124控制中心波长可变部108,固定(锁定)中心波长。即,中心波长控制部124将光L的中心波长固定为相当于吸收的底的波长。

[0059] 接下来,光输出控制部122基于光检测部104输出的检测信号的DC分量而控制光输出可变部106,使光源100的光输出发生变化。具体来说,光输出控制部122使光源100的光输出发生变化,以使检测信号的DC分量成为规定的值。

[0060] 接下来,高频控制部126控制高频产生部110,使高频信号的频率与产生EIT现象的频率一致。之后,转移至环路动作,通过EIT检测部114来检测EIT信号。

[0061] 接下来,对原子振荡器1000的环路动作(loop operation)进行说明。

[0062] EIT检测部114对光检测部104输出的检测信号进行同步检波,高频控制部126基于从EIT检测部114输入的信号而将高频产生部110产生的高频信号的频率控制为相当于气室102的碱金属原子的 $\Delta E_{12}$ 的一半的频率。

[0063] 吸收检测部112对光检测部104输出的检测信号进行同步检波,中心波长控制部124基于从吸收检测部112输入的信号而控制中心波长可变部108,以使光L的中心波长为相当于在光检测部104中输出的检测信号的强度的最小值(吸收的底)的波长。

[0064] 光输出控制部122基于光检测部104输出的检测信号的DC分量而控制光输出可变部106。具体来说,在检测信号的DC分量小于规定的值的情况下,光输出控制部122控制光输出可变部106,使得检测信号的DC分量成为规定的值。即使因光输出控制部122的控制而使光L的中心波长与相当于吸收的底的波长偏离,也能够通过上述的中心波长控制部124的控制而使光L的中心波长与相当于吸收的底的波长一致。进而,即使因中心波长控制部124的控制而使检测信号的DC分量与规定的值偏离,也能够通过上述的光输出控制部122的控制而使检测信号的DC分量恢复为规定的值。

[0065] 需要注意的是,在原子振荡器1000中,也可以控制为使光源100的温度(驱动温度)一定。

[0066] 1.2. 光源

[0067] 接下来,参照附图,对本实施方式所涉及的原子振荡器1000的光源100进行说明。图4是示意性表示本实施方式所涉及的光源100的平面图。图5是示意性表示本实施方式所

涉及的光源100的图4的V-V线剖视图。图6是示意性表示本实施方式所涉及的光源100的图4的VI-VI线剖视图。图7是示意性表示本实施方式所涉及的光源100的图4的VII-VII线剖视图。图8是用于说明本实施方式所涉及的光源100的电路图。

[0068] 如图4~图7所示,光源100包括基板10、第一反射层20、活性层22、第二反射层24、电流狭窄层26、第一电极30、第二电极32、热扩散层40、第一接触层50、第一半导体层51、量子阱层52、第二半导体层53、第二接触层54、第三电极60、第四电极62、以及绝缘层70、72、74。

[0069] 基板10例如是第一导电型(例如n型)的GaAs基板。

[0070] 第一反射层20设置在基板10上。第一反射层20为第一导电型的半导体层。第一反射层20是交替地层叠有高折射率层和折射率低于高折射率层的低折射率层的分布布拉格反射型(DBR)镜。高折射率层例如为n型的 $\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{As}$ 层。低折射率层例如为n型的 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 层。高折射率层和低折射率层的层叠数(对数)例如为10对以上50对以下,具体来说为40.5对。

[0071] 活性层22设置在第一反射层20上。活性层22例如具有将由i型的 $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{As}$ 层与i型的 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 层构成的量子阱结构重叠3层而成的多量子阱(MQW)结构。

[0072] 第二反射层24设置在活性层22上。第二反射层是第二导电型(例如p型)的半导体层。第二反射层24是交替地层叠有高折射率层与折射率低于高折射率层的低折射率层的分布布拉格反射型(DBR)镜。高折射率层例如为p型的 $\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{As}$ 层。低折射率层例如为p型的 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 层。高折射率层与低折射率层的层叠数(对数)例如为3对以上40对以下,具体来说为20对。

[0073] 第二反射层24、活性层22以及第一反射层20构成光振荡层29。光振荡层29是将第一反射层20、活性层22和第二反射层24依次层叠的层叠体。光振荡层29构成垂直谐振器型的pin二极管。如图8所示,当在与电源2电连接的电极30、32之间施加pin二极管3的正向电压时,在活性层22中发生电子与空穴的再结合,产生发光。由活性层22产生的光在第一反射层20与第二反射层24之间往复(多重反射),此时引起感应发射,强度放大。然后,当光增益超过光损失时,引发激光振荡,从第二接触层54的上表面沿垂直方向(活性层22以及第一反射层20的层叠方向)射出激光。该激光的波长例如为800nm以上950nm以下,具体来说为852nm、895nm。

[0074] 电流狭窄层26设置在第一反射层20与第二反射层24之间。在图5所示的例子中,电流狭窄层26设置在活性层22上。电流狭窄层26是形成有开口部的绝缘层,在该开口部设有第二反射层24。电流狭窄层26的平面形状(从活性层22以及第一反射层20的层叠方向观察的形状)为环状。电流狭窄层26能够抑制通过电极30、32注入垂直谐振器的电流向平面方向(与活性层22及第一反射层20的层叠方向正交的方向)扩展。

[0075] 电流狭窄层26、第二反射层24、活性层22以及第一反射层20构成柱状部28。柱状部28的平面形状例如为圆形。

[0076] 第一电极30设置在基板10下。第一电极30例如设置在与第一电极30欧姆接触的层(在图5所示的例子中为基板10)的下表面。第一电极30与第一反射层20电连接。作为第一电极30,例如使用从基板10侧起依次层叠有Cr层、AuGe层、Ni层、Au层的电极。第一电极30是用于向活性层22注入电流的一方的电极。

[0077] 第二电极32配置在第二反射层24上。第二电极32与第二反射层24电连接。作为第二电极32,例如使用从第二反射层24侧起依次层叠有Cr层、Pt层、Ti层、Pt层、Au层的电极。第二电极32是用于向活性层22注入电流的另一方的电极。

[0078] 如图4所示,第二电极32具有接触部32a、引出部32b、和衬垫(pad)部32c。接触部32a与第二反射层24接触。在图4所示的例子中,接触部32a的平面形状为切掉环状的一部分而成的形状。引出部32b的平面形状例如为直线状。引出部32b将接触部32a与衬垫部32c连接。引出部32b以及衬垫部32c设置在绝缘层70上。衬垫部32c作为电极垫而与外部的配线等连接。在图示的例子中,衬垫部32c的平面形状为圆形。需要注意的是,绝缘层70例如设置为,与柱状部28的侧面接触而包围柱状部28。绝缘层70例如为聚酰亚胺层、氧化硅层。

[0079] 第二电极32、第二反射层24、活性层22、第一反射层20以及第一电极30构成面发光激光器(VCSEL:Vertical Cavity Surface Emitting Laser:垂直腔表面发射激光器)。

[0080] 热扩散层40配置在第二反射层24上。热扩散层40配置在第二反射层24与第一接触层50之间(光振荡层29与电场吸收层59之间)。热扩散层40的平面形状例如为圆形。在平面视图中(从活性层22以及第一反射层20的层叠方向观察),热扩散层40的面积小于第二反射层24的上表面的面积,热扩散层40设于第二反射层24的外缘的内侧。热扩散层40的热传导率高于第二反射层24的热传导率。具体来说,热扩散层40的热传导率高于构成第二反射层24的高折射率层的热传导率、且低于构成第二反射层24的低折射率层的热传导率。热扩散层40例如为i型的AlAs层、i型的GaAs层。例如,i型的GaAs的热传导率为 $0.55\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$ 。

[0081] 第一接触层50配置在热扩散层40上。第一接触层50设置在热扩散层40与第一半导体层51之间。在图4所示的例子中,第一接触层50的平面形状为圆形。在平面视图中,第一接触层50的面积与热扩散层40的面积例如相同。第一接触层50例如为p型的GaAs层。

[0082] 第一半导体层51设置在第一接触层50上。第一半导体层51的平面形状例如为圆形。在平面视图中,第一半导体层51的面积小于第一接触层50的上表面的面积,第一半导体层51设置在第一接触层50的外缘的内侧。第一半导体层51例如为p型的 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 层。

[0083] 量子阱层52设置在第一半导体层51上。具有重叠三个由i型的GaAs势阱层与i型的 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 阻挡层构成的量子阱结构的多量子阱(MQW)结构。

[0084] 第二半导体层53设置在量子阱层52上。第二半导体层53例如为n型的 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 层。半导体层51、53是带隙比量子阱层52大且折射率更小的层。

[0085] 第二半导体层53、量子阱层52以及第一半导体层51构成电场吸收层59。电场吸收层59是将第一半导体层51、量子阱层52和第二半导体层53依次层叠的层叠体。电场吸收层59构成pin二极管(pin光电二极管)。如图8所示,当在与电源4电连接的电极60、62之间施加pin二极管5的反向电压时,在量子阱层52中能够吸收光。由此,能够吸收在光振荡层29中产生的光(在面发光激光器中产生的激光)。能够通过施加于电场吸收层59的电压的大小,调整量子阱层52中的光的吸收量。

[0086] 需要注意的是,构成为包括电场吸收层59的pin光电二极管既可以将量子阱层52中吸收光而被激发的电子与空穴所引起的光电流作为信号取出至外部电路,也可以不取出。

[0087] 在此,当向电场吸收层59施加电压时,由于量子束缚斯塔克效应,电场吸收层59的吸收波长(吸收峰值波长)与不施加电压时相比,偏向长波长侧。为此,在没有向电场吸收层

59施加电压的状态下,预先将电场吸收层59中的吸收峰值波长设定为比光振荡层29中(面发光激光器中)的振荡波长更靠短波长侧。于是,通过向电场吸收层59施加电压,使电场吸收层59的吸收峰值波长偏移(shift),吸收在光振荡层29中产生的光。

[0088] 例如,在光振荡层29中的振荡波长为852nm的情况下,在没有施加电压的状态下电场吸收层59的(量子阱层52的)的吸收峰值波长设为800nm。在这种情况下,作为量子阱层52,使用具有重叠三个由厚度4nm的GaAs势阱层与厚度10nm的 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 阻挡层构成的量子阱结构的多量子阱(MQW)结构的量子阱层。

[0089] 第二接触层54设置在第二半导体层53上。在图4所示的例子中,第二接触层54的平面形状为圆形。第二接触层54的材质例如为n型的GaAs层。

[0090] 第三电极60设置在第一接触层50上。第三电极60设置于第一接触层50的供第一半导体层51配置的面。第三电极60与第一半导体层51电连接。第三电极60例如与第一接触层50欧姆接触。第三电极60的材质例如与第二电极32的材质相同。第三电极60是用于向电场吸收层59施加电压的一方的电极。

[0091] 如图4所示,第三电极60具有接触部60a与衬垫部60c。接触部60a与第一接触层50接触。在图4所示的例子中,接触部60a在平面视图中具有切掉环状的一部分而成的形状,并设置为包围第二接触层54。

[0092] 第三电极60的衬垫部60c例如与接触部60a连接。衬垫部60c具有第一部分601与第二部分602。在平面视图中,第一部分601的面积大于第二电极32的衬垫部32c的面积以及第四电极62的衬垫部62c的面积。在平面视图中,第二部分602的面积大于衬垫部32c的面积以及衬垫部62c的面积。在图示的例子中,第一部分601以及第二部分602的平面形状大致为四边形。在平面视图中,第一部分601以及第二部分602也可以相对于第二接触层54的中心设置为点对称。

[0093] 第三电极60的衬垫部60c设置在绝缘层72上。衬垫部60c作为电极垫与外部的配线等连接。需要注意的是,如图7所示,绝缘层72与热扩散层40以及第一接触层50的侧面接触,并设置在绝缘层70上。绝缘层72的材质例如与绝缘层70的材质相同。

[0094] 第四电极62设置在第二接触层54上。第四电极62与第二半导体层53电连接。第四电极62例如与第二接触层54欧姆接触。第四电极62的材质例如与第一电极30的材质相同。第四电极62是用于向电场吸收层59施加电压的另一方的电极。

[0095] 如图4所示,第四电极62具有接触部62a、引出部62b和衬垫部62c。接触部62a与第二接触层54接触。在图4所示的例子中,接触部62a的平面形状为环状。引出部62b的平面形状例如为直线状。引出部62b将接触部62a与衬垫部62c连接。引出部62b以及衬垫部62c设置在绝缘层74上。衬垫部62c作为电极垫而与外部的配线等连接。在图示的例子中,衬垫部62c的平面形状为圆形。需要注意的是,如图6所示,绝缘层74与电场吸收层59以及第二接触层54的侧面接触并设置在绝缘层72上。绝缘层74的材质例如与绝缘层70的材质相同。

[0096] 需要说明的是,虽未图示,但绝缘层72也可以设置为包围热扩散层40以及第一接触层50,而绝缘层74也可以设置为包围电场吸收层59以及第二接触层54。

[0097] 另外,上面说明了AlGaAs系的光源,但光源也可以根据振荡波长而例如使用GaInP系、ZnSSe系、InGaAs系、AlGaAs系、GaInNAs系、GaAsSb系的半导体材料。

[0098] 1.3.光源的制造方法

[0099] 接下来,参照附图,对本实施方式所涉及的光源100的制造方法进行说明。图9~图11是示意性表示本实施方式所涉及的光源100的制造工序的剖视图。

[0100] 如图9所示,在基板10上依次外延生长第一反射层20、活性层22、被氧化而一部分成为电流狭窄层26的被氧化层26a、第二反射层24、热扩散层40、第一接触层50、第一半导体层51、量子阱层52、第二半导体层53以及第二接触层54。作为外延生长的方法,例如可举出MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition:金属有机气相沉积)法、MBE(Molecular Beam Epitaxy:分子束外延)法。

[0101] 如图10所示,将第二接触层54、第二半导体层53、量子阱层52、第一半导体层51、第一接触层50、热扩散层40、第二反射层24、被氧化层26a、活性层22、第一反射层20图案化为规定形状。例如通过光刻法以及蚀刻来进行图案化。也可以使第二接触层54、第二半导体层53、量子阱层52以及第一半导体层51在同一工序中(例如同时)图案化。也可以使第一接触层50以及热扩散层40在同一工序中图案化。也可以使第二反射层24、被氧化层26a、活性层22、第一反射层20在同一工序中图案化。使各层图案化的顺序没有特别限定。能够通过本工序形成柱状部28。

[0102] 如图11所示,氧化被氧化层26a的一部分而形成电流狭窄层26。被氧化层26a例如为 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $x \geq 0.95$ )层。例如,通过将形成有各层的基板10投入400℃左右的水蒸气气氛中,从而从侧面氧化被氧化层26a,形成电流狭窄层26。在本工序中,为了不氧化热扩散层40,利用抗蚀剂(未图示)等覆盖热扩散层40的侧面。

[0103] 如图5所示,在柱状部28的周围形成绝缘层70。换言之,在柱状部28的平面视图中,柱状部28被绝缘层70包围。例如通过采用旋涂法、CVD法的成膜以及图案化来形成绝缘层70。例如通过光刻法以及蚀刻来进行图案化。

[0104] 如图6以及图7所示,在绝缘层70上形成绝缘层72、74。例如通过采用旋涂法、CVD法的成膜以及图案化来形成绝缘层72、74。例如通过光刻法以及蚀刻来进行图案化。

[0105] 如图5所示,在基板10下形成第一电极30,在第二反射层24上形成第二电极32,在第一接触层50上形成第三电极60,在第二接触层54上形成第四电极62。例如通过真空蒸镀法与剥离法的组合等来形成电极30、32、60、62。需要注意的是,形成电极30、32、60、62的顺序没有特别限定。

[0106] 通过以上的工序,能够制造光源100。

[0107] 原子振荡器1000例如具有以下特征。

[0108] 在原子振荡器1000中,光源100具有依次层叠有第一反射层20、活性层22和第二反射层24的光振荡层29;以及依次层叠有第一半导体层51、量子阱层52和第二半导体层53的电场吸收层59。为此,在原子振荡器1000中,当使注入活性层22的电流量发生变化而使从光源100射出的光(从第二接触层54的上表面射出的光)的中心波长发生变化时,即使从光源100射出的光的光输出(光量)与规定的值偏离,通过使施加于电场吸收层59(向量子阱层52)的电压发生变化,也能够使从光源100射出的光的光输出回到规定的值。

[0109] 进而,在原子振荡器1000的光源100中,具有配置在光振荡层29与电场吸收层59之间、且热传导率比第二反射层24高的热扩散层40。为此,即使电场吸收层59(量子阱层52)吸收光而发热,也能够经由热扩散层40而使该热向外部扩散,能够抑制该热到达第二反射层24、活性层22。具体来说,在电场吸收层59中产生的热经由第一接触层50、热扩散层40、接触

部60a以及衬垫部60c而释放至外部。由此,在原子振荡器1000中,能够抑制在电场吸收层59中产生的热所引起的光源100的温度变化。因此,在原子振荡器1000中,能够抑制光源100的中心波长因温度而波动,能够利用向活性层22注入的电流量和向电场吸收层59施加的电压来单独(独立)地控制光源100的输出波长和光输出。在原子振荡器1000中,例如,为了使光源100的中心波长一定,需要以数十mK的单位来控制光源100的驱动温度,通过设置热扩散层40,能够容易地进行温度的控制。

[0110] 进而,即便使注入活性层的电流量为一定、使光源的驱动温度一定来驱动光源的情况下,在长期使用中,也会存在光源的输出波长以及光输出发生变化的情况。即使在这样的情况下,在原子振荡器1000中,能够单独地控制光源100的输出波长与光输出,能够实现原子振荡器1000的长期稳定度的提高。

[0111] 在原子振荡器1000的光源100中,热扩散层40为i型的AlAs层、i型的GaAs层。为此,能够与光振荡层29以及电场吸收层59一起以一系列的工序(例如在相同的MOCVD装置中)来形成热扩散层40。

[0112] 在原子振荡器1000的光源100中,在第一接触层50的供第一半导体层51配置的面设有用于向电场吸收层59施加电压的第三电极60。为此,在原子振荡器1000中,与第三电极60同第一半导体层51直接接触的情况相比,能够降低第三电极60的接触电阻。

[0113] 2. 原子振荡器的变形例

[0114] 2.1. 第一变形例

[0115] 接下来,参照附图,对本实施方式的第一变形例所涉及的原子振荡器进行说明。图12是示意性表示本实施方式的第一变形例所涉及的原子振荡器2000的光源100的剖视图。

[0116] 以下,在本实施方式的第一变形例所涉及的原子振荡器2000中,针对具有与本实施方式所涉及的原子振荡器1000的构成部件相同功能的部件标注相同的附图标记,并省略其详细的说明。该情况对于后述的本实施方式的第二变形例所涉及的原子振荡器也是同样。

[0117] 如图12所示,原子振荡器2000的光源100在具有隔热层42这一点上与上述的原子振荡器1000的光源100不同。

[0118] 隔热层42设置在第二反射层24上。隔热层42设置在第二反射层24与热扩散层40之间。隔热层42的平面形状例如为圆形。在平面视图中,隔热层42的面积与热扩散层40的面积例如是相同的。隔热层42的热传导率低于第二反射层24的热传导率。具体来说,隔热层42的热传导率低于构成第二反射层24的高折射率层的热传导率、且低于构成第二反射层24的低折射率层的热传导率。隔热层42例如为氧化铝层( $Al_xO_y$ 层)。例如, $Al_2O_3$ 的热传导率为 $0.3W/(cm \cdot K)$ 。

[0119] 例如通过氧化AlAs层来形成隔热层42。氧化AlAs层来形成隔热层42的工序也可以与形成电流狭窄层26的工序同时地进行。成为隔热层42的AlAs层例如通过MOCVD法来形成。

[0120] 原子振荡器2000的光源100在第二反射层24与热扩散层40之间具有热传导率低于第二反射层24的隔热层42。为此,在原子振荡器2000中,即使电场吸收层59吸收光而发热,也可以通过隔热层42隔绝该热,能够抑制该热到达第二反射层24、活性层22。

[0121] 2.2. 第二变形例

[0122] 接下来,参照附图,对本实施方式的第二变形例所涉及的原子振荡器进行说明。图

13是示意性表示本实施方式的第二变形例所涉及的原子振荡器3000的光源100的剖视图。图14是示意性表示本实施方式的第二变形例所涉及的原子振荡器3000的光源100的平面图。需要注意的是,出于方便,在图14中,省略了第四电极62的接触部62a、热扩散层40以及隔热层42以外的部件的图示。

[0123] 如图13以及图14所示,原子振荡器3000的光源100在具有隔热层42这一点上与上述的原子振荡器1000的光源100不同。

[0124] 原子振荡器3000的光源100中,在平面视图中,隔热层42的面积小于热扩散层40的面积。隔热层42在平面视图中设置在热扩散层40的外缘的内侧。在第二反射层24与热扩散层40之间设有空间6。图示的例子中,在平面视图中,隔热层42的直径R1具有与第四电极62的接触部62a的外径相同的大小,直径R1大于接触部62a的内径R2。在平面视图中,隔热层42的面积大于由接触部62a限定的开口部162的面积,开口部162设置在隔热层42的外缘的内侧。进而,图示的例子中,在平面视图中,隔热层42的直径R1大于设于电流狭窄层26的开口部的内径。

[0125] 隔热层42例如能够通过用氟化氢(HF)选择性蚀刻来调整直径R1。需要说明的是,在用氟化氢蚀刻隔热层42时,预先用抗蚀剂等保护电流狭窄层26。

[0126] 在原子振荡器3000的光源100中,在平面视图中,隔热层42的面积小于热扩散层40的面积。为此,原子振荡器3000中,在第二反射层24与热扩散层40之间设有空间6。由此,在原子振荡器3000中,即使电场吸收层59吸收光而发热也能够通过隔热层42以及空间6来隔绝该热,可抑制该热到达第二反射层24、活性层22。

[0127] 在原子振荡器3000的光源100中,在平面视图中,隔热层42的面积大于由接触部62a限定的开口部162的面积,开口部162设置在隔热层42的外缘的内侧。为此,在原子振荡器3000中,能够抑制在活性层22中产生且从第二接触层54的上表面射出的光通过隔热层42与空间6的边界。由此,在原子振荡器3000中,能够抑制隔热层42与空间6的边界处的光的散射、损失。

[0128] 需要说明的是,如图15所示,也可以在隔热层42的周围设置热传导率低于隔热层的低热传导率层43。换言之,在隔热层42的平面视图中,隔热层42也可以被低热传导率层43包围。低热传导率层43设置在第二反射层24与热扩散层40之间。低热传导率层43例如为聚酰亚胺层。例如,聚酰亚胺的热传导率为 $0.018\text{W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$ 。低热传导率层43例如通过CVD法、旋涂法来形成。通过设置低热传导率层43,与在第二反射层24与热扩散层40之间设有空间6的情况(图13所示的情况)相比,能够提高耐冲击性。进而,即使电场吸收层59吸收光而发热也能够通过隔热层42以及低热传导率层43来隔绝该热,可抑制该热到达第二反射层24、活性层22。

[0129] 本发明在具有本申请中记载的特征、效果的范围内既可以省略一部分构成、也可以将各实施方式、变形例相组合。

[0130] 本发明包括与实施方式中说明过的构成实质上相同的构成(例如功能、方法及结果相同的构成、或者目的及效果相同的构成)。另外,本发明包括对实施方式中说明过的构成的非本质部分进行替换而得到的构成。另外,本发明包括能与实施方式中说明过的构成起到相同作用效果的构成或者能达到相同目的的构成。另外,本发明包括对实施方式中说明过的构成补充公知技术而得的构成。

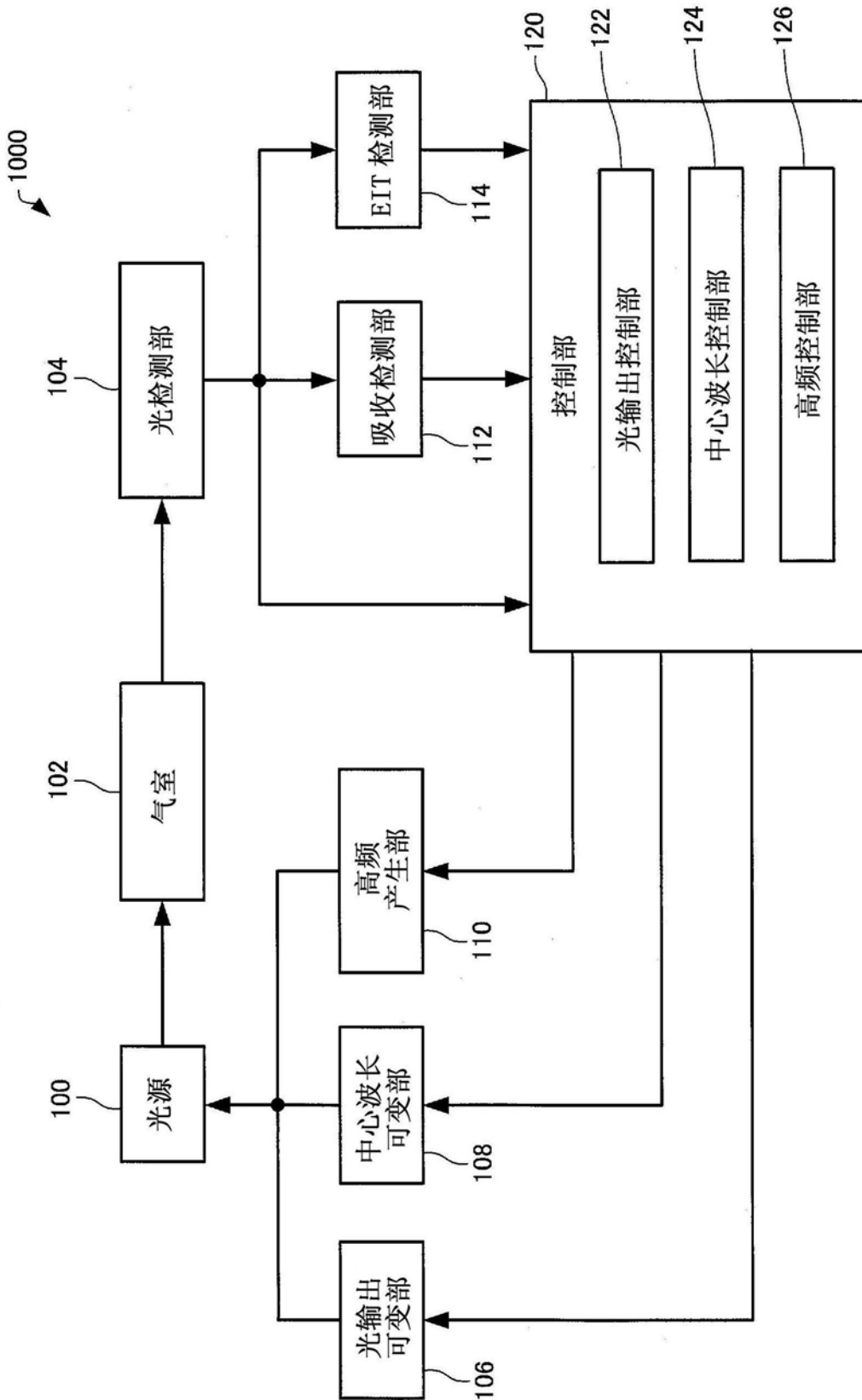


图1

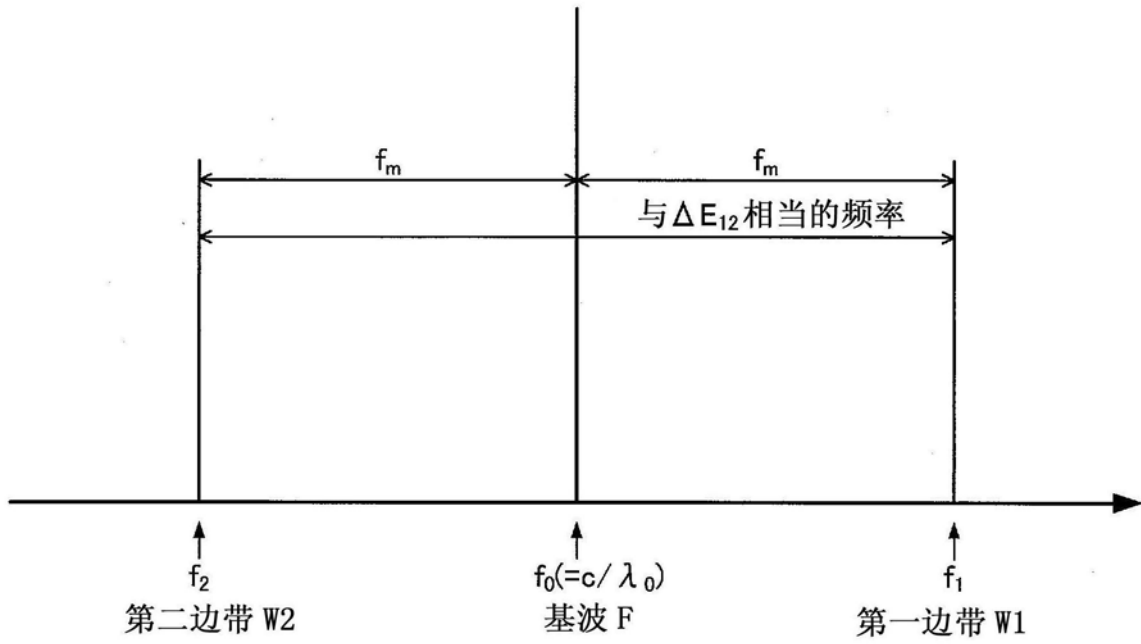


图2

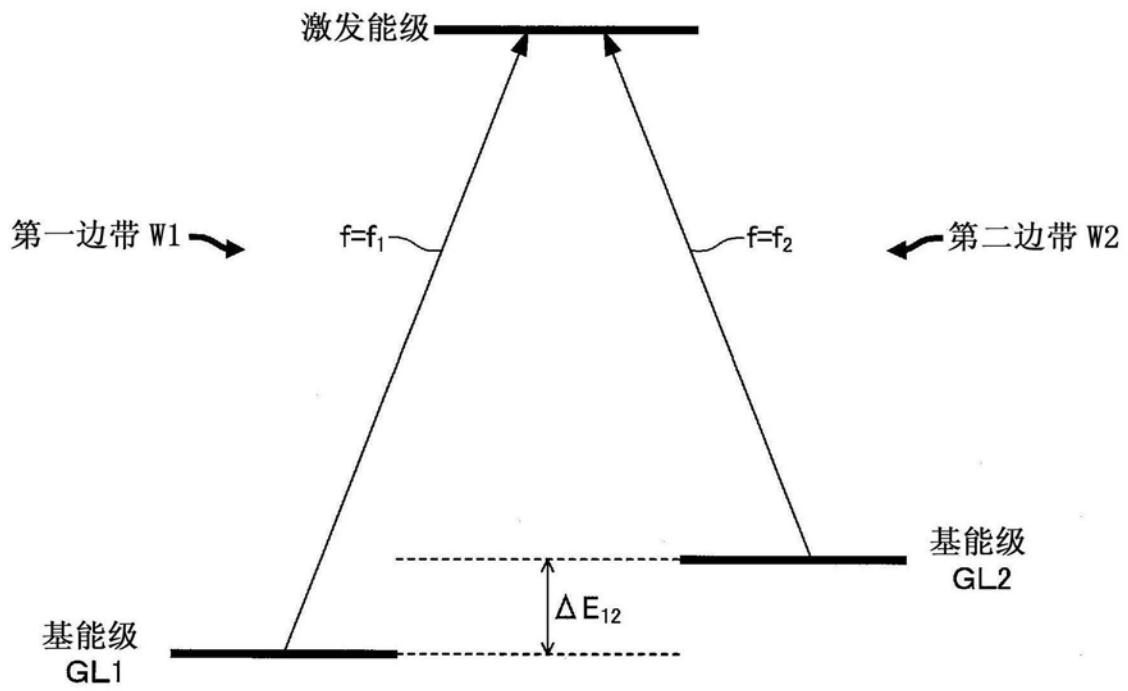


图3

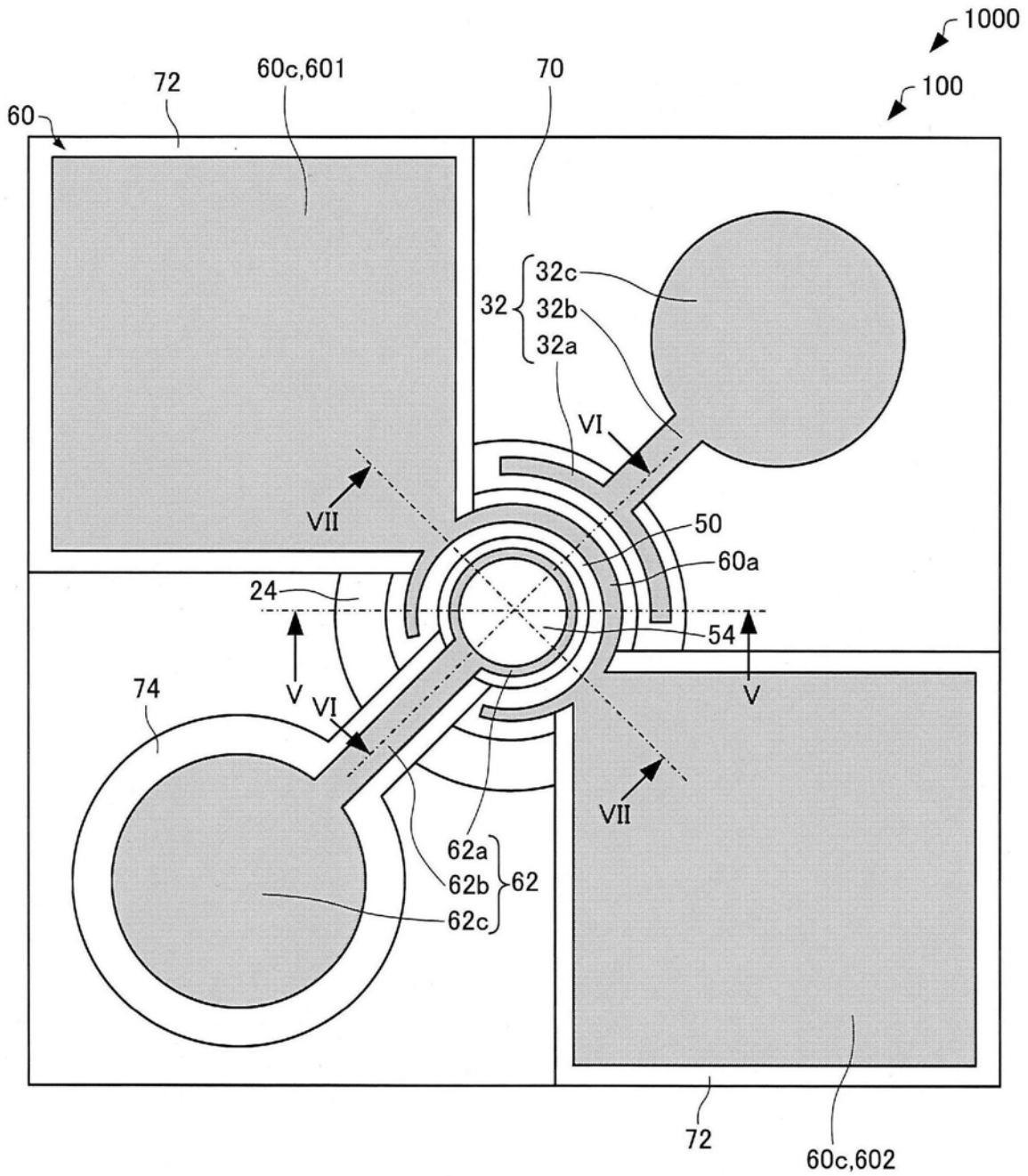


图4

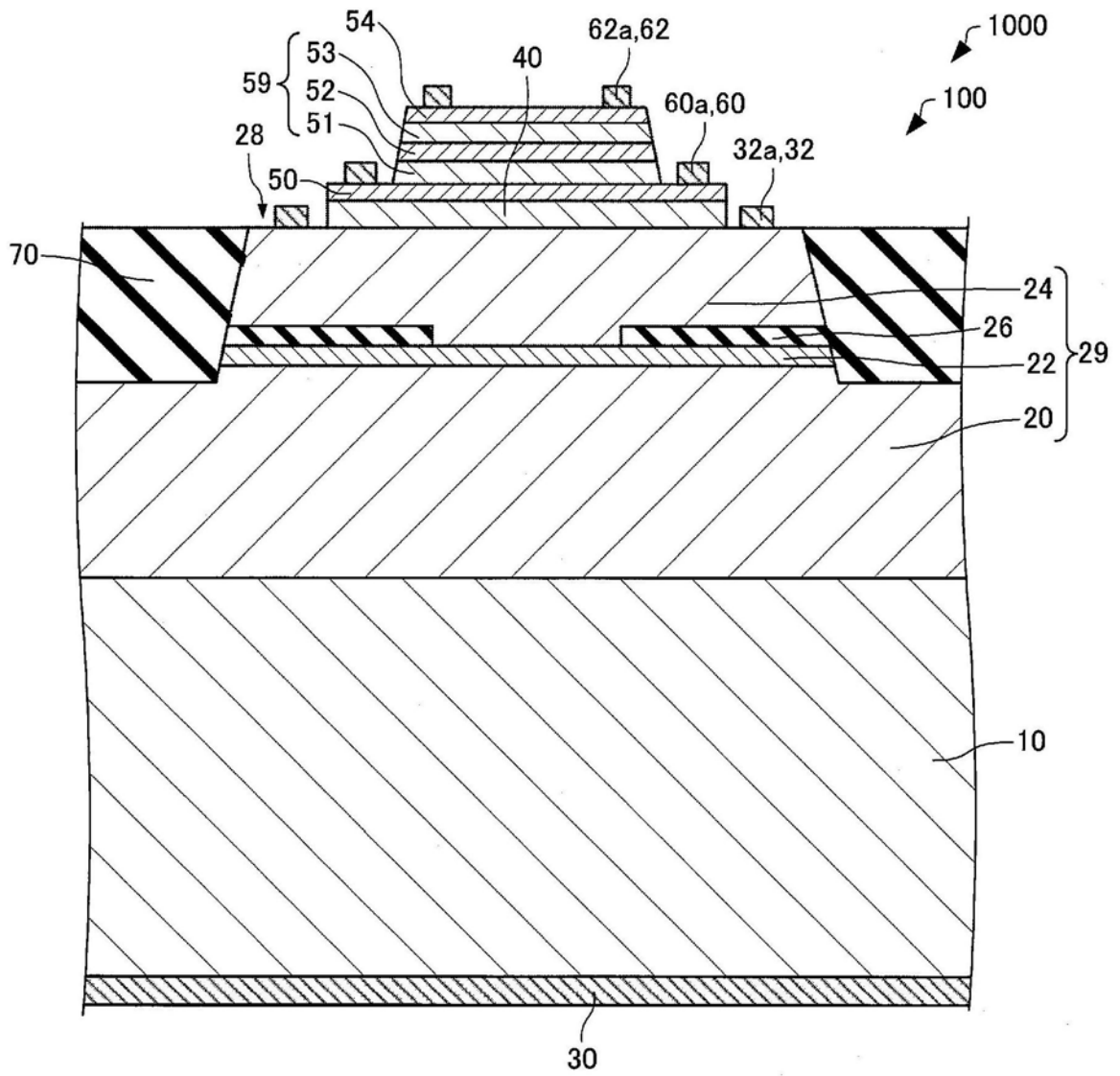


图5

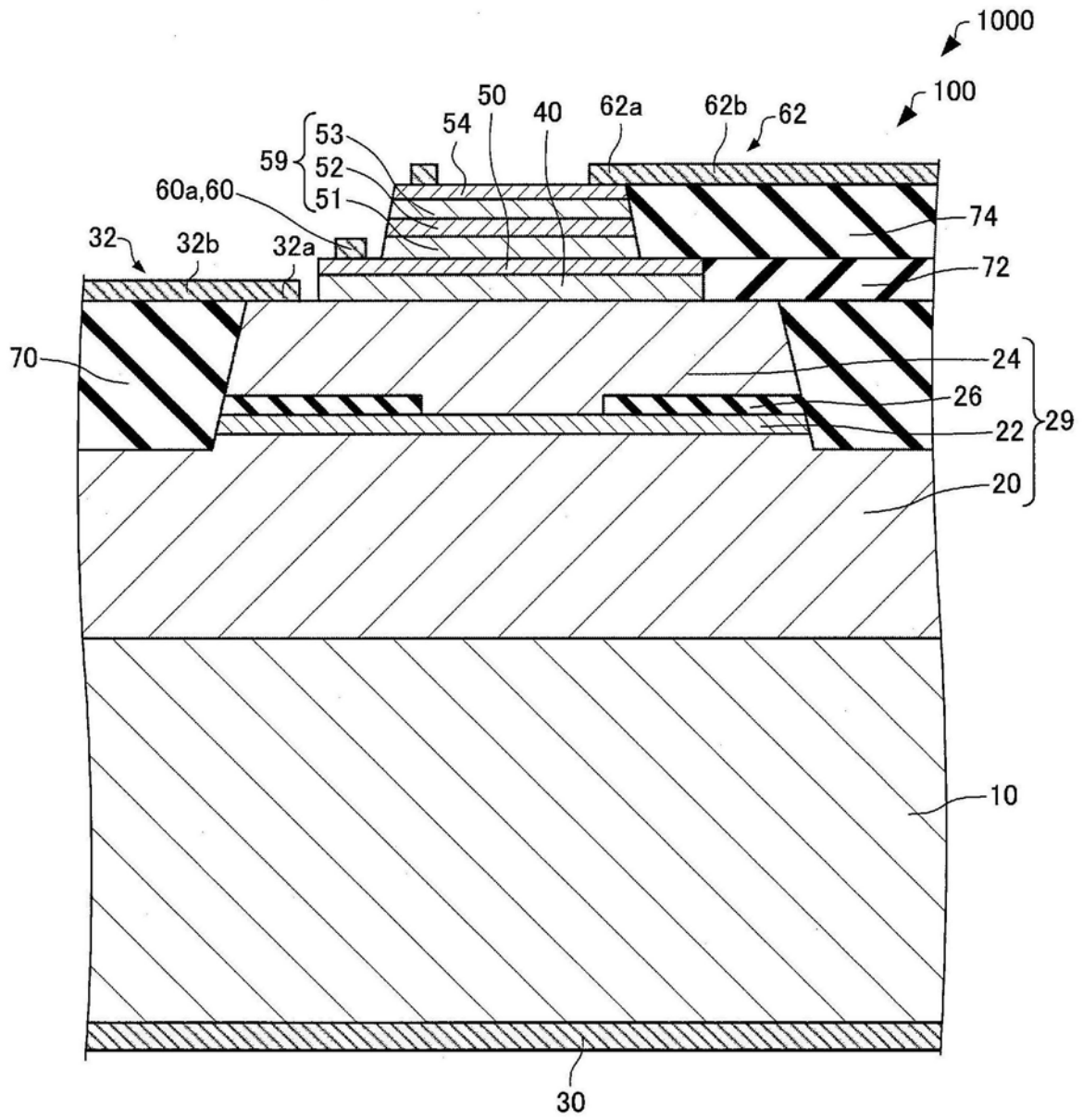


图6

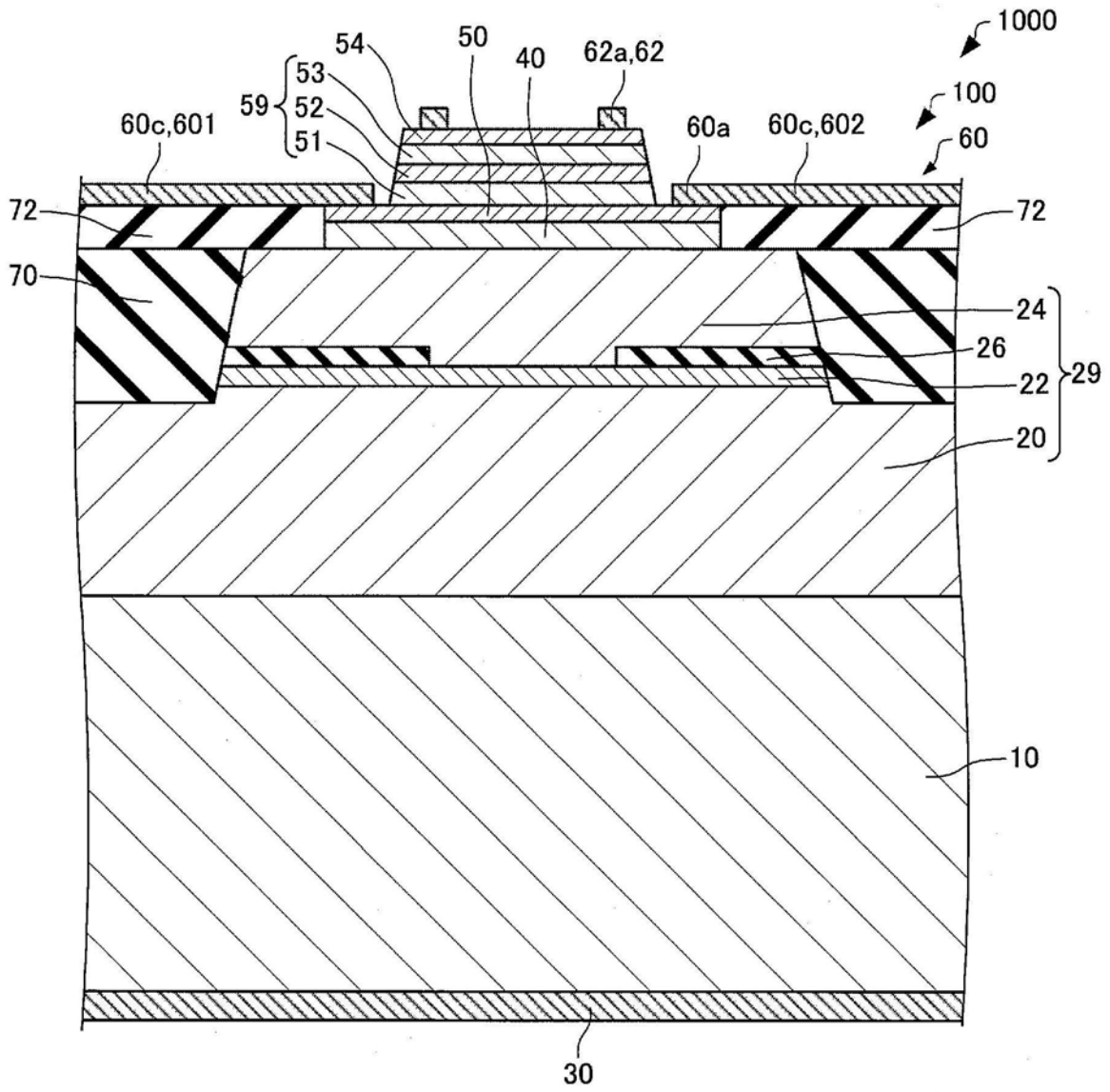


图7

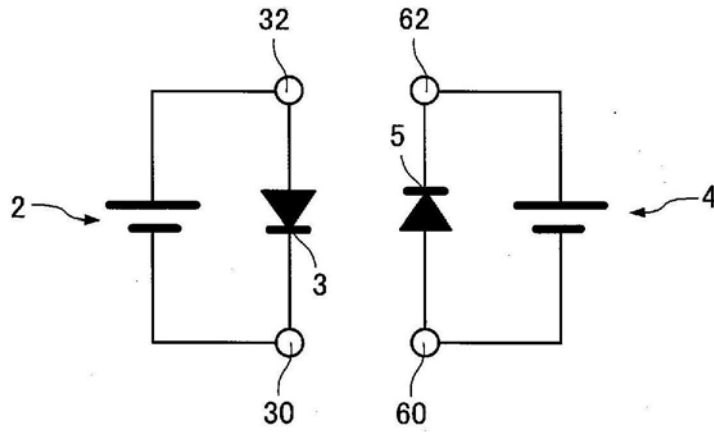


图8

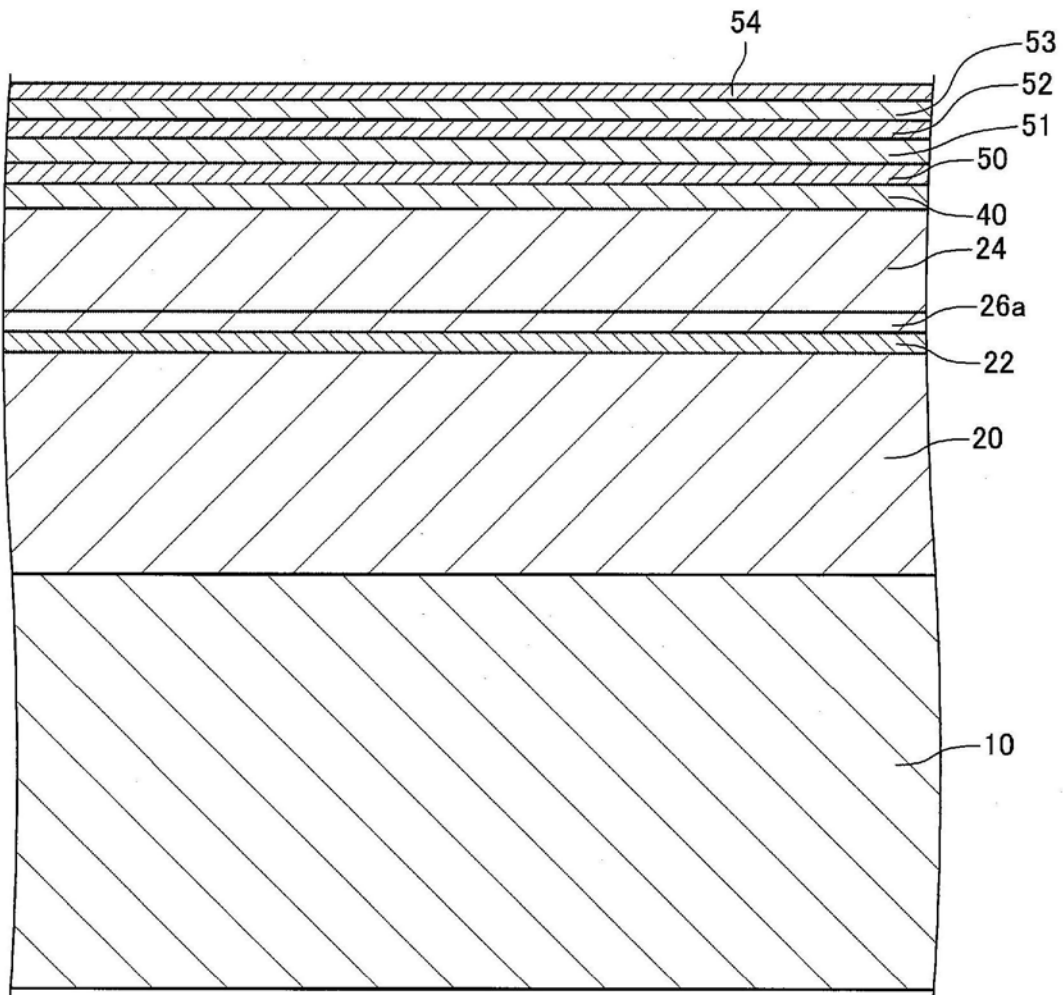


图9

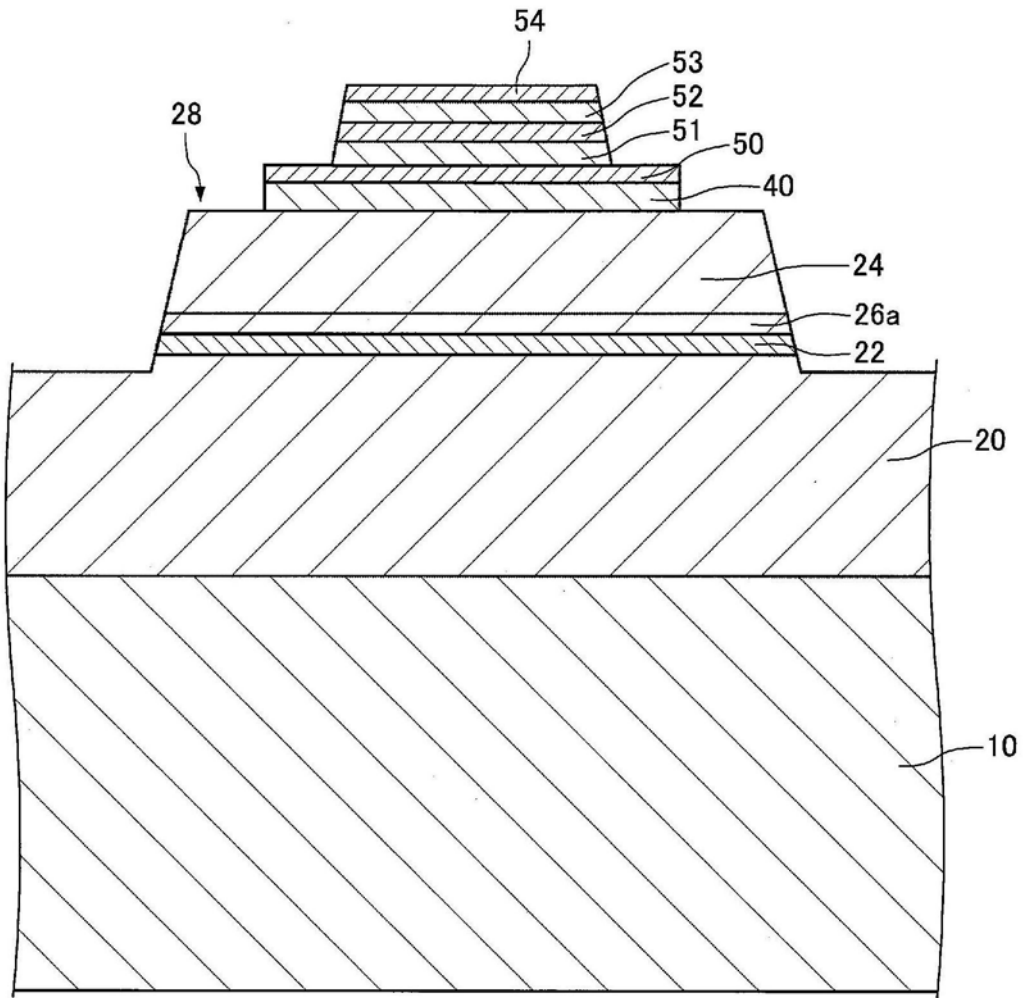


图10

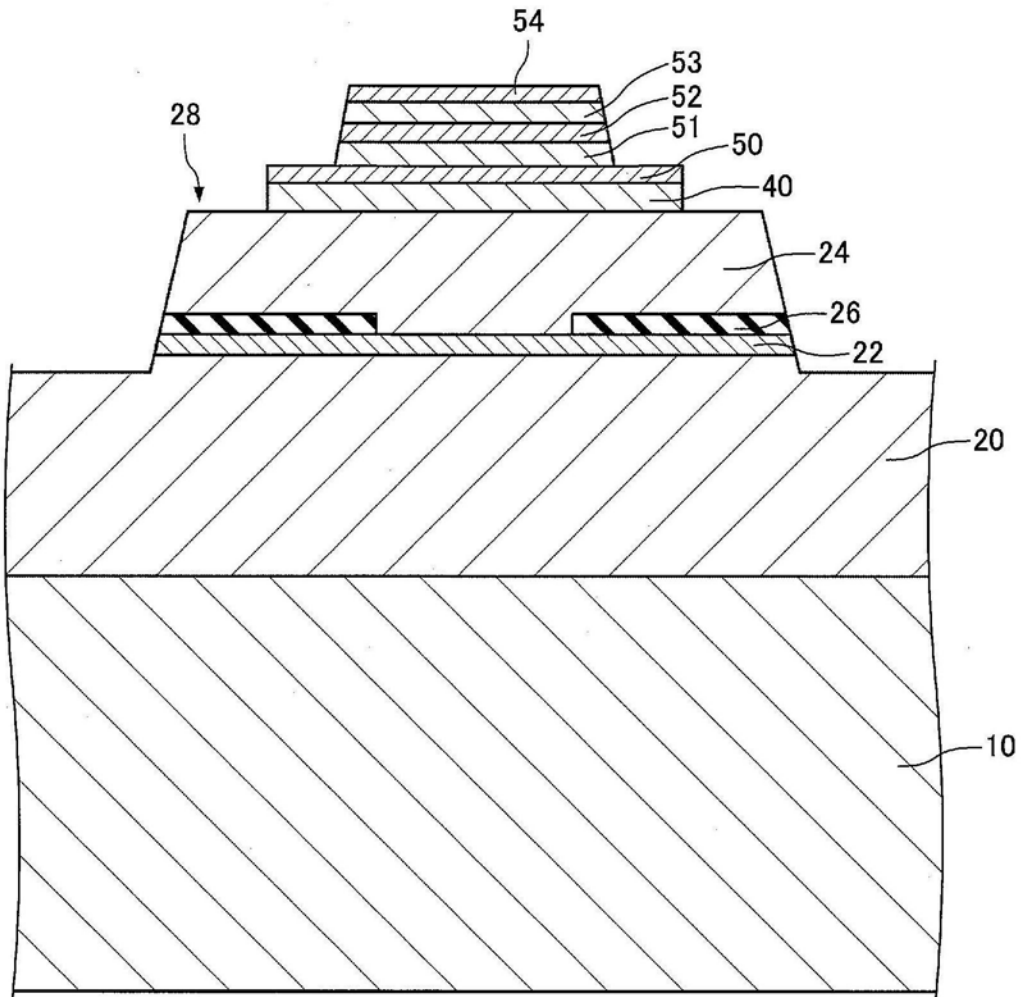


图11

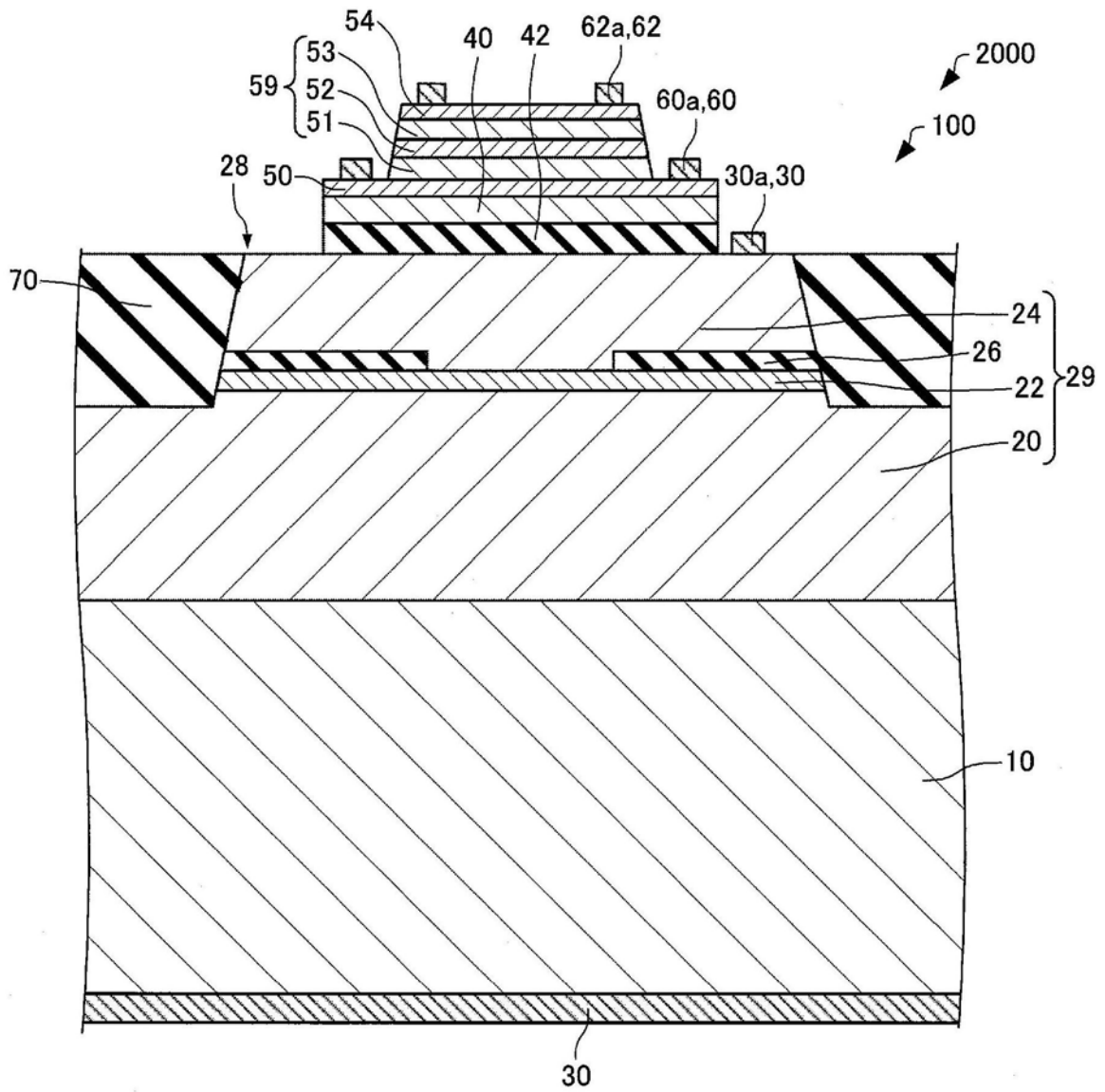


图12

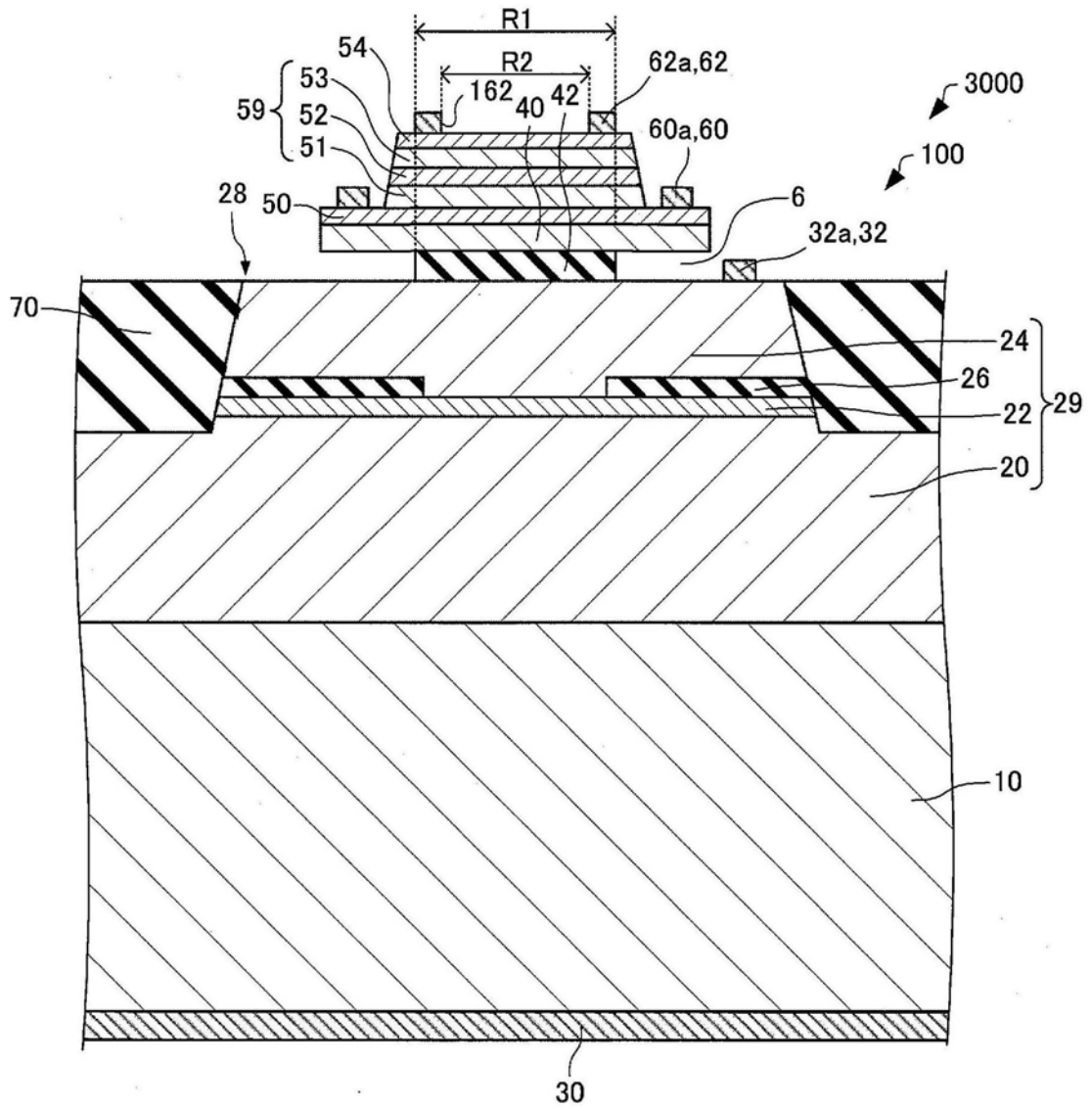


图13

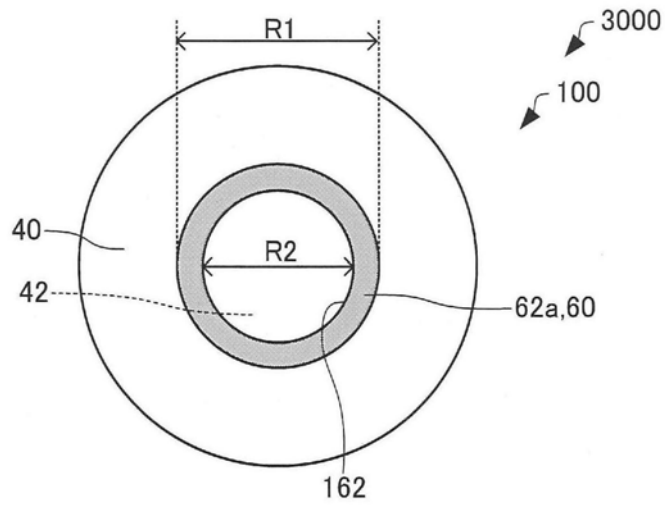


图14

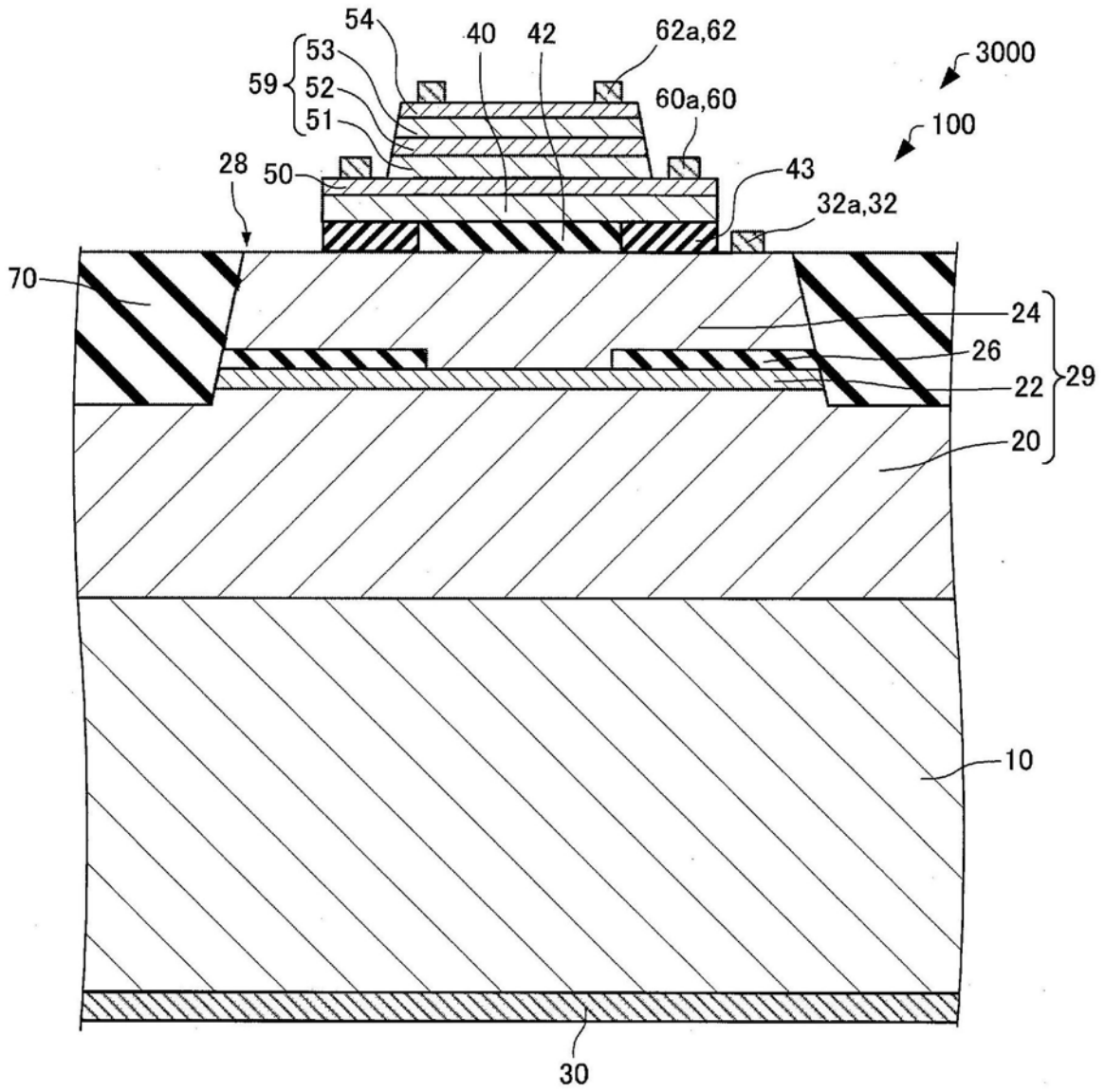


图15