



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104850001 B

(45)授权公告日 2018.11.27

(21)申请号 201510079108.9

(22)申请日 2015.02.13

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104850001 A

(43)申请公布日 2015.08.19

(30)优先权数据

2014-027032 2014.02.14 JP

(73)专利权人 精工爱普生株式会社

地址 日本东京都

(72)发明人 石原直树

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

公司 11127

代理人 李辉 黄纶伟

(51)Int.Cl.

G04F 5/14(2006.01)

H03L 7/26(2006.01)

(56)对比文件

US 3827776 A, 1974.08.06,

CN 102684692 A, 2012.09.19,

CN 102904570 A, 2013.01.30,

JP P2013-41970 A, 2013.02.28,

US 2006/0132130 A1, 2006.06.22,

审查员 张京美

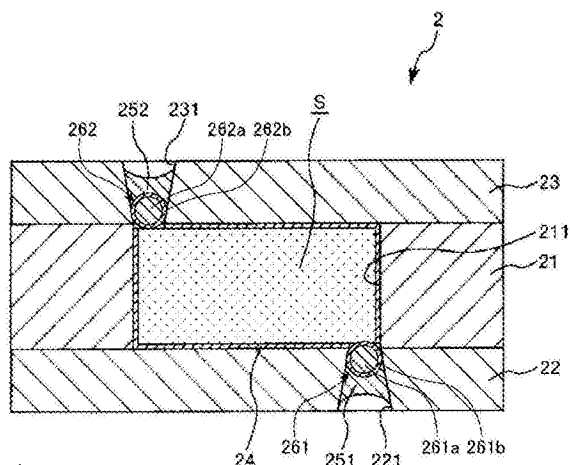
权利要求书2页 说明书20页 附图18页

(54)发明名称

原子室及制造方法、量子干涉装置、振荡器、设备和移动体

(57)摘要

提供原子室及制造方法、量子干涉装置、原子振荡器、电子设备和移动体,能够使金属原子的动作稳定化、提高频率稳定度,且可靠性优异。本发明的原子室具有:内部空间(S),其封入碱金属;涂覆膜(24),其形成在内部空间(S)的壁面上;孔(221、231),其连通内部空间(S)与外部;以及涂覆部件(261、262),其具有沿着孔(221、231)的内部空间(S)侧的开口而面向内部空间(S)的面,该面由具有与涂覆膜(24)相同或相似的特性的涂覆材料构成。



1. 一种原子室,其特征在于,该原子室具有:
壁部,其构成封入有金属原子的内部空间;
涂覆膜,其配置在所述壁部;
贯通孔,其连通所述内部空间与外部,贯通所述壁部;
涂覆部件,在从所述内部空间侧俯视时,该涂覆部件在所述贯通孔的开口内包含具有与
所述涂覆膜相同或相似的特性的材料;
密封部件,其在所述贯通孔内相对于所述涂覆部件配置在外部侧而密封所述内部空间;
以及
缓冲部件,其配置在所述密封部件与所述涂覆部件之间。
2. 根据权利要求1所述的原子室,其中,
所述涂覆部件的至少一部分配置在所述贯通孔内。
3. 根据权利要求1所述的原子室,其中,
所述密封部件包含玻璃。
4. 根据权利要求1所述的原子室,其中,
所述缓冲部件的熔点低于所述密封部件的熔点。
5. 根据权利要求1所述的原子室,其中,
所述涂覆膜包含氟类树脂、硅氧烷类化合物或链式饱和烃中的至少任意一种。
6. 根据权利要求1所述的原子室,其中,
所述涂覆部件包含氟类树脂、硅氧烷类化合物或链式饱和烃中的至少任意一种。
7. 一种原子室的制造方法,其特征在于,该原子室的制造方法包含如下工序:
准备这样的结构体,其中,该结构体具有内部空间以及连通所述内部空间与外部的贯通孔,在内部空间中配置有金属原子,并且,在所述内部空间的壁部上配置有涂覆膜;
在所述贯通孔内配置涂覆部件、密封部件以及缓冲部件,其中,所述密封部件相对于所述涂覆部件配置在外部侧而密封所述内部空间,所述缓冲部件配置在所述密封部件与所述涂覆部件之间;以及
在使所述涂覆部件面向所述内部空间的状态下,使所述密封部件熔化而密封所述贯通孔。
8. 一种量子干涉装置,其特征在于,其具有:
权利要求1所述的原子室;
光出射部,其射出激励所述金属原子的激励光;以及
光检测部,其检测透过所述原子室的所述激励光。
9. 根据权利要求8所述的量子干涉装置,其中,
所述原子室具有:所述激励光透过的1对窗部;和配置在所述1对窗部之间的主体部,
所述贯通孔的所述内部空间侧的开口配置在所述窗部。
10. 根据权利要求8所述的量子干涉装置
所述原子室具有:所述激励光透过的1对窗部;和配置在所述1对窗部之间的主体部,
所述贯通孔的所述内部空间侧的开口配置在所述主体部。
11. 一种原子振荡器,其特征在于,其具有权利要求1所述的原子室。
12. 一种电子设备,其特征在于,其具有权利要求1所述的原子室。

13. 一种移动体,其特征在于,其具有权利要求1所述的原子室。

原子室及制造方法、量子干涉装置、振荡器、设备和移动体

技术领域

[0001] 本发明涉及原子室及其制造方法、量子干涉装置、原子振荡器、电子设备和移动体。

背景技术

[0002] 作为长期具有高精度的振荡特性的振荡器，公知有基于铷、铯等碱金属的原子的能量跃迁而进行振荡的原子振荡器。

[0003] 通常，原子振荡器的工作原理大致分为利用基于光与微波的双重共振现象的方式和利用基于波长不同的两种光的量子干涉效应(CPT:Coherent Population Trapping(相干布居俘获))的方式，任意一种原子振荡器均具有封入碱金属的气室(原子室)(例如参照专利文献1)。

[0004] 作为这样的原子室，公知有如专利文献1所公开那样利用玻璃将贯通内外的孔密封而成的原子室。此外，在专利文献1的原子室中，在内壁面上施加涂覆，该涂覆防止碱金属相对于构成内壁面的玻璃的反应或扩散。

[0005] 但是，在专利文献1的原子室中，在密封用的孔的内侧开口中未施加涂覆，因此，碱金属的动作变得不稳定，其结果是，存在频率稳定度劣化的问题。此处，密封用的孔由于在将碱金属导入到内部空间时等使用，因此，必须确保一定程度的大小。另一方面，近年来，伴随原子振荡器的小型化的需求，需要小型的原子室，密封用的孔的开口的面积相对于原子室的内壁面的面积的比例变大，因而，该问题变得显著。

[0006] 专利文献1：美国专利申请公开第2005/0184815号说明书

发明内容

[0007] 本发明的目的在于，提供能够使金属原子的动作稳定化、提高频率稳定度的原子室、原子室的制造方法、量子干涉装置以及原子振荡器，此外，提供具有该量子干涉装置的可靠性优异的电子设备以及移动体。

[0008] 本发明是为了解决上述的问题的至少一部分而完成的，其能够作为以下方式或者应用例来实现。

[0009] [应用例1]

[0010] 本发明的原子室的特征在于，该原子室具有：壁部，其构成封入有金属原子的内部空间；涂覆膜，其配置在所述壁部；贯通孔，其连通所述内部空间与外部，贯通所述壁部；以及涂覆部件，在从所述内部空间侧俯视时，该涂覆部件在所述贯通孔的开口内包含具有与所述涂覆膜相同或相似的特性的材料。

[0011] 根据这样的原子室，在贯通孔的内部空间侧的开口附近也设置有由具有与涂覆膜相同或相似的特性的涂覆材料构成的面，因此使金属原子的动作稳定化，其结果是，能够提高频率稳定度。

[0012] [应用例2]

[0013] 在本发明的原子室中,优选的是,所述涂覆部件的至少一部分配置在所述贯通孔内。

[0014] 由此,能够比较简单地在贯通孔的内部空间侧的开口附近配置由具有与涂覆膜相同或相似的特性的材料构成的面。

[0015] [应用例3]

[0016] 在本发明的原子室中,优选的是,该原子室具有密封部件,该密封部件在所述贯通孔内相对于所述涂覆部件配置在外部侧而密封所述内部空间。

[0017] 由此,能够在贯通孔的内部空间侧的开口附近设置由具有与涂覆膜相同或相似的特性的材料构成的面,并密封贯通孔。

[0018] [应用例4]

[0019] 在本发明的原子室中,优选的是,所述密封部件包含玻璃。

[0020] 由此,能够以相对较低的温度使密封部件熔化而密封贯通孔。因此,能够防止或降低涂覆部件的涂覆材料因密封时的热而熔化,能够简单且可靠地在贯通孔的内部空间侧的开口附近设置由具有与涂覆膜相同或相似的特性的材料构成的面。

[0021] [应用例5]

[0022] 在本发明的原子室中,优选的是,该原子室具有配置在所述密封部件与所述涂覆部件之间的缓冲部件。

[0023] 由此,在密封时,能够防止或降低密封部件的热传递到涂覆部件。因此,能够防止或降低涂覆部件的涂覆材料因密封时的热而熔化,能够简单且可靠地在贯通孔的内部空间侧的开口附近设置由具有与涂覆膜相同或相似的特性的材料构成的面。

[0024] [应用例6]

[0025] 在本发明的原子室中,优选的是,所述缓冲部件的熔点低于所述密封部件的熔点。

[0026] 由此,能够使缓冲部件也熔化而密封贯通孔,提高气密性。此外,使缓冲部件的熔点低于密封部件的熔点,由此,即便缓冲部件熔化,也能够防止或降低涂覆部件的涂覆材料因此时的热而熔化。

[0027] [应用例7]

[0028] 在本发明的原子室中,优选的是,所述涂覆膜包含氟类树脂、硅氧烷类化合物或链式饱和烃中的至少任意一种。

[0029] 由此,能够有效地降低金属原子与涂覆膜撞击时的动作的变化,并使化学稳定性优异。此外,能够使涂覆材料的沸点高于金属原子的沸点。

[0030] [应用例8]

[0031] 在本发明的原子室中,优选的是,所述涂覆部件包含氟类树脂、硅氧烷类化合物或链式饱和烃中的至少任意一种。

[0032] 由此,能够有效地降低金属原子与同一涂覆部件撞击时的动作的变化,并使化学稳定性优异。此外,能够使涂覆材料的沸点高于金属原子的沸点。

[0033] [应用例9]

[0034] 本发明的原子室的制造方法的特征在于该原子室的制造方法包含如下工序:准备这样的结构体,其中,该结构体具有内部空间以及连通所述内部空间与外部的贯通孔,在内部空间中配置有金属原子,并且,在所述内部空间的壁部上配置有涂覆膜;在所述贯通孔内

配置涂覆部件以及密封部件；以及在使所述涂覆部件面向所述内部空间的状态下，使所述密封部件熔化而密封所述贯通孔。

[0035] 根据这样的原子室的制造方法能够得到如下原子室：使封入有金属原子的内部空间气密密封，并且，在贯通孔的内部空间侧的开口附近设置由具有与涂覆膜相同或相似的特性的涂覆材料构成的面。

[0036] [应用例10]

[0037] 本发明的量子干涉装置的特征在于具有：本发明的原子室；光出射部，其射出激励所述金属原子的激励光；以及光检测部，其检测透过所述原子室的所述激励光。

[0038] 由此，能够提供具有优异的频率稳定度的量子干涉装置。

[0039] [应用例11]

[0040] 在本发明的量子干涉装置中，优选的是，所述原子室具有：所述激励光透过的1对窗部；和配置在所述1对窗部之间的主体部，所述贯通孔的所述内部空间侧的开口配置在所述窗部。

[0041] 由此，贯通孔的密封部件的密封以及对贯通孔的涂覆部件的配置变得容易。

[0042] [应用例12]

[0043] 在本发明的量子干涉装置中，优选的是，所述原子室具有：所述激励光透过的1对窗部；和配置在所述1对窗部之间的主体部，所述贯通孔的所述内部空间侧的开口配置在所述主体部。

[0044] 由此，在从内部空间中的激励光的透过方向观察时，能够将贯通孔配置在与内部空间不重合的位置。因此，能够扩大内部空间内的激励光的透过区域。

[0045] [应用例13]

[0046] 本发明的原子振荡器的特征在于具有本发明的原子室。

[0047] 由此，能够提供具有优异的频率稳定度的原子振荡器。

[0048] [应用例14]

[0049] 本发明的电子设备的特征在于具有本发明的原子室。

[0050] 由此，能够提供具有优异的可靠性的电子设备。

[0051] [应用例15]

[0052] 本发明的移动体的特征在于具有本发明的原子室。

[0053] 由此，能够提供具有优异的可靠性的移动体。

附图说明

[0054] 图1是示出本发明第1实施方式的原子振荡器(量子干涉装置)的概略图。

[0055] 图2是用于说明图1所示的原子振荡器的气室内的碱金属的能量状态的图。

[0056] 图3是针对图1所示的原子振荡器的光射出部以及光检测部示出来自光射出部的两种光的频率差与光检测部的检测强度之间的关系的曲线图。

[0057] 图4是图1所示的原子振荡器具有的气室的立体图。

[0058] 图5是图4所示的气室的剖视图。

[0059] 图6是用于在图5所示的气室的制造中送入金属原子以及涂覆材料的装置的示意图。

- [0060] 图7是用于说明图5所示的气室的制造方法(涂覆材料送入步骤)的图。
- [0061] 图8是用于说明图5所示的气室的制造方法(金属原子送入步骤)的图。
- [0062] 图9是用于说明图8的(b)所示的密封工序的图。
- [0063] 图10是示出本发明第2实施方式的气室的剖视图。
- [0064] 图11是用于在图10所示的气室的制造中送入金属原子以及涂覆材料的装置的示意图。
- [0065] 图12是用于说明图10所示的气室的制造方法(涂覆材料送入步骤)的图。
- [0066] 图13是用于说明图10所示的气室的制造方法(金属原子送入步骤)的图。
- [0067] 图14是示出本发明第3实施方式的气室的剖视图。
- [0068] 图15是示出本发明第4实施方式的气室的俯视图。
- [0069] 图16是示出本发明第5实施方式的气室的俯视图。
- [0070] 图17是图16中的A-A线剖视图。
- [0071] 图18是示出是在利用了GPS卫星的定位系统中使用本发明的原子振荡器的情况下的概略结构的图。
- [0072] 图19是示出本发明的移动体的一例的图。
- [0073] 标号说明
- [0074] 1原子振荡器;2气室;2A气室;2B气室;2C气室;2D气室;3光出射部;5光检测部;6加热器;7温度传感器;8磁场产生部;10控制部;11温度控制部;12激励光控制部;13磁场控制部;20结构体;20A结构体;21主体部;21C主体部;21D主体部;22窗部;22A窗部;23窗部;23C窗部;23D窗部;24涂覆膜;24A涂覆膜;24D涂覆膜;26金属膜;26A金属膜;27缓冲部件;41光学部件;42光学部件;43光学部件;44光学部件;100定位系统;200GPS卫星;201基板;202基板;202A基板;203基板;211贯通孔;211C贯通孔;212槽;221孔;231孔;231C孔;231D孔;251密封部件;252密封部件;252X密封部件;261涂覆部件;261a基材;261b涂覆层;262涂覆部件;262a基材;262b涂覆层;263涂覆部件;263a基材;263b涂覆层;300基站装置;301天线;302接收装置;303天线;304发送装置;400GPS接收装置;401天线;402卫星接收部;403天线;404基站接收部;600装置;600A装置;601台;602冷却部;603腔室;604加热器;605金属提供部;605a容器;605b加热器;606涂覆材料提供部;606a容器;606b加热器;607缓冲气体提供部;608配管;609泵;610阀;611阀;612阀;613加热器;614泵;1500移动体;1501车体;1502车轮;LL激励光;S内部空间。

具体实施方式

[0075] 以下,根据附图所示的实施方式,对本发明的原子室、原子室的制造方法、量子干涉装置、原子振荡器、电子设备以及移动体进行详细说明。

[0076] 1. 原子振荡器

[0077] 首先,对本发明的原子振荡器(具有本发明的量子干涉装置的原子振荡器)进行说明。此外,以下对将本发明的量子干涉装置应用于原子振荡器的例子进行说明,但是本发明的量子干涉装置不限于此,除了原子振荡器以外,例如也可以应用于磁传感器、量子存储器等。

[0078] <第1实施方式>

[0079] 图1是示出本发明第1实施方式的原子振荡器(量子干涉装置)的概略图。此外,图2是用于说明图1所示的原子振荡器的气室内的碱金属的能量状态的图,图3是针对图1所示的原子振荡器的光射出部以及光检测部示出来自光射出部的两种光的频率差与光检测部的检测强度之间的关系的关系的曲线图。此外,图4是图1所示的原子振荡器具有的气室的立体图,图5是图4所示的气室的剖视图。

[0080] 图1所示的原子振荡器1是利用量子干涉效应的原子振荡器。与利用双重共振效应的原子振荡器相比,利用这样的量子干涉效应的原子振荡器1能够实现小型化。

[0081] 如图1所示,该原子振荡器1具有气室2(原子室)、光射出部3、光学部件41、42、43、44、光检测部5、加热器6、温度传感器7、磁场产生部8和控制部10。

[0082] 首先,简单说明原子振荡器1的原理。

[0083] 在原子振荡器1中,在气室2内,封入有气体状的铷、铯、钠等碱金属(金属原子)。

[0084] 如图2所示,碱金属具有三能级系统的能级,可得到能级不同的两个基态(基态1、2)和激发态这3个状态。此处,基态1是比基态2低的能量状态。

[0085] 在对这样的气体状的碱金属照射频率不同的两种共振光1、2时,共振光1、2在碱金属中的光吸收率(光透过率)随着共振光1的频率 ω_1 与共振光2的频率 ω_2 之差($\omega_1 - \omega_2$)而变化。

[0086] 并且,在共振光1的频率 ω_1 与共振光2的频率 ω_2 之差($\omega_1 - \omega_2$)和相当于基态1与基态2之间的能量差的频率一致时,分别停止从基态1、2激励成激发态。此时,共振光1、2均不被碱金属吸收而透过。这样的现象称作CPT现象或者电磁诱导透明现象(EIT: Electromagnetically Induced Transparency)。

[0087] 光射出部3向气室2射出上述那样的频率不同的两种光(共振光1和共振光2)。

[0088] 此处,例如,如果固定共振光1的频率 ω_1 而使共振光2的频率 ω_2 变化,则在共振光1的频率 ω_1 与共振光2的频率 ω_2 之差($\omega_1 - \omega_2$)与相当于基态1与基态2之间的能量差的频率 ω_0 一致时,光检测部5的检测强度如图3所示那样陡峭地上升。这样的陡峭的信号称作EIT信号。该EIT信号具有由碱金属的种类决定的固有值。因此,通过使用这样的EIT信号作为基准,能够实现高精度的振荡器。

[0089] 以下,对原子振荡器1的各部依次进行详细说明。

[0090] [气室]

[0091] 在气室2内,封入有气体状的铷、铯、钠等碱金属(金属原子)。此外,还可以根据需要将氩、氖等稀有气体、氮等惰性气体作为缓冲气体与碱金属气体一起封入气室2内。

[0092] 如图4和图5所示,气室2具有主体部21和夹着主体部21设置的1对窗部22、23。主体部21和窗部22、23作为壁部发挥功能。

[0093] 在主体部21中形成有圆柱状的贯通孔211。此外,贯通孔211的横截面形状不限于圆形,例如可以是四边形、五边形等多边形、椭圆形等。

[0094] 构成这样的主体部21的材料没有特别限定,可以使用玻璃材料、石英、金属材料、树脂材料、硅材料等,但优选使用玻璃材料、石英、硅材料中的任意一种,更优选使用硅材料。由此,即使在形成宽度或高度为10mm以下的较小气室2的情况下,也能够使用蚀刻等精细加工技术来容易地形成高精度的主体部21。此外,在利用玻璃材料构成窗部22、23的情况下,由硅材料构成的主体部21可以利用阳极接合法简单地与窗部22、23气密接合。

[0095] 这样的主体部21的一个端面与窗部22接合,另一方面,主体部21的另一个端面与窗部23接合。

[0096] 主体部21与窗部22、23的接合方法根据它们的结构材料而决定,只要能够气密地接合,则没有特别限定,例如,可以使用基于粘结剂的接合方法、直接接合法、阳极接合法等。

[0097] 此处,贯通孔211的一端开口被窗部22封闭,另一方面,贯通孔211的另一端开口被窗部23封闭。由此,形成封入碱金属的内部空间S。此外,虽然没有图示,但封入内部空间S内的碱金属的一部分以气体状存在,其它部分作为剩余部分以液体状或固体状存在。该内部空间S内收纳的气体状的碱金属被激励光LL激励。

[0098] 窗部22、23分别呈板状,其板面被设置为与激励光LL的轴垂直。而且,各窗部22、23具有对于来自上述光出射部3的激励光的透过性。此处,一个窗部22是激励光LL朝气室2的内部空间S内入射的入射侧窗部,另一个窗部23是激励光LL从气室2的内部空间S内射出的出射侧窗部。

[0099] 此外,该内部空间S的内壁面被实施涂覆。即,在内部空间S的内壁面上,形成有涂覆膜24。

[0100] 该涂覆膜24具有抑制或降低气体状的碱金属与内部空间S的内壁面撞击时的动作(例如自旋(spin))的变化的功能。由此,即使使气室2小型化,也能够抑制碱金属与气室2的内壁面撞击导致的动作的变化给特性带来不良影响,使原子振荡器1的振荡特性优异。

[0101] 该涂覆膜24的结构材料优选包含氟类树脂、硅氧烷类化合物或链式饱和烃。由此,能够有效地降低碱金属与涂覆膜24撞击时的动作的变化,使化学稳定性优异。此外,能够使涂覆材料的沸点高于金属原子的沸点。

[0102] 此外,关于用于形成涂覆膜24的涂覆材料、即涂覆膜24的结构材料或其前驱体,将在后述的气室2的制造方法的说明中更具体地进行说明。

[0103] 尤其是,在窗部22中,形成有使内部空间S与外部连通的孔221(贯通孔),该孔221被密封部件251密封。同样地,在窗部23中,形成有使内部空间S与外部连通的孔231(贯通孔),该孔231被密封部件252密封。此外,在孔221内,在相对于密封部件251靠内部空间S侧,配置有涂覆部件261。同样地,在孔231内,在相对于密封部件252靠内部空间S侧,配置有涂覆部件262。

[0104] 如后面详细记述的那样,该孔221、231用于在制造气室2时,在进行主体部21与窗部22、23的接合之后且密封部件251、252的密封之前,向内部空间S送入碱金属以及涂覆材料。由此,能够容易地对气室2的内壁面进行涂覆。尤其是,能够在气室2的内壁面均匀地形成涂覆。因此,能够适当发挥上述那样的涂覆膜24的功能。

[0105] 此外,孔221、231在窗部22、23的厚度方向上贯通。由此,在制造后述的气室2时,在对1个结构体20进行单片化来得到多个气室2的情况下,在单片化之前,能够容易地通过孔231向内部空间S送入碱金属和涂覆材料以及将孔221、231密封(参照图7、图8)。

[0106] 此外,孔221、231的横截面形状分别呈圆形(参照图4)。此外,孔221、231的横截面形状不限于圆形,例如也可以是三角形、四边形、五边形等多边形、椭圆形等。

[0107] 此外,孔221、231呈宽度随着朝向内部空间S侧而变窄的形状。即,在本实施方式中,孔221、231分别呈圆锥梯形。这样,孔221、231的宽度随着朝向内部空间S侧而变窄,由

此,能够使密封部件或涂覆部件261、262停留在通过密封部件251、252进行密封之前的孔221、231内来进行配置,此外,在密封部件251、252的密封之后,即使不使涂覆部件261、262与密封部件251、252接合而固定,也能够防止涂覆部件261、262向内部空间S侧脱落。

[0108] 此外,孔221、231的最小宽度优选为50 μm 以上且1000 μm 以下,更优选为70 μm 以上且500 μm 以下。由此,能够实现气室2的小型化,而且,在后述的制造工序中,能够容易地通过孔221、231将碱金属或涂覆材料导入到内部空间S中。

[0109] 构成这样的窗部22、23的材料只要具有上述那样的对于激励光的透过性,则没有特别限定,例如可举出玻璃材料、石英等,但优选使用玻璃材料。由此,在利用硅材料来构成主体部21的情况下,能够简单地利用阳极接合使主体部21与窗部22、23气密接合。此外,根据窗部22、23的厚度或激励光的强度的不同,也可以用硅来构成窗部22、23。在该情况下,可以利用玻璃材料构成主体部21,对主体部21与窗部22、23进行阳极接合,也可以利用硅材料构成主体部21,使主体部21与窗部22、23直接接合。此外,为了提高与密封部件251、252的贴合性或密封时的渗透性等,可以根据需要,在孔221、231的内壁面形成例如镍、铬、金等的金属化层。

[0110] 涂覆部件261具有沿着孔221的内部空间S侧的开口而面向内部空间S的面,该面由具有与涂覆膜24相同或相似的特性的涂覆材料(以下简称作“涂覆材料”)构成。同样地,涂覆部件262具有沿着孔231的内部空间S侧的开口而面向内部空间S的面,该面由具有与涂覆膜24相同或相似的特性的涂覆材料构成。即,在从内部空间S侧俯视时,涂覆部件261、262分别在孔221、231的开口内包含具有与涂覆膜24相同或相似的特性的材料。

[0111] 通过设置这样的涂覆部件261、262,在孔221、231的内部空间S侧的开口附近也设置有由具有与涂覆膜24相同或相似的特性的涂覆材料构成的面,因此,能够使内部空间S内的碱金属的动作稳定化,其结果是,能够提高频率稳定度。

[0112] 此处,涂覆部件261、262配置在孔221、231内,因此,能够比较简单地在孔221、231的内部空间S侧的开口附近配置由具有与涂覆膜相同或相似的特性的材料构成的面。

[0113] 此外,在本实施方式中,孔221、231的内部空间S侧的开口形成在窗部22、23。由此,容易进行密封部件251、252对孔221、231的密封以及涂覆部件261、262在孔221、231中的配置。

[0114] 具体而言,在本实施方式中,涂覆部件261具有基材261a和设置在基材261a的表面的涂覆层261b。同样地,涂覆部件262具有基材262a和设置在基材262a的表面的涂覆层262b。

[0115] 基材261a、262a呈球状。由此,涂覆部件261、262也整体呈球状,能够高效将涂覆部件261、262配置为贴合于上述那样的呈圆形的横截面形状的孔221、231的内壁面。此外,基材261a、262a或涂覆部件261、262的形状根据孔221、231的形状或内部空间S的内壁面的形状等而决定,不限于球状,例如,在本实施方式的情况下,可以是圆柱状、圆锥梯形状等。即,如上述那样,从高效地将涂覆部件261、262配置在孔221、231内的观点来看,优选的是,在孔221、231的横截面处观察时,基材261a、262a呈与孔221、231的横截面形状一致或相似的形状。此外,基材261a、262a优选呈如下形状:涂覆部件261、262的从孔221、231面向内部空间S内的面与涂覆膜24的面尽可能地共面。

[0116] 此外,由于涂覆部件261、262的表面分别为球面,因此,与孔221、231的内部空间S

侧的开口端部之间略微形成间隙,但本发明人确认到,只要该间隙为50 μ m以下,则对碱金属的动作没有影响。因此,该间隙优选为50 μ m以下。

[0117] 此外,以使得涂覆部件261、262的直径(宽度)大于孔221、231的内部空间S侧的开口直径的方式设定基材261a、262a的直径(宽度)。由此,能够使涂覆部件261、262停留在通过密封部件251、252进行密封之前的孔221、231内来进行配置,此外,在密封部件251、252的密封之后,即使不使涂覆部件261、262与密封部件251、252接合而固定,也能够防止涂覆部件261、262向内部空间S侧脱落。

[0118] 此外,基材261a、262a的结构材料各自没有特别限定,可以使用金属材料、陶瓷材料、硅材料、玻璃材料、树脂材料等,此外,可以与涂覆层261b、262b的结构材料相同(即涂覆部件261、262整体可以由涂覆材料构成),但优选与涂覆层261b、262b的结构材料不同。由此,通过适当选择基材261a、262a的结构材料,能够对涂覆部件261、262赋予与涂覆材料不同的特性。

[0119] 例如,基材261a、262a的结构材料优选使用具有比密封部件251、252高的熔点的材料。由此,能够防止或减少涂覆部件261、262因密封部件251、252的密封时的热而发生变形。

[0120] 此外,基材261a、262a的结构材料优选使用热传导率较低的材料,具体而言,优选使用陶瓷材料、硅材料、玻璃材料、树脂材料等非金属材料,尤其是,从能够使熔点高于上述的密封部件251、252的观点来看,更优选使用陶瓷材料、硅材料、玻璃材料。由此,基材261a、262a作为隔热部件发挥功能,因此,能够防止或减少因密封部件251、252的密封时的热而使涂覆层261b、262b的内部空间S侧的部分熔化。

[0121] 构成设置在这样的基材261a、262a上的涂覆层261b、262b的涂覆材料可以使用与后面详细记述的涂覆膜24的结构材料相同的材料,优选为氟类树脂、硅氧烷类化合物或链式饱和烃。通过包含这些材料中的至少一种,能够有效地降低碱原子与涂覆部件261、262撞击时的动作的变化,此外,化学稳定性优异。此外,能够使涂覆材料的沸点高于金属原子的沸点。

[0122] 此外,涂覆层261b、262b的厚度没有特别限定,但优选与涂覆膜24的厚度为同等程度,具体而言,为涂覆膜24的厚度的0.8倍以上且1.2倍以下,以使得涂覆层261b、262b对碱金属的作用与涂覆膜24对碱金属的作用为同等程度。

[0123] 密封部件251、252在孔221、231内,相对于涂覆部件261、262而配置在与内部空间S相反的一侧(外部侧),从而密封孔221、231(密封内部空间S)。由此,能够在孔221、231的内部空间S侧的开口附近设置由具有与涂覆膜24相同或相似的特性的材料(涂覆材料)构成的面,从而密封孔221、231。

[0124] 此外,密封部件251、252的结构材料没有特别限定,例如,可以使用银钎焊、Au/Sn合金、Au/Ge合金等金属、钒类(V-P-O)的低熔点玻璃、铋类(Bi-B-O)的低熔点玻璃、铅类(Pb-B-O)的低熔点玻璃等玻璃等,其中,优选使用玻璃(尤其是低熔点玻璃)。通过使密封部件251、252构成为包含这样的玻璃,能够使密封部件251、252在较低的温度下熔化来密封孔221、231。因此,能够防止或减少涂覆部件261、262的涂覆材料因密封时的热而熔化,能够简单且可靠地在孔221、231的内部空间S侧的开口附近设置由具有与涂覆膜24相同或相似的特性的材料构成的面。

[0125] 根据以上说明的气室2,不仅在内部空间S的内壁面形成有涂覆膜24,而且在孔

221、231的内部空间S侧的开口附近也设置有由具有与涂覆膜24相同或相似的特性的涂覆材料构成的面(涂覆层261b、262b),因此,能够使内部空间S内的碱金属的动作稳定化,其结果是,能够提高频率稳定度。

[0126] 这样的气室2通过加热器6例如被调温到70℃左右。

[0127] [光源]

[0128] 光射出部3(光源)具有射出激励气室2中的碱金属的激励光LL的功能。

[0129] 更具体而言,光射出部3射出上述那样的频率不同的两种光(共振光1和共振光2)作为激励光LL。

[0130] 共振光1能够将气室2内的碱金属从上述基态1激励到激发态。另一方面,共振光2能够将气室2内的碱金属从上述基态2激励到激发态。

[0131] 该光射出部3只要能够射出上述那样的激励光,则没有特别限定,例如,可以使用垂直共振器面发光激光器(VCSEL)等半导体激光器等。

[0132] 这样的光射出部3与后述的控制部10的激励光控制部12连接,根据光检测部5的检测结果而受到驱动控制(参照图1)。

[0133] 此外,通过未图示的温度调节元件(发热电阻体、帕尔贴(Peltier)元件等),这样的光射出部3的温度被调节到规定温度。

[0134] [光学部件]

[0135] 多个光学部件41、42、43、44分别设置在上述光射出部3与气室2之间的激励光LL的光路上。

[0136] 此处,从光射出部3侧到气室2侧,依次配置有光学部件41、光学部件42、光学部件43、光学部件44。

[0137] 光学部件41是透镜。由此,能够无损耗地向气室2照射激励光LL。

[0138] 此外,光学部件41具有使激励光LL成为平行光的功能。由此,能够简单且可靠地防止激励光LL在气室2的内壁发生反射。因此,适当地产生气室2内的激励光的共振,其结果是,能够提高原子振荡器1的振荡特性。

[0139] 光学部件42是偏振光板。由此,能够将来自光射出部3的激励光LL的偏振光调整为规定方向。

[0140] 光学部件43是减光滤光器(ND滤光器)。由此,能够调整(减少)入射到气室2的激励光LL的强度。因此,即使在光射出部3的输出较大的情况下,也能够使入射到气室2的激励光成为期望的光量。在本实施方式中,利用光学部件43来调整通过了上述光学部件42的具有规定方向的偏振光的激励光LL的强度。

[0141] 光学部件44是 $\lambda/4$ 波长板。由此,能够将来自光射出部3的激励光LL从线偏振光转换为圆偏振光(右圆偏振光或者左圆偏振光)。

[0142] 如后所述,在气室2内的碱金属原子因磁场产生部8的磁场而发生塞曼分裂的状态下,如果向碱金属原子照射线偏振光的激励光,则由于激励光与碱金属原子的相互作用,碱金属原子均匀地分散存在于塞曼分裂后的多个能级。其结果是,由于期望的能级的碱金属原子的数量相对于其它能级的碱金属原子的数量相对地变少,因此显现期望的EIT现象的原子数减少,期望的EIT信号的强度降低,结果导致原子振荡器1的振荡特性的下降。

[0143] 与此相对,如后所述,在气室2内的碱金属原子因磁场产生部8的磁场而发生塞曼

分裂的状态下,如果向碱金属原子照射圆偏振光的激励光,则由于激励光与碱金属原子的相互作用,能够使碱金属原子进行塞曼分裂后的多个能级中的期望的能级的碱金属原子的数量相对于其它能级的碱金属原子的数量相对地变多。因此,显现期望的EIT现象的原子数增加,期望的EIT信号的强度增大,其结果是,能够提高原子振荡器1的振荡特性。

[0144] [光检测部]

[0145] 光检测部5具有检测透过气室2内的激励光LL(共振光1、2)的强度的功能。

[0146] 该光检测部5只要能够检测出上述那样的激励光,则没有特别限定,例如,可以使用太阳能电池、光电二极管等光检测器(受光元件)。

[0147] 这样的光检测部5与后述的控制部10的激励光控制部12连接(参照图1)。

[0148] [加热器]

[0149] 加热器6(加热部)具有对上述气室2(更具体地是气室2中的碱金属)进行加热的功能。由此,能够使气室2中的碱金属维持适当的浓度的气体状。

[0150] 该加热器6利用通电(直流)而发热,例如由未图示的、设置在气室2的外表面上的两个发热电阻体构成。

[0151] 此处,一个发热电阻体设置在气室2的窗部22(入射侧窗部),另一个发热电阻体设置在气室2的窗部23(出射侧窗部)。通过在各窗部22、23分别配置发热电阻体,能够防止碱金属原子在气室2的窗部22、23发生结露。其结果是,能够长期使原子振荡器1的特性(振荡特性)保持优异。

[0152] 这样的发热电阻体由具有对于激励光的透过性的材料构成,具体而言,例如,由ITO(Indium Tin Oxide:铟锡氧化物)、IZO(Indium Zinc Oxide:铟锌氧化物)、 In_3O_3 、 SnO_2 、含Sb的 SnO_2 、含Al的 ZnO 等氧化物等透明电极材料构成。

[0153] 此外,发热电阻体例如可以使用等离子体CVD、热CVD那样的化学蒸镀法(CVD)、真空蒸镀等干式镀膜法、溶胶凝胶法等来形成。

[0154] 此外,加热器6只要能够对气室2进行加热,则不限于上述方式,可以使用各种加热器。此外,加热器6可以与气室2不接触。此外,也可以使用帕尔贴元件替代加热器6或者与加热器6并用,来对气室2进行加热。

[0155] 这样的加热器6与后述的控制部10的温度控制部11电连接而被通电(参照图1)。

[0156] [温度传感器]

[0157] 温度传感器7检测加热器6或者气室2的温度。进而,根据该温度传感器7的检测结果,控制上述加热器6的发热量。由此,能够使气室2内的碱金属原子维持期望的温度。

[0158] 此外,温度传感器7的设置位置没有特别限定,例如可以在加热器6上,也可以在气室2的外表面上。

[0159] 温度传感器7没有特别限定,可以使用热敏电阻、热电偶等公知的各种温度传感器。

[0160] 这样的温度传感器7经由未图示的布线,与后述的控制部10的温度控制部11电连接(参照图1)。

[0161] [磁场产生部]

[0162] 磁场产生部8具有产生磁场的功能,该磁场使气室2内的碱金属的简并后的多个能级发生塞曼分裂。由此,通过塞曼分裂,能够扩大碱金属的简并的不同能级之间的能隙,提

高分辨率。其结果是,能够提高原子振荡器1的振荡频率的精度。

[0163] 该磁场产生部8例如由以夹着气室2的方式配置的亥姆霍兹线圈(Helmholtz coil)或者以覆盖气室2的方式配置的电磁线圈构成。由此,能够在气室2内产生一个方向的均匀磁场。

[0164] 此外,磁场产生部8产生的磁场是恒定磁场(直流磁场),但是也可以叠加交变磁场。

[0165] 这样的磁场产生部8与后述的控制部10的磁场控制部13电连接而被通电控制(参照图1)。

[0166] [控制部]

[0167] 图1所示的控制部10具有分别控制光射出部3、加热器6以及磁场产生部8的功能。

[0168] 该控制部10具有:激励光控制部12,其控制光射出部3的共振光1、2的频率;温度控制部11,其控制气室2中的碱金属的温度;以及磁场控制部13,其控制来自磁场产生部8的磁场。

[0169] 激励光控制部12根据上述光检测部5的检测结果,控制从光射出部3射出的共振光1、2的频率。更具体而言,激励光控制部12控制从光射出部3射出的共振光1、2的频率,使得由上述光检测部5检测出的 $(\omega_1 - \omega_2)$ 成为上述碱金属的固有频率 ω_0 。此外,激励光控制部12控制从光射出部3射出的共振光1、2的中心频率。

[0170] 此外,虽然未图示,但激励光控制部12具有压控型石英振荡器(振荡电路),其根据光检测部5的检测结果,对该压控型石英振荡器的振荡频率进行同步/调整,作为原子振荡器1的输出信号进行输出。

[0171] 此外,温度控制部11根据温度传感器7的检测结果,控制对加热器6的通电。由此,能够使气室2维持在期望的温度范围内。

[0172] 此外,磁场控制部13控制对磁场产生部8的通电,使得磁场产生部8产生的磁场恒定。

[0173] 这样的控制部10例如被设置在安装于基板上的IC芯片中。

[0174] 根据如上所述构成的原子振荡器1,在气室2的内壁面形成有均匀的涂覆膜24,因此,即使使气室2小型化,也能够抑制碱金属与气室2的内壁面撞击导致的动作的变化给特性(振荡特性)带来不良影响。因此,能够使原子振荡器1具有优异的频率稳定度、小型化且具有优异的可靠性。

[0175] 这样的原子振荡器1具有的气室2能够通过以下说明的制造方法来制造。

[0176] (第1实施方式的原子室的制造方法)

[0177] 以下,作为本发明的原子室的制造方法的一例,对气室2的制造方法进行说明。

[0178] 图6是在图5所示的气室的制造中,用于送入金属原子以及涂覆材料的装置的示意图。此外,图7是用于说明图5所示的气室的制造方法(涂覆材料送入步骤)的图,图8是用于说明图5所示的气室的制造方法(金属原子送入步骤)的图,图9是用于说明图8的(b)所示的密封工序的图。

[0179] 气室2的制造方法具有:[1A]准备工序,准备具有内部空间S以及孔221、231的结构体20;[1B]送入工序,通过孔231,向内部空间S送入碱金属以及涂覆材料;以及[1C]密封工序,利用密封部件252将孔231密封。

[0180] 此处,在送入工序[1B]中,使用图6所示的装置600,通过孔231向内部空间S送入碱金属以及涂覆材料。此外,关于装置600,将在后面与送入工序[1B]的说明一并详细记述。

[0181] 以下,依次说明各工序[1A]、[1B]以及[1C]。

[0182] [1A]

[0183] 首先,如图7的(a)所示,准备具有多组内部空间S以及孔221、231的结构体20。

[0184] 该结构体20由具有贯通孔211的基板201、具有孔221的基板202和具有孔231的基板203构成。

[0185] 基板201通过在后述的单片化工序中进行单片化而成为主体部21。

[0186] 基板202与基板201的一个面接合,通过在后述的单片化工序中进行单片化而成为窗部22。

[0187] 基板203与基板201的另一个面接合,通过在后述的单片化工序中进行单片化而成为窗部23。

[0188] 此处,基板201由与上述主体部21相同的结构材料构成,基板202、203由与上述窗部22、23相同的结构材料构成。此外,基板201与基板202、203通过和主体部21与窗部22、23的接合相同的接合方法进行接合。

[0189] 在对基板201和基板202、203进行加热而进行接合的情况下,即,在准备工序[1A]包含使用加热接合法来制造结构体20的步骤的情况下,在结构体20进行加热接合时,内部空间S整体置于高温中。因此,在加热接合之前,即使在作为内部空间S的壁面的部位实施涂覆,该涂覆也会因加热接合时的高温而熔化。尤其是,阳极接合法的接合时的温度极高。因此,在利用阳极接合法使基板201与基板202、203接合的情况下,如果在阳极接合之前进行涂覆,则不易选择涂覆材料。因此,在加热接合之后,在后述的送入工序[1B]中进行涂覆(形成涂覆膜24)。因此,涂覆膜24不会因加热接合的热而熔化。

[0190] 如上述这样来准备结构体20。此外,虽然没有图示,但在本工序[1A]中,根据需要,在基板202、203的与基板201相反的一侧的面上形成保护膜,该保护膜在后述的工序[1B]中防止碱金属或涂覆材料的附着。该保护膜例如由树脂膜构成,在工序[1B]或工序[1C]之后被去除。此外,在后述的工序[1B]中,在使送入碱金属或涂覆材料的管与孔231直接连接的情况下,不需要该保护膜。

[0191] [1B]

[0192] 接下来,通过孔231,向内部空间S送入碱金属以及涂覆材料。

[0193] 具体而言,送入工序[1B]包含:<1B-1>向内部空间S送入涂覆材料的涂覆材料送入步骤;以及<1B-2>向内部空间S送入碱金属的金属原子送入步骤。

[0194] 例如使用图6所示的装置600来进行这些工序<1B-1>以及<1B-2>、即向内部空间S送入金属原子以及涂覆材料。

[0195] 如图6所示,装置600具有:台601、设置在台601上的冷却部602、收纳台601以及冷却部602的腔室603、与腔室603连接的金属提供部605、涂覆材料提供部606、缓冲气体提供部607以及泵609。

[0196] 结构体20载置在台601上。此处,结构体20以基板202侧的面与台601接触的方式载置在台601上。

[0197] 此外,台601被冷却部602冷却。由此,能够使载置在台601上的结构体20冷却。

[0198] 这样的冷却部602只要能够冷却台601以及结构体20,则没有特别限定,例如,可以由帕尔贴元件、流过冷却介质的冷却管等构成。

[0199] 此外,在台601上,形成有朝载置结构体20的面开口的孔(未图示)。该孔与载置在台601上的结构体20的孔221对应地设置,与泵614(例如,旋转泵、扩散泵等真空泵)连接。由此,能够使内部空间S内的气体经由孔221排出,使内部空间S内成为负压状态。此外,可以使用该泵614形成的负压将结构体20吸附于台601。

[0200] 在按每一结构体20来收纳这样的台601的腔室603中,设置有加热器604。由此,能够使腔室603内的气氛温度高于结构体20的温度。因此,能够使腔室603内的温度成为碱金属或涂覆材料的沸点以上的温度,使流入到腔室603内的气体状的碱金属或涂覆材料在气体状的状态下送入到内部空间S中。

[0201] 此外,腔室603经由配管608与金属提供部605、涂覆材料提供部606、缓冲气体提供部607以及泵609连接。

[0202] 金属提供部605具有向腔室603提供气体状的碱金属的功能。该金属提供部605具有收纳碱金属的容器605a和对容器605a进行加热的加热器605b。进而,金属提供部605利用来自加热器605b的热,使容器605a内的金属进行气化。

[0203] 这样的金属提供部605经由阀610与配管608连接。

[0204] 涂覆材料提供部606具有向腔室603内提供气体状的涂覆材料的功能。该涂覆材料提供部606具有收纳涂覆材料的容器606a和对容器606a进行加热的加热器606b。进而,涂覆材料提供部606利用来自加热器606b的热,使容器606a内的金属进行气化。

[0205] 这样的涂覆材料提供部606经由阀611与配管608连接。

[0206] 缓冲气体提供部607具有向腔室603内提供缓冲气体的功能。该缓冲气体提供部607例如是填充有缓冲气体的储气瓶。

[0207] 这样的缓冲气体提供部607经由阀612与配管608连接。

[0208] 泵609具有使腔室603内减压的功能。该泵609例如为旋转泵、扩散泵等真空泵,与配管608连接。

[0209] 此外,在配管608上设置有加热器613。由此,能够对配管608进行加热,防止流过配管608内的碱金属或涂覆材料液化或固化。

[0210] 使用如上述那样构成的装置600,以如下方式进行涂覆材料送入步骤<1B-1>以及金属原子送入步骤<1B-2>。

[0211] <1B-1>

[0212] 首先,将结构体20载置在台601上。进而,将阀610、612设为关闭状态,同时将阀611设为打开状态,使泵614工作。

[0213] 由此,如图7的(b)所示,将气体状的涂覆材料(涂覆材料气体)经由孔231送入到内部空间S中。在本实施方式中,从孔221吸引涂覆材料,经由孔231向内部空间S送入涂覆材料,因此,能够向内部空间S内提供期望量的涂覆材料,使不需要的剩余涂覆材料从孔231排出。

[0214] 此时,内部空间S的壁面被冷却部602冷却,其温度优选低于涂覆材料的沸点(更优选低于熔点)。

[0215] 这样,在使内部空间S的壁面的温度低于涂覆材料的沸点(更优选低于熔点)的状

态下,将气体状的涂覆材料送入内部空间S中,由此,气体状的涂覆材料在内部空间S的壁面凝结或凝固,成为涂覆膜24。由此,能够高效地对内部空间S的壁面进行涂覆。

[0216] 此处,涂覆材料的熔点优选高于在后述的工序<1B-2>中送入内部空间S中的碱金属的沸点。由此,在后述的金属原子送入步骤<1B-2>中,能够防止涂覆材料或涂覆膜熔化。

[0217] 此外,涂覆材料只要能够形成具有上述那样的功能的涂覆膜24,则没有特别限定,但优选为氟类树脂、硅氧烷类化合物以及链式饱和烃中的任意一种化合物或其前驱体。

[0218] 通过这样的化合物得到的涂覆膜24能够有效地降低碱金属撞击时的动作的变化,使化学稳定性优异。此外,能够使涂覆材料的沸点高于金属原子的沸点。

[0219] 用作涂覆材料的氟类树脂例如可采用聚四氟乙烯(PTFE)、聚三氟氯乙烯(PCTFE)、聚偏氟乙烯(PVDF)、聚氟乙烯(PVF)、全氟烷氧基树脂(PFA)、四氟化乙烯丙烯共聚物(FEP)、乙烯-四氟乙烯共聚物(ETFE)、乙烯-三氟氯乙烯共聚物(ECTFE)等。

[0220] 此外,作为涂覆材料使用硅氧烷类化合物例如可采用甲基三甲氧基硅烷、二甲基二甲氧基硅烷、苯基三甲氧基硅烷、甲基三乙氧基硅烷、二甲基二乙氧基硅烷、苯基三乙氧基硅烷、己基三甲氧基硅烷、己基三乙氧基硅烷、癸基三甲氧基硅烷、三氟丙基三甲氧基硅烷等烷氧基硅烷、六甲基二硅氮烷等硅氮烷、含可水解基团的硅氧烷等的硅氧烷等。

[0221] 此外,用作涂覆材料的链式饱和烃例如可以是石蜡(碳素原子的数量为20以上的烷烃)等。

[0222] 此外,在涂覆材料是涂覆膜24的结构材料的前驱体的情况下,根据需要,通过加热等,使凝结或凝固的涂覆材料与内部空间S的壁面发生反应。

[0223] 通过以上说明的工序<1B-1>,向内部空间S送入涂覆材料,在内部空间S的壁面形成涂覆膜24。

[0224] 在本实施方式中,如图7的(c)所示,在工序<1B-1>之后且工序<1B-2>之前,将涂覆部件261配置在孔221内,利用密封部件251将孔221密封。此处,密封部件251例如以如下方式来形成:将球状的密封部件配置在孔221中,利用激光、离子束等能量束使该密封部件熔化。此外,密封部件251对孔221的密封方法与后面详细记述的密封部件252对孔231的密封方法相同。

[0225] 此外,利用密封部件251来密封孔221的工序可以在后述的工序<1B-2>之后。在该情况下,可以在后述的工序<1B-2>中,与工序<1B-1>同样地,从孔221吸引碱金属,并经由孔231向内部空间S送入碱金属。

[0226] <1B-2>

[0227] 接下来,将阀610、611、612设为关闭状态,使泵609工作。由此,使腔室603内以及内部空间S减压。

[0228] 然后,使泵609停止,使阀611、612保持关闭状态,将阀610设为打开状态。

[0229] 由此,如图8的(a)所示,将气体状的碱金属(碱金属气体)经由孔231送入内部空间S中。

[0230] 这样的碱金属向内部空间S的送入是在涂覆膜24不会熔化的条件(温度以及压力)下进行的。

[0231] 尤其是,碱金属向内部空间S的送入优选在比涂覆材料向上述内部空间S的送入低的温度条件下进行。即,金属原子送入步骤<1B-2>优选在比涂覆材料送入步骤<1B-1>低的

温度条件下进行。更具体而言,例如,将腔室603内的气氛温度设为比涂覆材料的熔点低的温度。由此,能够防止涂覆膜24熔化。此外,能够防止涂覆膜24中混入金属原子。

[0232] 从这样的观点来看,如上所述,送入到内部空间S中的碱金属的沸点优选低于涂覆膜24的熔点。

[0233] 此外,此时,内部空间S的壁面被冷却部602冷却,但其温度优选低于送入内部空间S中的碱金属的沸点(更优选低于熔点)。

[0234] 这样,在将内部空间S的壁面的温度设为低于碱金属的沸点(更优选低于熔点)的状态下,将气体状的碱金属送入到内部空间S中,由此,气体状的碱金属在涂覆膜24上凝结或凝固而成为金属膜26。

[0235] 通过以上说明的工序<1B-2>,向内部空间S送入碱金属,形成金属膜26。

[0236] 根据以上说明的送入工序[1B],在向内部空间S送入涂覆材料之后送入碱金属,因此,能够防止碱金属阻碍涂覆。因此,能够形成均匀的涂覆膜24。

[0237] 在这样的工序<1B-2>之后且工序[1C]之前,根据需要,向内部空间S送入缓冲气体。

[0238] 更具体而言,将阀610、611、612设为关闭状态,使泵609工作。由此,使腔室603内以及内部空间S减压。

[0239] 然后,使泵609停止,使阀610、611保持关闭状态,将阀612设为打开状态。

[0240] 由此,将缓冲气体经由孔231送入到内部空间S中。此时,内部空间S内的碱金属作为液体状或固体状的金属膜26而存在,因此,能够在保持送入内部空间S中的碱金属的量的状态下,向内部空间S送入缓冲气体。

[0241] 这样,送入工序[1B]包括在金属原子送入步骤<1B-2>之后向内部空间S送入缓冲气体的步骤,由此,能够防止对涂覆带来不良影响,能够将缓冲气体与碱金属一并封入内部空间S中。

[0242] [1C]

[0243] 接下来,如图8的(b)所示,利用能量束使在孔231中配置涂覆部件262之后配置的密封部件252熔化,将孔231密封。由此,内部空间S成为在壁面形成有涂覆膜24且封入有碱金属的气密空间。

[0244] 更具体而言,在本工序[1C]中,如图9的(a)所示,准备通过上述工序[1B]得到的结构体,如图9的(b)所示那样,在孔231中配置涂覆部件262以及密封部件252X之后,如图9的(c)所示那样,利用密封部件252将孔231密封。

[0245] 此时,根据需要,在减压状态下进行密封。

[0246] 此外,作为在本工序[1C]中使用的能量束,例如可以使用激光、离子束等。

[0247] 此外,此时,在涂覆部件262的涂覆层262b的至少内部空间S侧的部分不熔化的条件下进行密封。

[0248] 在以上说明的密封工序[1C]之后,例如,使用切割锯等按每一内部空间S以及孔221、231的组合对结构体20进行单片化。由此,如图8的(c)所示,得到气室2。这样,在准备工序[1A]中,在结构体20中形成多组内部空间S以及孔221、231,在密封工序[1C]之后对结构体20进行单片化,由此,能够高效地制造多个气室2。

[0249] 此外,在图8的(c)所示的气室2中,封入内部空间S中的碱金属作为液体状或固体

状的金属膜26而存在,如上所述,在组装到原子振荡器1等中使用时,通过加热,使得金属膜26的一部分进行气化,并且,剩余部作为残留部分在液体状或固体状的状态下附着于内部空间S的壁面而存在。

[0250] 以上说明的气室2的制造方法包括如下工序:准备结构体,该结构体具有内部空间S以及使内部空间S与外部连通的孔231,在内部空间S中配置有碱金属,且在内部空间S的壁面形成有涂覆膜24;在孔231内配置涂覆部件262以及密封部件252X;以及在使涂覆部件262面向内部空间S的状态下,使密封部件252X熔化,将孔231密封。根据这样的制造方法,能够得到如下气室2:使封入有碱金属的内部空间S气密密封,并且,在孔231的内部空间S侧的开口附近设置有由具有与涂覆膜24相同或相似的特性的涂覆材料构成的面。

[0251] <第2实施方式>

[0252] 接下来,对本发明的第2实施方式进行说明。

[0253] 图10是示出本发明第2实施方式的气室的剖视图。

[0254] 本实施方式除了原子室的结构不同以外,与上述第1实施方式相同。

[0255] 在以下的说明中,关于第2实施方式,以与上述实施方式的不同点为中心进行说明,省略相同事项的说明。此外,在图10中,对于与上述实施方式相同的结构标注相同的标号。

[0256] 本实施方式的气室2A除了省略了第1实施方式的孔221以外,与第1实施方式的气室2相同。

[0257] 这样的气室2A替代第1实施方式的窗部22而具有窗部22A,窗部22A除了省略了孔221以外,其余与窗部22相同,主体部21的贯通孔211的两端开口被窗部22A、23封闭,由此形成内部空间S。在该内部空间S的壁面形成有涂覆膜24A。

[0258] 以上那样的结构的气室2A与第1实施方式的气室2相比,能够扩大激励光的透过区域。

[0259] 这样的气室2A的制造可以以如下方式进行。

[0260] (第2实施方式的原子室的制造方法)

[0261] 图11是在图10所示的气室的制造中,用于送入金属原子以及涂覆材料的装置的示意图。此外,图12是用于说明图10所示的气室的制造方法(涂覆材料送入步骤)的图,图13是用于说明图10所示的气室的制造方法(金属原子送入步骤)的图。

[0262] 气室2A的制造方法具有:[2A]准备工序,准备具有内部空间S以及孔231的结构体20A;[2B]送入工序,通过孔231,向内部空间S送入碱金属以及涂覆材料;以及[2C]密封工序,利用密封部件252将孔231密封。

[0263] 此处,在送入工序[2B]中,使用图11所示的装置600A,通过孔231向内部空间S送入碱金属以及涂覆材料。该装置600A除了省略了泵614以外,与上述第1实施方式的装置600相同。

[0264] 以下,依次说明各工序[2A]、[2B]以及[2C]。

[0265] [2A]

[0266] 首先,如图12的(a)所示,准备具有多个组的内部空间S以及孔231的结构体20A。

[0267] 该结构体20A由具有贯通孔211的基板201、平板状的基板202A和具有孔231的基板203构成。

[0268] 基板202A通过在后述的单片化工序中进行单片化而成为窗部22A。

[0269] [2B]

[0270] 接下来,通过孔231,向内部空间S送入碱金属以及涂覆材料。

[0271] 具体而言,送入工序[2B]包含:<2B-1>向内部空间S送入涂覆材料的涂覆材料送入步骤;以及<2B-2>向内部空间S送入碱金属的金属原子送入步骤。

[0272] 例如使用图11所示的装置600A来进行这些工序<2B-1>以及<2B-2>,即向内部空间S送入金属原子以及涂覆材料。

[0273] <2B-1>

[0274] 首先,将结构体20A载置在台601上。进而,将阀610、611、612设为关闭状态,使泵609工作。由此,使腔室603内以及内部空间S减压。

[0275] 然后,使泵609停止,使阀610、612保持关闭状态,将阀611设为打开状态。

[0276] 由此,如图12的(b)所示,将气体状的涂覆材料(涂覆剂气体)经由孔231送入内部空间S中。

[0277] 通过这样的工序<2B-1>,向内部空间S送入涂覆材料,在内部空间S的壁面形成涂覆膜24A。

[0278] <2B-2>

[0279] 接下来,与上述第1实施方式的工序<1B-2>同样地,如图13的(a)所示那样,将气体状的碱金属(碱金属气体)经由孔231送入内部空间S中。

[0280] 通过这样的工序<2B-2>,向内部空间S送入碱金属,形成金属膜26A。

[0281] 在这样的工序<2B-2>之后且工序[2C]之前,根据需要,与上述第1实施方式同样地,向内部空间S送入缓冲气体。

[0282] [2C]

[0283] 接下来,如图13的(b)所示,与上述第1实施方式的工序[1C]同样地,利用能量束使在孔231中配置涂覆部件262之后配置的密封部件252熔化,将孔231密封。

[0284] 然后,按每一内部空间S以及孔231的组对结构体20A进行单片化。由此,如图13的(c)所示,得到气室2A。

[0285] <第3实施方式>

[0286] 接下来,对本发明第3实施方式进行说明。

[0287] 图14是示出本发明第3实施方式的气室的剖视图。

[0288] 本实施方式除了原子室的结构不同以外,与上述第1实施方式相同。

[0289] 此外,本实施方式除了在密封部件与涂覆部件之间配置有缓冲部件以外,与上述第2实施方式相同。

[0290] 在以下的说明中,关于第3实施方式,以与上述实施方式的不同点为中心进行说明,省略相同事项的说明。此外,在图14中,对于与上述实施方式相同的结构标注相同的标号。

[0291] 本实施方式的气室2B具有配置在密封部件252与涂覆部件262之间的缓冲部件27。由此,在密封时,能够防止或降低密封部件252的热传递到涂覆部件262。因此,能够防止或降低涂覆部件262的涂覆材料因密封时的热而熔化,能够简单且可靠地在孔231的内部空间S侧的开口附近设置由具有与涂覆膜相同或相似的特性的材料构成的面(涂覆层262b)。此

外,缓冲部件27发挥限制密封部件252与涂覆部件262之间的距离的间隔物的功能。

[0292] 缓冲部件27的结构材料没有特别限定,但优选使用上述密封部件252的结构材料,特别优选使用熔点比密封部件252低的材料。由此,能够也使缓冲部件27熔化而将孔231密封,提高气密性。此外,通过使缓冲部件27的熔点低于密封部件252的熔点,即使缓冲部件27熔化,也能够防止或降低涂覆部件262的涂覆材料因此时的热而熔化。

[0293] 在本实施方式中,使密封部件252暂时熔化后进行固化,由此使孔231的内壁面与涂覆部件262以及密封部件252接合,但也可以不熔化而配置在孔231内。在该情况下,能够使缓冲部件27作为限制密封部件252与涂覆部件262之间的距离的间隔物发挥功能。此外,在该情况下,利用陶瓷材料或玻璃材料等隔热性较高的材料构成缓冲部件27,由此,能够有效地防止或降低在密封时密封部件252的热传递到涂覆部件262。

[0294] <第4实施方式>

[0295] 接下来,对本发明第4实施方式进行说明。

[0296] 图15是示出本发明第4实施方式的气室的俯视图。

[0297] 本实施方式除了原子室的结构不同以外,与上述第1实施方式相同。

[0298] 在以下的说明中,关于第4实施方式,以与上述实施方式的不同点为中心进行说明,省略相同事项的说明。此外,在图15中,对与上述实施方式相同的结构标注相同的标号。

[0299] 本实施方式的气室2C除了内部空间的形状不同且省略了1对窗部中的一个窗部的孔以外,与上述第1实施方式的气室2相同。

[0300] 该气室2C具有:具有贯通孔211C的主体部21C;以及封闭贯通孔211C的两端开口的1对窗部22A、23C。

[0301] 此处,贯通孔211C呈四角柱状。而且,在窗部23C中,在与贯通孔211C的角部对应的位置处设置有孔231C。由此,能够扩大内部空间S内的激励光LL的透过区域。

[0302] <第5实施方式>

[0303] 接下来,对本发明第5实施方式进行说明。

[0304] 图16是示出本发明第5实施方式的气室的俯视图,图17是图16中的A-A线剖视图。

[0305] 本实施方式除了原子室的结构不同以外,与上述第1实施方式相同。

[0306] 在以下的说明中,关于第5实施方式,以与上述实施方式的不同点为中心进行说明,省略相同事项的说明。此外,在图16和图17中,对与上述实施方式相同的结构标注相同的标号。

[0307] 本实施方式的气室2D具有形成有槽212的主体部21D和形成有孔231D的窗部23D来替代第2实施方式的主体部21以及窗部23。而且,主体部21D的贯通孔211的两端开口被窗部22A、23D封闭而形成内部空间S。在该内部空间S的壁面形成有涂覆膜24D。

[0308] 槽212形成在主体部21D的窗部23D侧的面上,使贯通孔211与孔231D连通。由此,在从窗部22A、23D重合的方向、即激励光的照射方向观察时,能够将孔231D配置在与内部空间S不重合的位置。因此,能够扩大内部空间S内的激励光的透过区域。

[0309] 此处,由槽212以及孔231D构成的贯通孔的内部空间S侧的开口形成在主体部21D中。由此,在从内部空间S的激励光的透过方向观察时,能够将该贯通孔配置在与内部空间S不重合的位置。因此,能够扩大内部空间S内的激励光的透过区域。

[0310] 在由这样的槽212以及孔231D构成的贯通孔内,相对于密封部件252,在内部空间S

侧配置有涂覆部件263。

[0311] 在本实施方式中,孔231D的横截面形状为四边形(参照图16)。而且,与其对应地,涂覆部件263呈长方体形状。由此,能够使涂覆部件263的面向内部空间S的部分成为沿着内部空间S的壁面的形状。

[0312] 此外,涂覆部件263跨越槽212与孔231D而进行配置。由此,能够限制涂覆部件263向内部空间S侧移动。

[0313] 这样的涂覆部件263与上述实施方式的涂覆部件261、262同样,构成具有基材263a和设置在基材263a的表面的涂覆层263b。

[0314] 2. 电子设备

[0315] 以上说明的原子振荡器能够组装到各种电子设备中。这样的电子设备具有优异的可靠性。

[0316] 以下,对本发明的电子设备进行说明。

[0317] 图18是示出在利用GPS卫星的定位系统中使用本发明的原子振荡器的情况下的概略结构的图。

[0318] 图18所示的定位系统100由GPS卫星200、基站装置300、GPS接收装置400构成。

[0319] GPS卫星200发送定位信息(GPS信号)。

[0320] 基站装置300具有:接收装置302,其例如经由设置在电子基准点(GPS连续观测站)的天线301,高精度地接收来自GPS卫星200的定位信息;以及发送装置304,其经由天线303发送由该接收装置302接收到的定位信息。

[0321] 此处,接收装置302是具有上述本发明的原子振荡器1来作为其基准频率振荡源的电子装置。这样的接收装置302具有优异的可靠性。此外,由接收装置302接收到的定位信息被发送装置304实时地发送。

[0322] GPS接收装置400具有:卫星接收部402,其经由天线401接收来自GPS卫星200的定位信息;以及基站接收部404,其经由天线403接收来自基站装置300的定位信息。

[0323] 3. 移动体

[0324] 图19是示出本发明的移动体的一例的图。

[0325] 在该图中,移动体1500具有车体1501和4个车轮1502,并构成通过设置在车体1501上的未图示的动力源(发动机)来使车轮1502旋转。在这样的移动体1500中内置有原子振荡器1。

[0326] 根据这样的移动体,能够发挥优异的可靠性。

[0327] 此外,具有本发明的原子振荡器的电子设备不限于上述设备,例如也可以应用于移动电话、数字照相机、喷射式喷出装置(例如喷墨打印机)、个人计算机(移动型个人计算机、膝上型个人计算机)、电视机、摄像机、录像机、汽车导航装置、寻呼器、电子记事本(包含带通信功能的)、电子词典、计算器、电子游戏设备、文字处理器、工作站、电视电话、防盗用电视监视器、电子望远镜、POS终端、医疗设备(例如电子体温计、血压计、血糖仪、心电图计测装置、超声波诊断装置、电子内窥镜)、鱼群探测器、各种测量设备、计量仪器类(例如,车辆、飞机、船舶的计量仪器类)、飞行模拟器、地面数字广播、移动电话基站等。

[0328] 以上,根据图示的实施方式,对本发明的原子室、原子室的制造方法、量子干涉装置、原子振荡器、电子设备以及移动体进行了说明,但本发明不限于这些。

[0329] 此外,本发明可以追加1个或2个以上任意目的的工序。此外,本发明能够将置换为发挥与上述实施方式的相同功能的任意结构,此外还可以附加任意结构。

[0330] 此外,本发明可以使上述各实施方式的任意结构彼此组合。

[0331] 此外,在上述实施方式中,以原子室的主体部以及1对窗部分别由分开的部件构成的情况为例进行了说明,但不限于此,例如可以使1对窗部中的一个窗部与主体部由同一部件形成。在该情况下,例如,形成朝硅基板或玻璃基板等基板的一个面开口的凹部,利用其它基板封闭该凹部,由此形成封入有碱金属的内部空间即可。

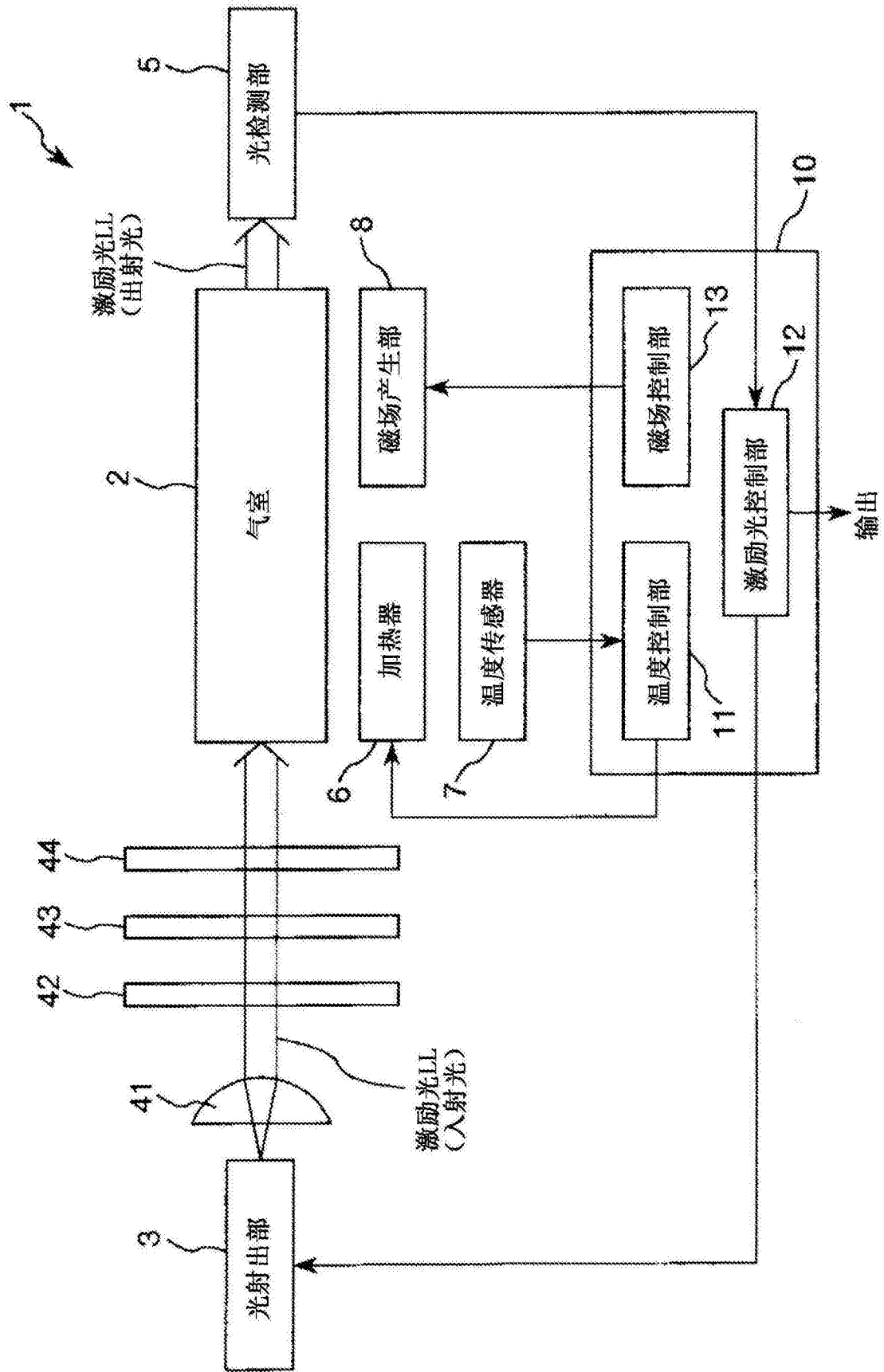


图1

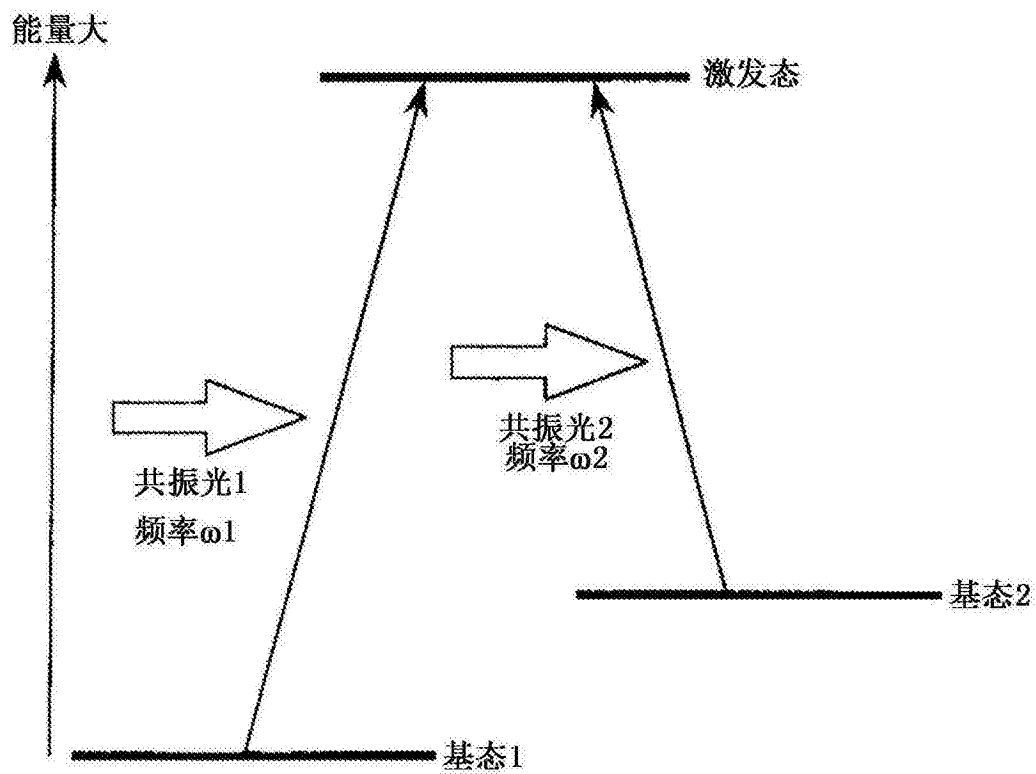


图2

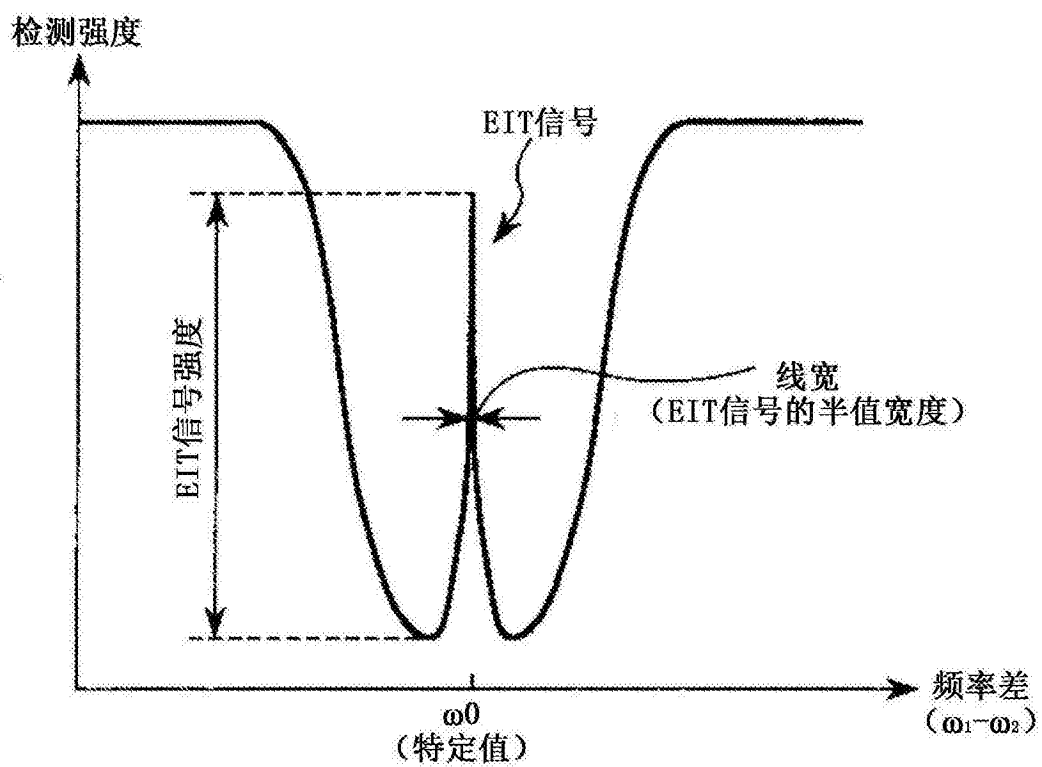


图3

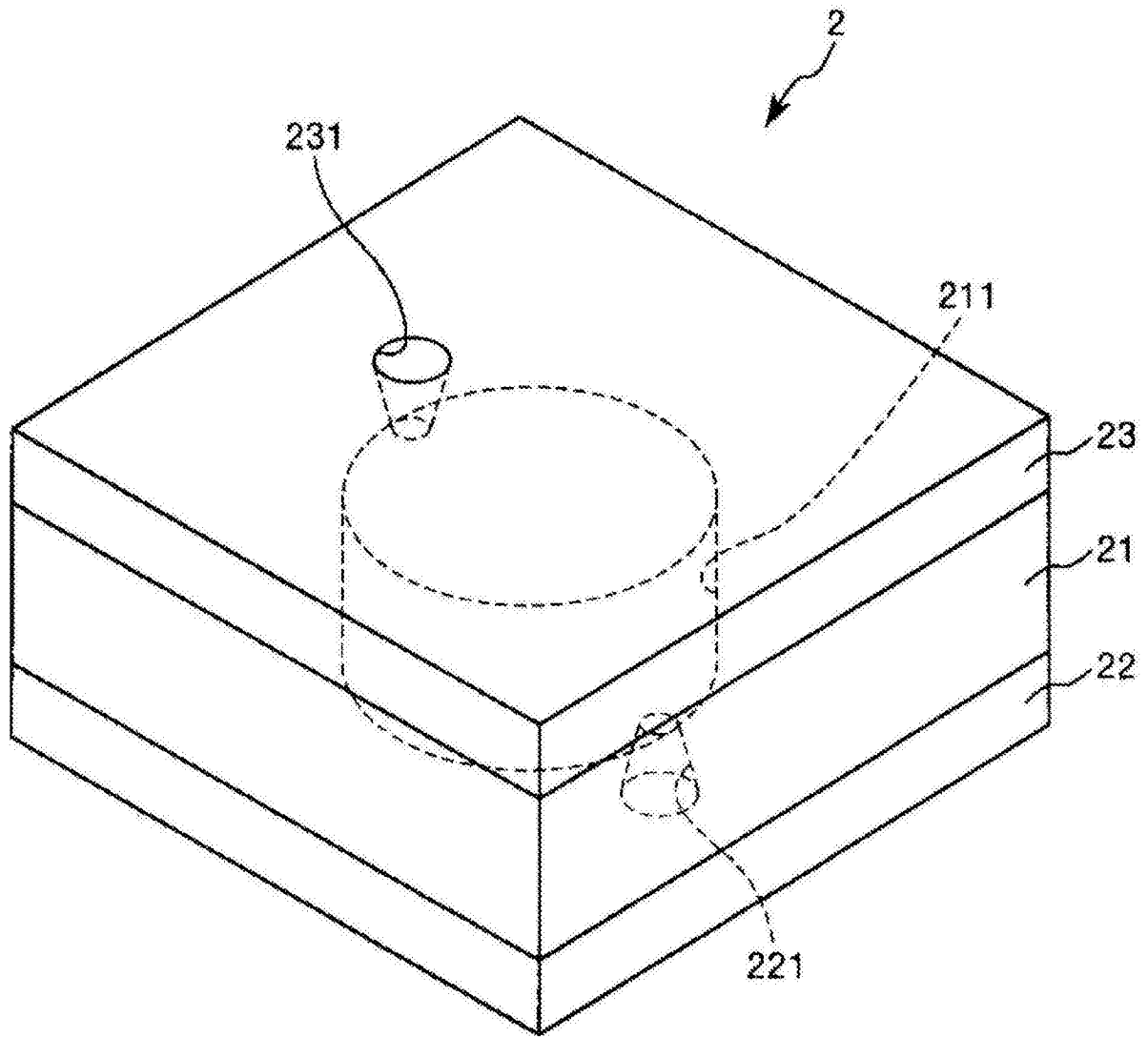


图4

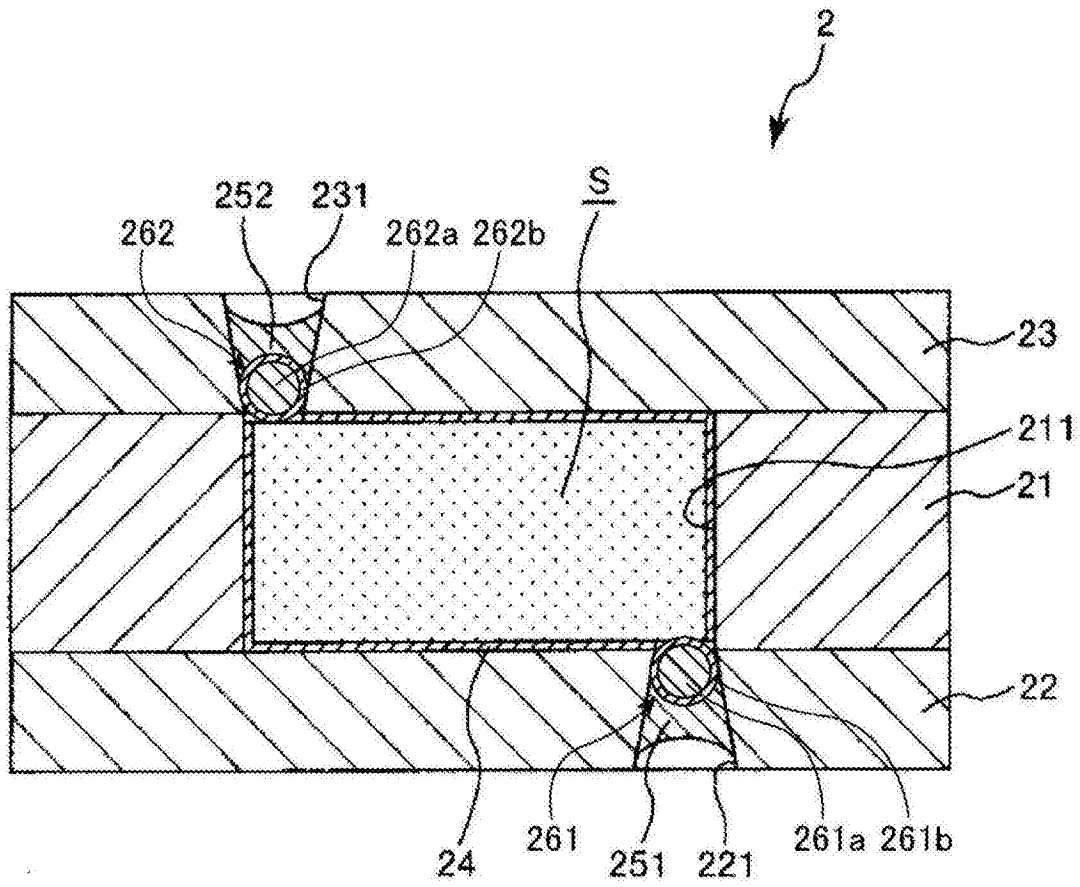


图5

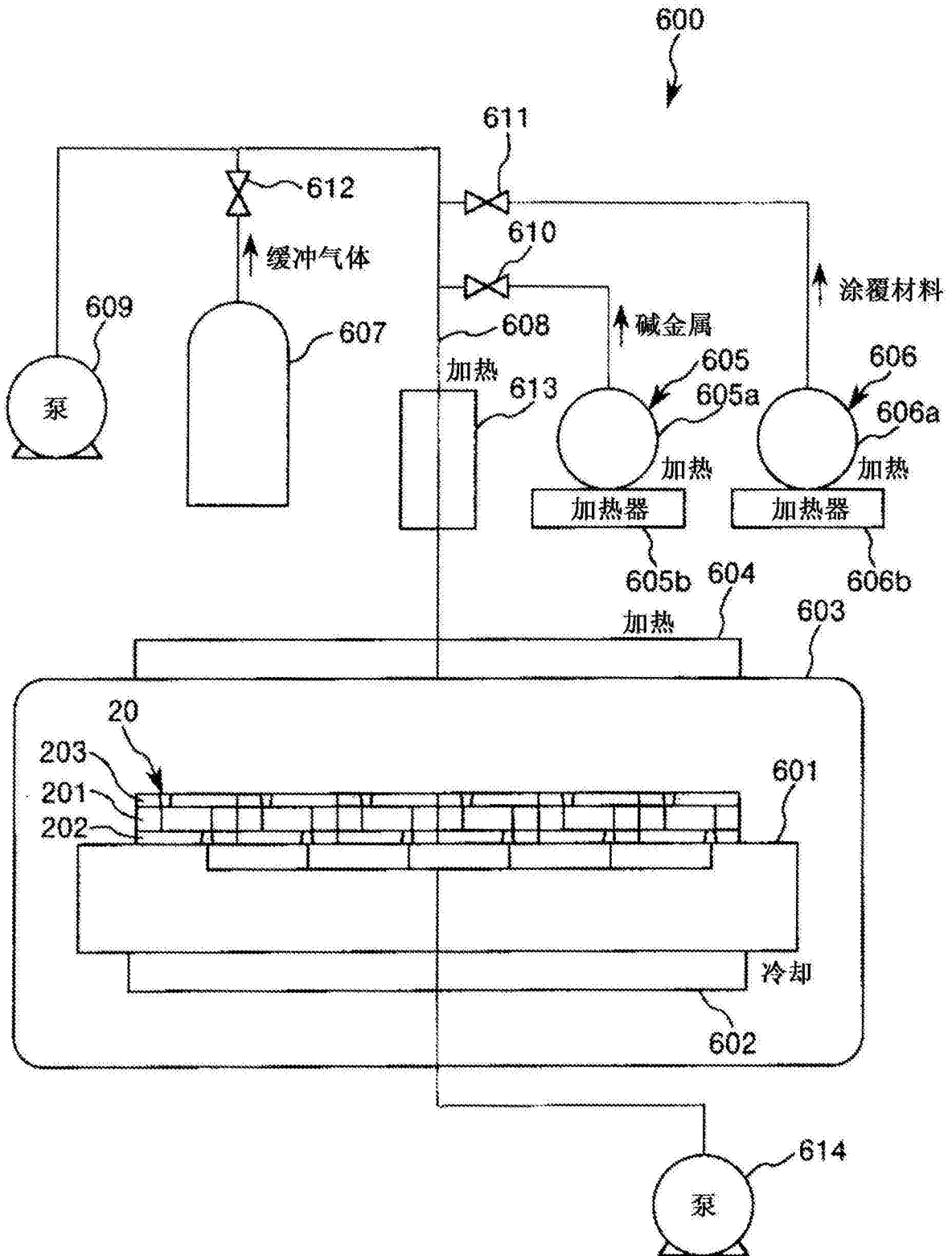


图6

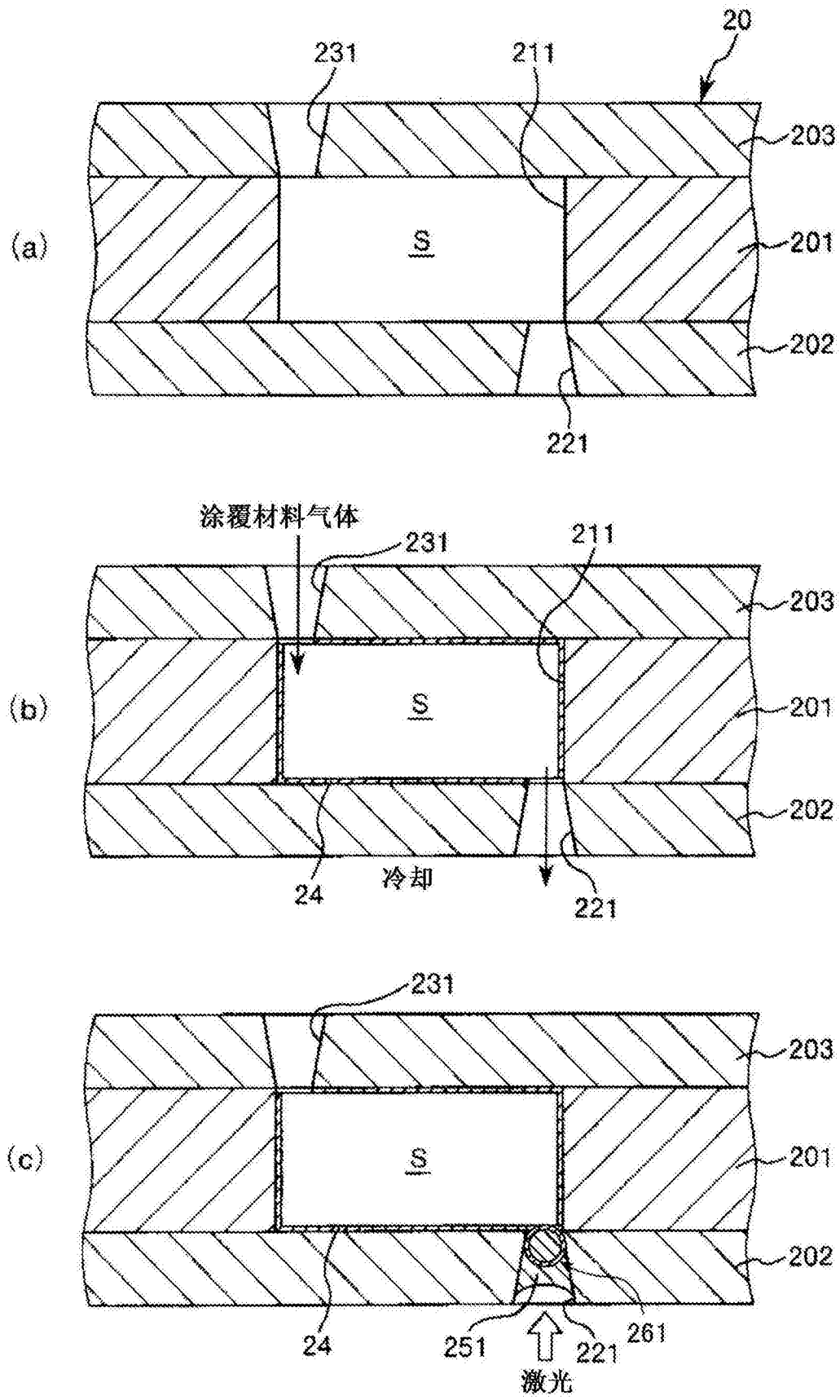


图7

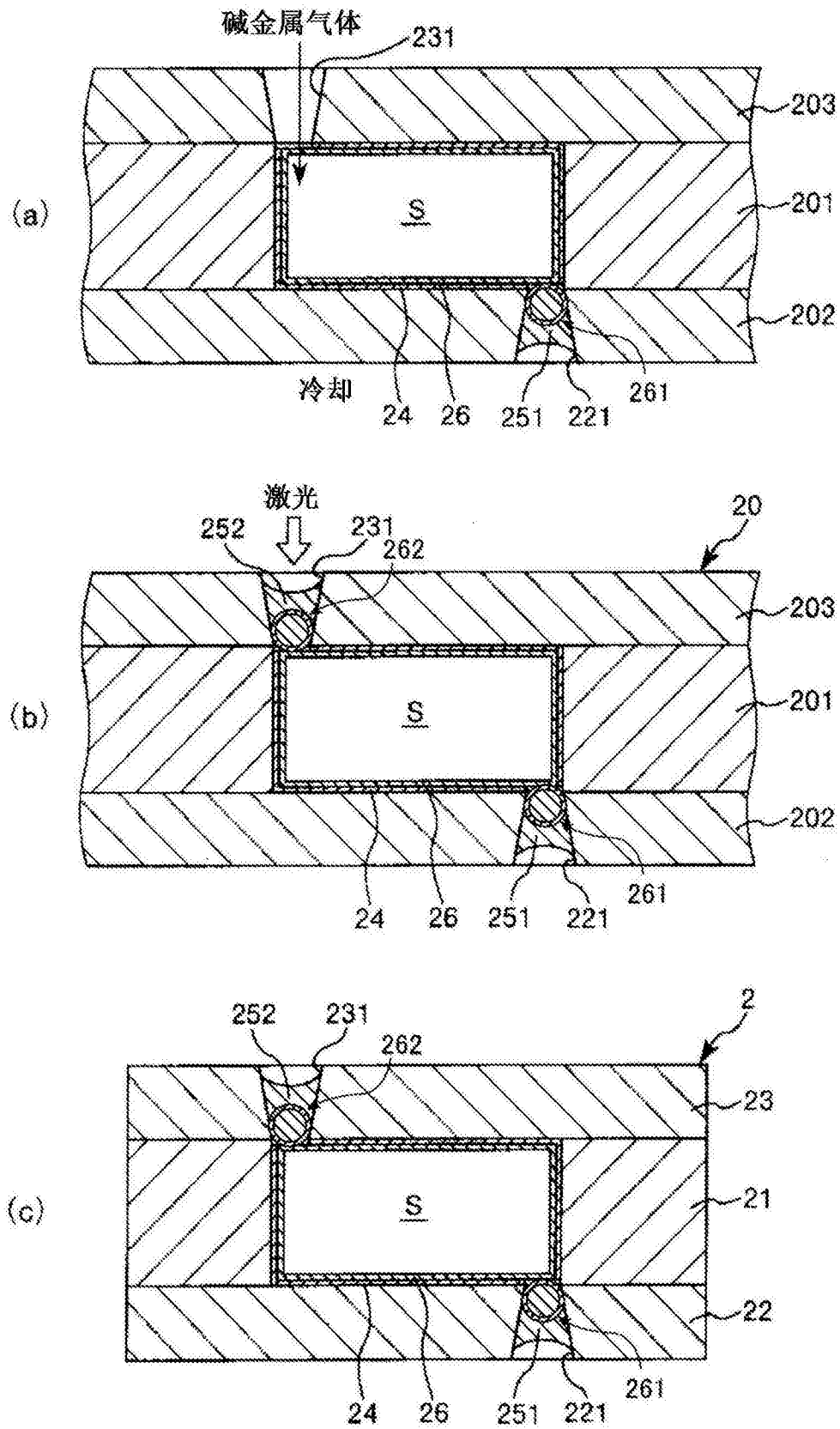


图8

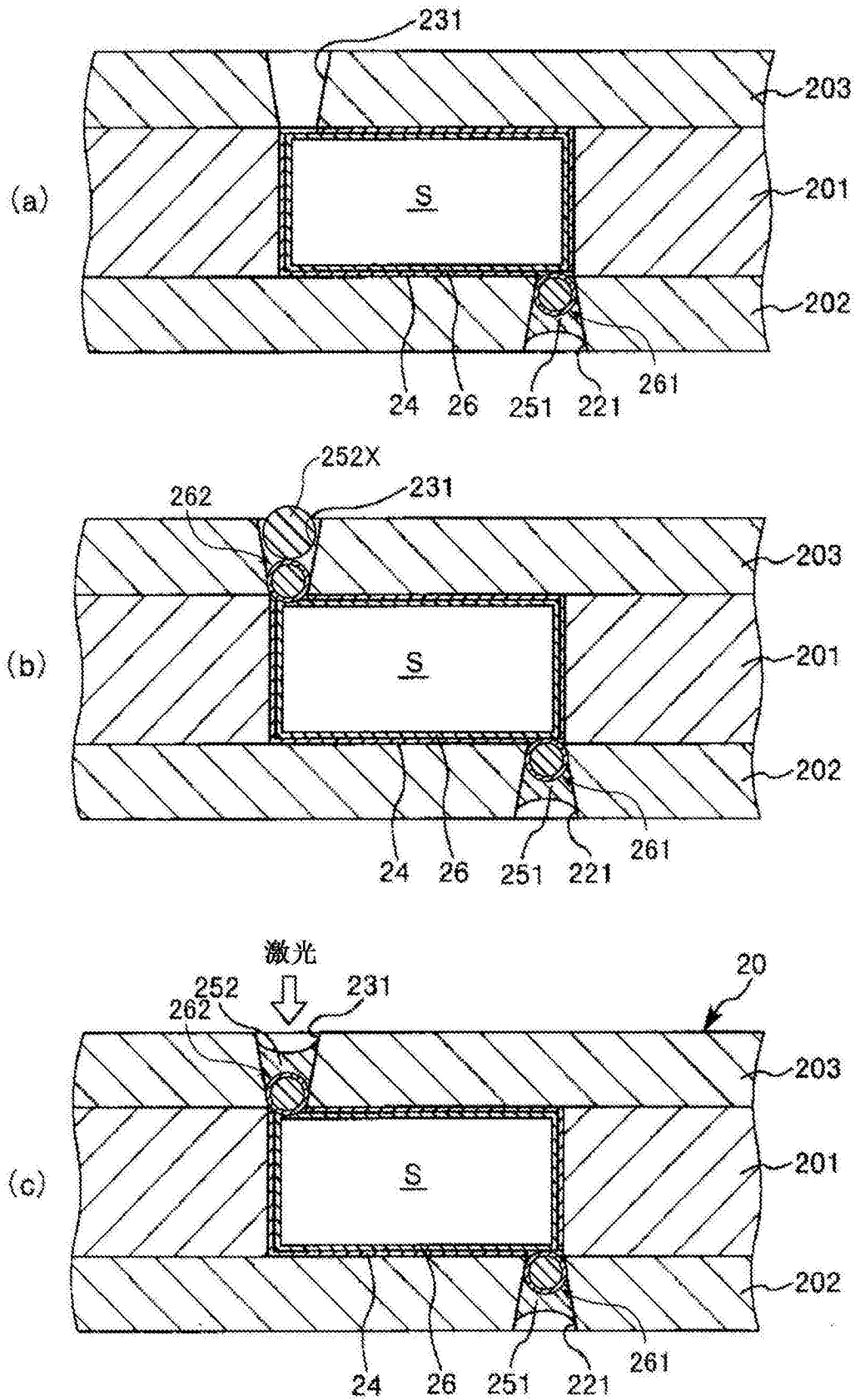


图9

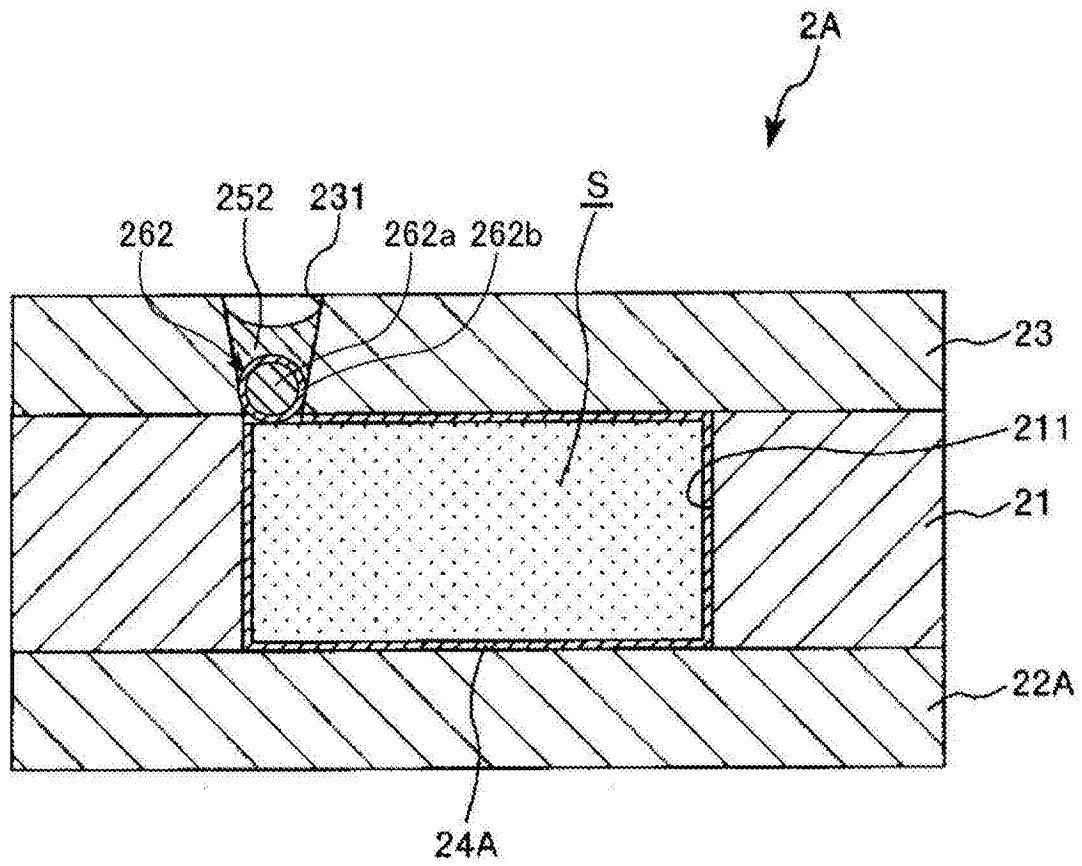


图10

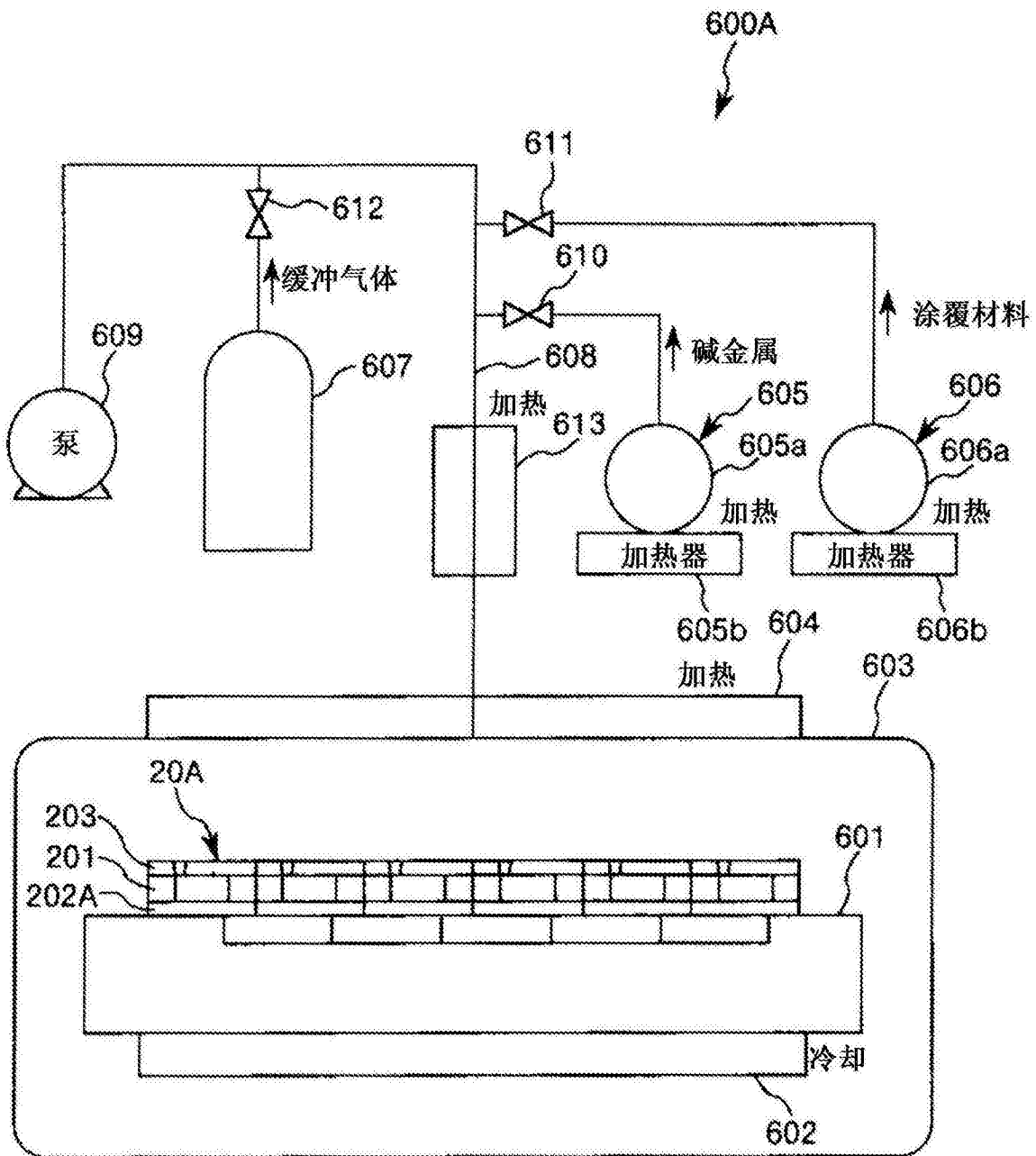


图11

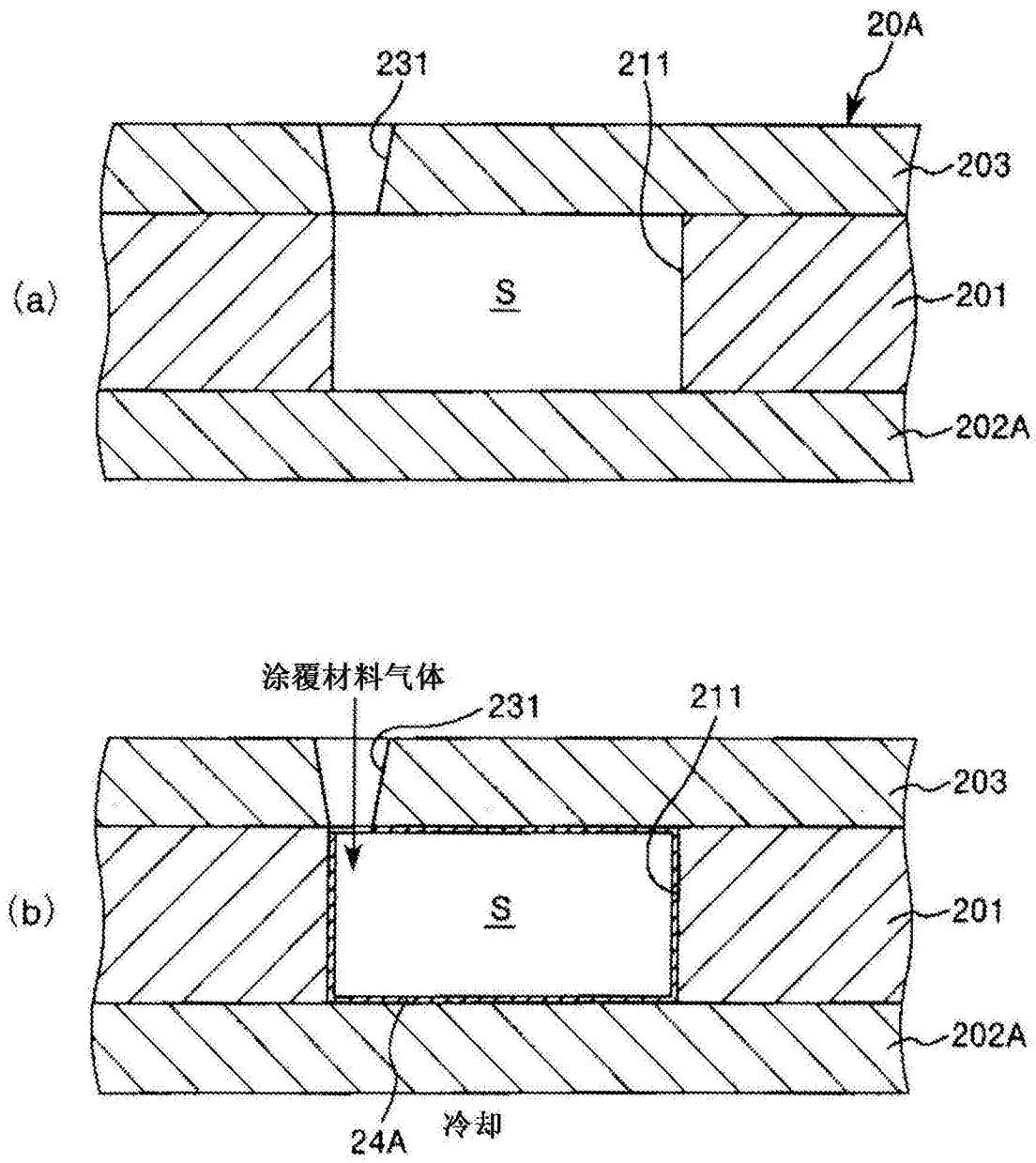


图12

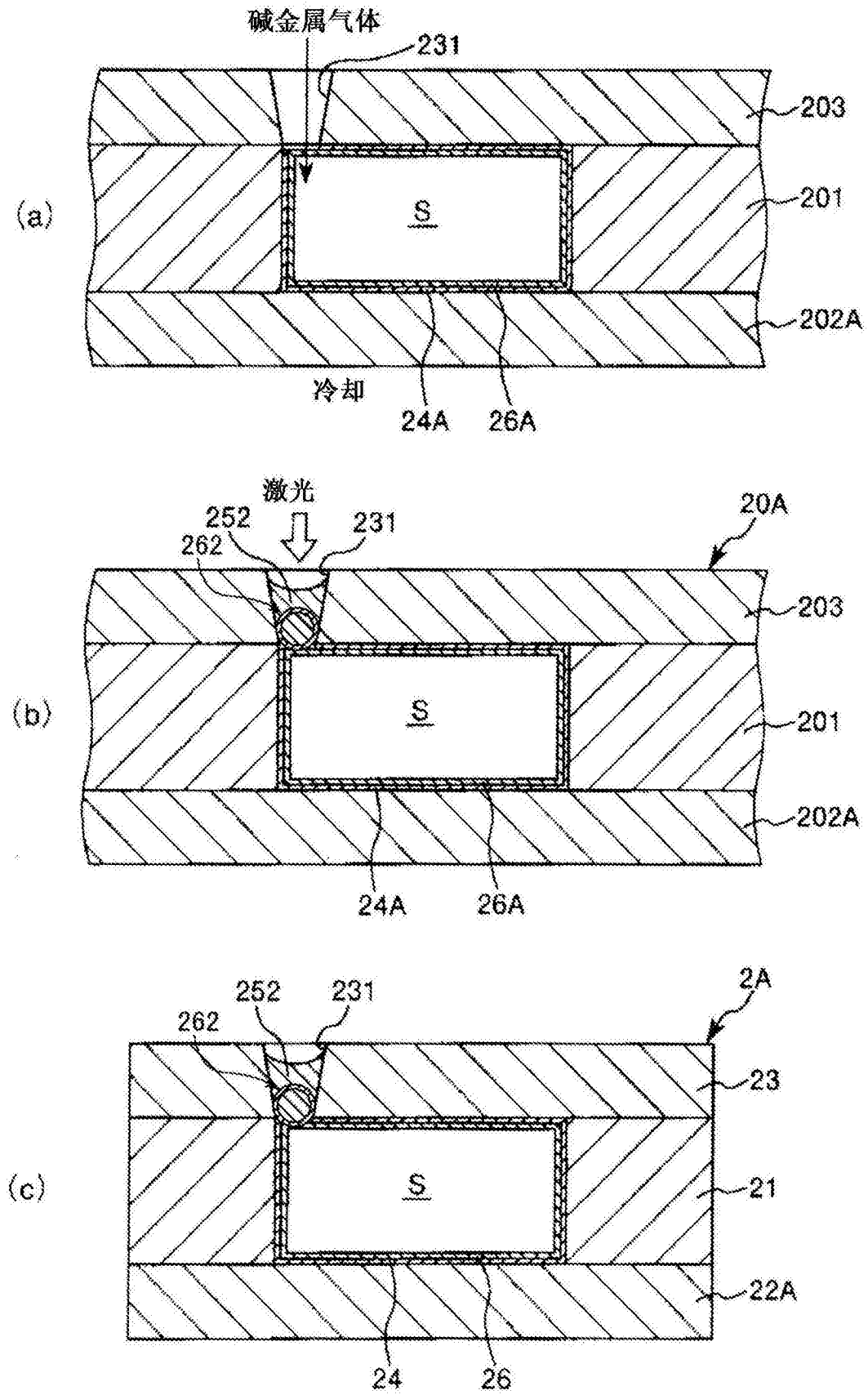


图13

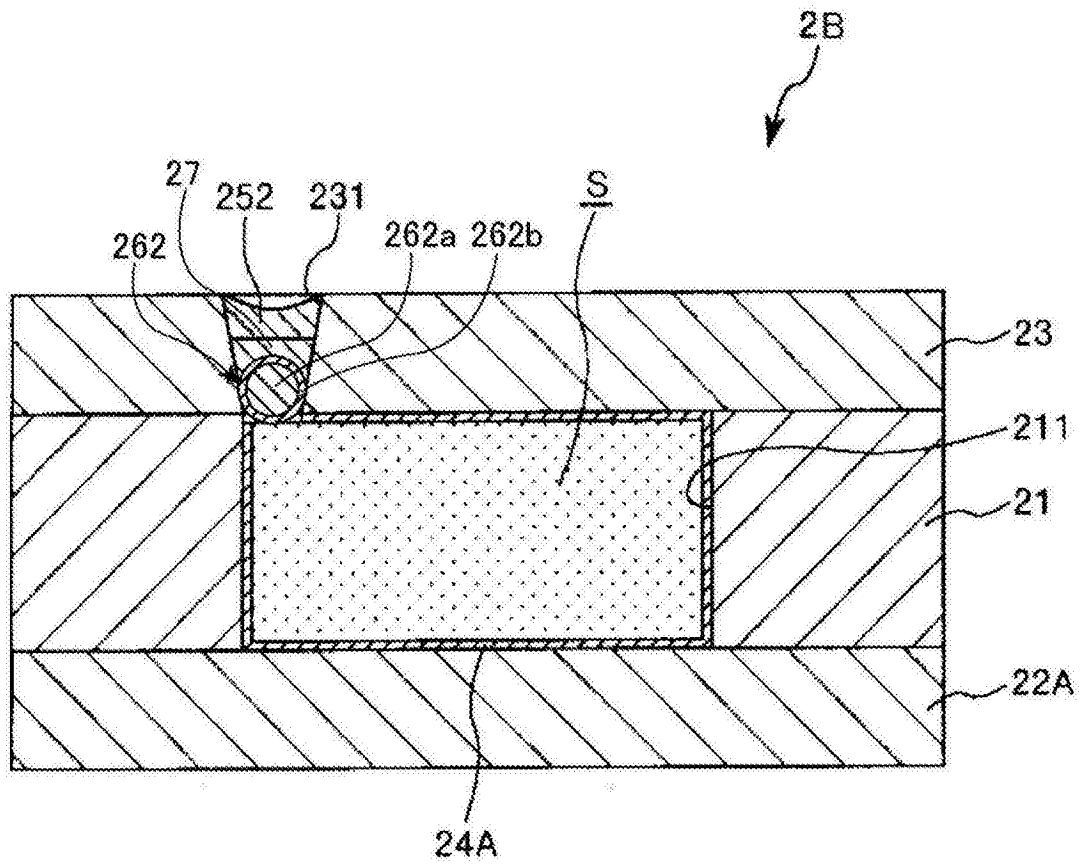


图14

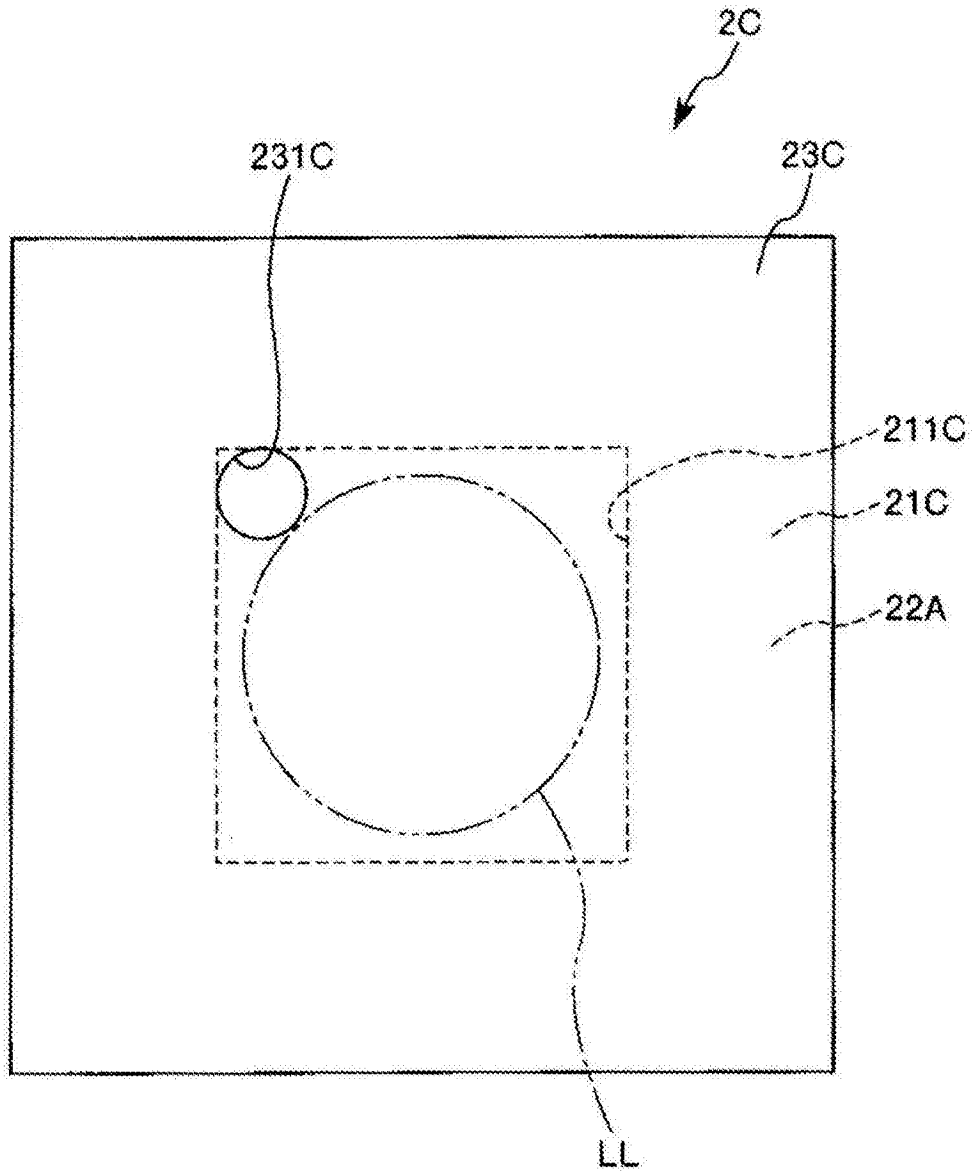


图15

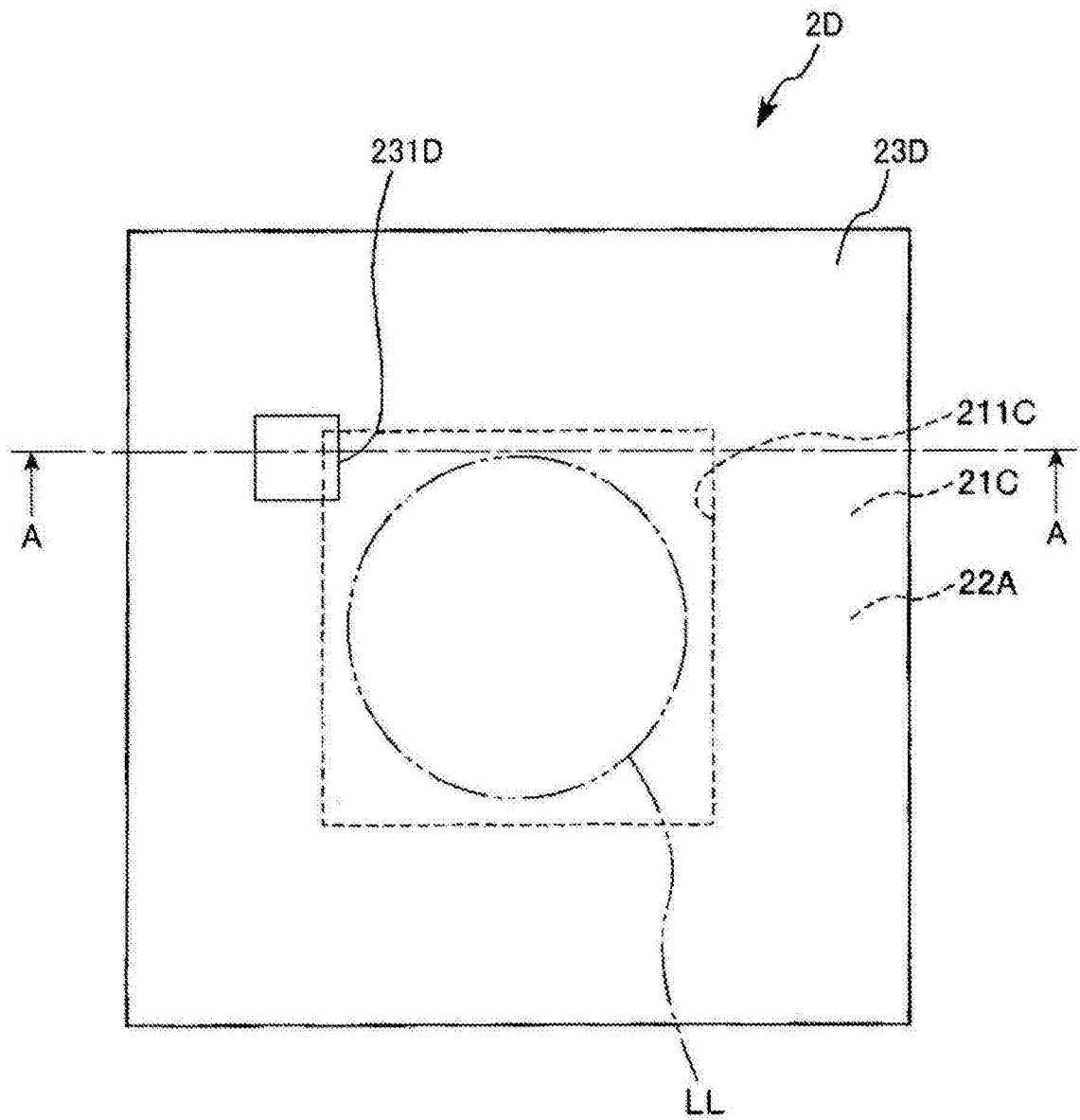


图16

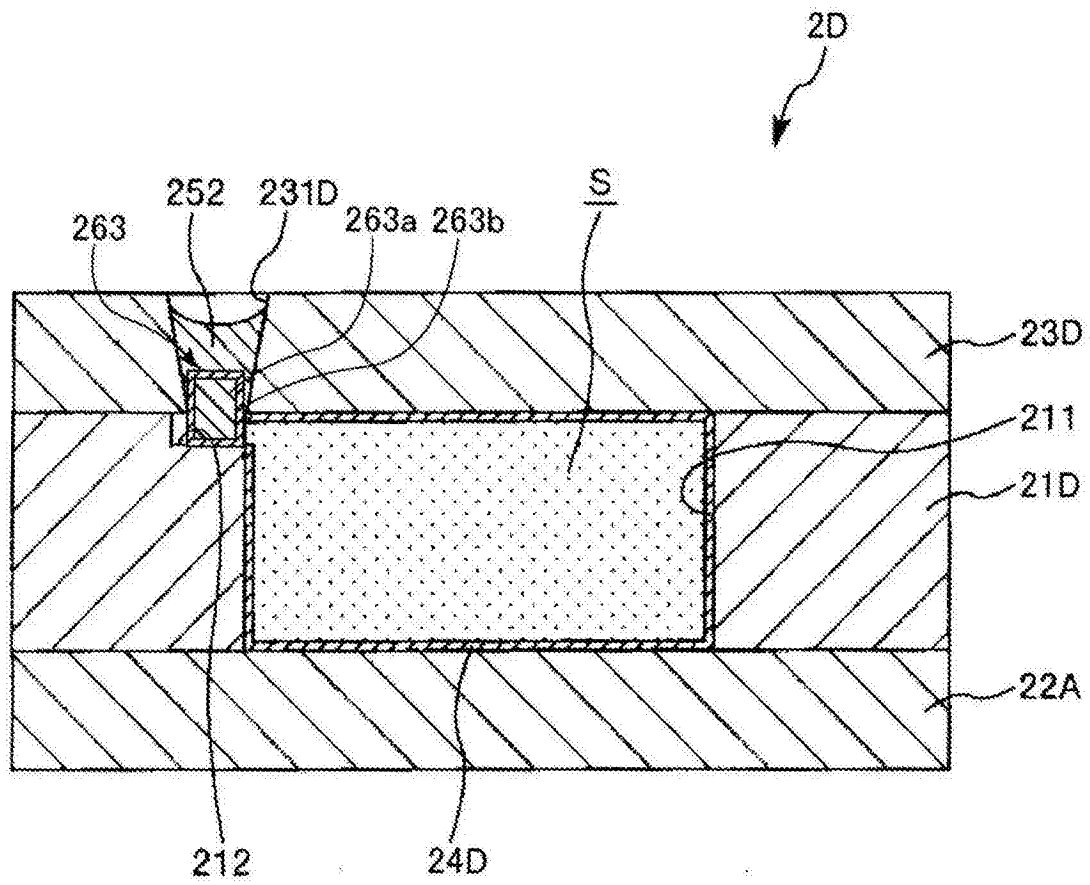


图17

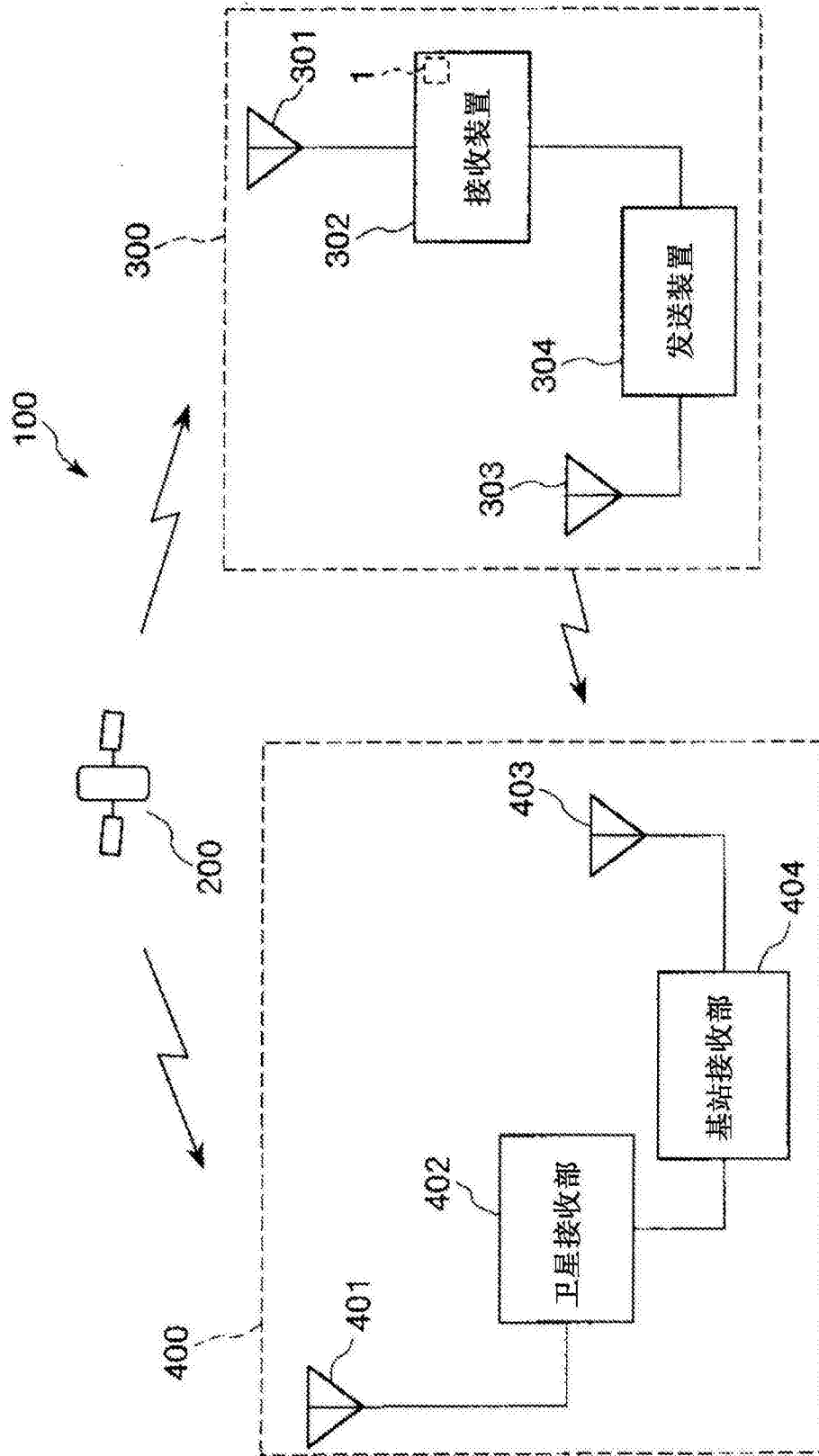


图18

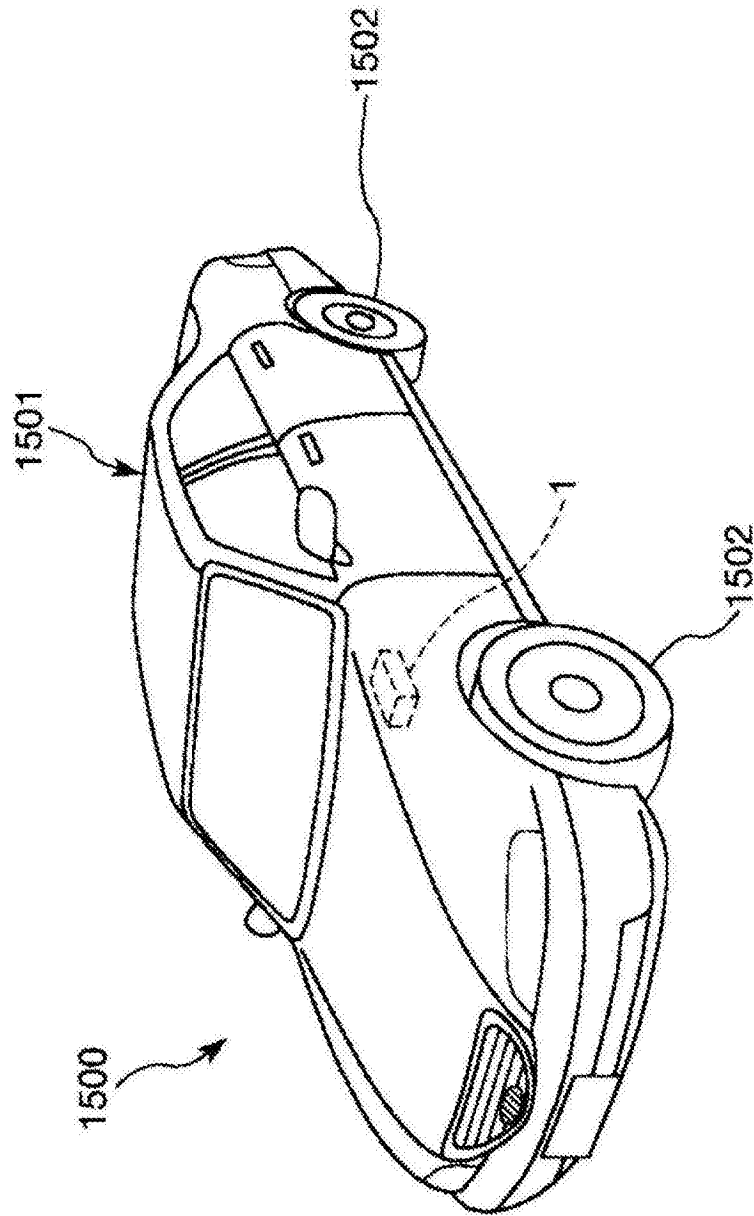


图19