



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119585961 A

(43) 申请公布日 2025. 03. 07

(21) 申请号 202380058027.3

(22) 申请日 2023.08.30

(30) 优先权数据

2022-143731 2022.09.09 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2025.02.06

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2023/031643 2023.08.30

(87) PCT国际申请的公布数据

W02024/053527 JA 2024.03.14

(71) 申请人 国立大学法人京都大学

地址 日本

(72) 发明人 平井义和 清濑俊

(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 肖茂深

(51) Int.Cl.

H01S 1/06 (2006.01)

B81B 1/00 (2006.01)

H03L 7/26 (2006.01)

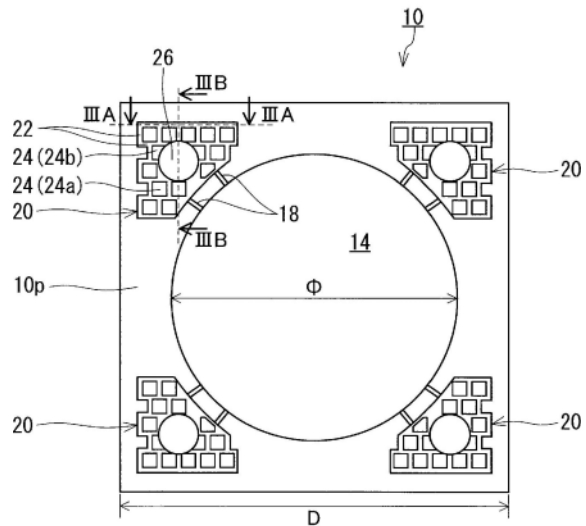
权利要求书1页 说明书10页 附图8页

(54) 发明名称

金属气体封入单元

(57) 摘要

金属气体封入单元(100)具备单元主体(10)、玻璃板(11)、设置于从单元主体(10)以及玻璃板(11)选择的至少一者并与气体生成部(20)连通的光学腔室(14)、以及被封入于光学腔室(14)的金属气体。气体生成部(20)与光学腔室(14)连通,气体生成部(20)具有多个柱(24)、设置于多个柱(24)之间并在第一面(10p)开口的多个有底槽(22)、以及向多个有底槽(22)导入金属气体的原料溶液(34a)的导入口(26),导入口(26)包括从多个柱(24)选择的至少一个柱(24)的一部分缺失的构造、以及从多个柱(24)选择的至少一个柱(24)的全部缺失的构造中的至少一者。



1. 一种金属气体封入单元,其中,
所述金属气体封入单元具备:
单元主体,其具有第一面以及气体生成部;
玻璃板,其贴合于所述单元主体的所述第一面;
光学腔室,其设置于从所述单元主体以及所述玻璃板选择的至少一者,并与所述气体生成部连通;以及
金属气体,其被封入于所述光学腔室,
所述气体生成部具有:多个柱、设置于所述多个柱之间并在所述第一面开口的多个有底槽、以及向所述多个有底槽导入所述金属气体的原料溶液的导入口,
所述导入口包括从所述多个柱选择的至少一个所述柱的一部分缺失的构造、以及从所述多个柱选择的至少一个所述柱的全部缺失的构造中的至少一者。
2. 根据权利要求1所述的金属气体封入单元,其中,
所述导入口被所述多个柱包围。
3. 根据权利要求1所述的金属气体封入单元,其中,
所述单元主体在俯视下具有矩形的形状,
在所述单元主体的从四个角部选择的至少两个角部设置有所述气体生成部。
4. 根据权利要求1所述的金属气体封入单元,其中,
所述光学腔室设置于所述单元主体。
5. 根据权利要求1所述的金属气体封入单元,其中,
所述单元主体还具有以包围所述气体生成部的方式设置于所述第一面的台阶。
6. 根据权利要求1所述的金属气体封入单元,其中,
在俯视所述金属气体封入单元时,所述导入口的开口面积比所述柱的面积大。
7. 根据权利要求1所述的金属气体封入单元,其中,
所述导入口以及所述多个有底槽仅在所述第一面开口。
8. 根据权利要求1所述的金属气体封入单元,其中,
所述单元主体还具有第二面,
所述光学腔室包括在所述单元主体中从所述第一面延伸到所述第二面的贯通孔,
不存在作为所述光学腔室的所述贯通孔以外的贯通孔。
9. 根据权利要求1所述的金属气体封入单元,其中,
所述单元主体还具有第二面,
在所述第一面贴合有第一玻璃板,
在所述第二面贴合有第二玻璃板,
所述光学腔室设置于从由所述单元主体、所述第一玻璃板、以及所述第二玻璃板构成的组中选择的至少一者。

金属气体封入单元

技术领域

[0001] 本发明涉及金属气体封入单元。

背景技术

[0002] 与能够实现高精度的时刻同步的原子钟、高灵敏度地测定生物磁的原子磁传感器等各种原子传感器器件的小型化相关的研究开发在世界范围内正在推进。例如若利用MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 的加工技术实现原子钟的小型化,则能够将当前的水晶振荡器置换为原子钟。也可期待智能手机、超小型卫星等各种设备中的原子钟的利用。

[0003] 对于原子钟而言,作为主要的部件而具有将碱金属气体以及缓冲气体封入容器而得到的气体封入单元。在作为碱金属而使用 ^{133}Cs 的情况下,通过使用Cs的作为量子力学的干涉效果的CPT (Coherent Population Trapping) 共振,能够实现在小型且省电力的同时具有较高的精度的原子钟。作为表示原子钟的性能的重要的指标之一,存在频率稳定度。频率稳定度区分为短期稳定度与长期稳定度而评价。短期稳定度在理论上由CPT共振的Q值与S/N比之积决定。长期稳定度通过在作为CPT共振的测定条件的激发用半导体激光的光量与气体封入单元的内部的缓冲气体分压这两方的经时变化下频率变动的现象等而评价。故而,为了使原子钟的性能提高,制作气体封入单元的技术变得重要。

[0004] 在专利文献1中记载了以往的气体封入单元的一例。专利文献1所记载的碱金属单元具有:Si制的构件,其具有单元内部;一对玻璃板,其安装于Si制的构件的两面;以及碱金属原料,其配置于单元内部。碱金属原料为固体的 CsN_3 。通过向 CsN_3 照射UV光或激光,而产生Cs蒸气以及 N_2 。

[0005] 使用 CsN_3 的分解反应的Cs蒸气生成法能够生成纯度较高的Cs蒸气,因此具有能够制作高品质的气体单元这样的优点。然而,从固体的 CsN_3 高效地生成Cs蒸气并不容易。例如,当在高真空中加热 CsN_3 而使 CsN_3 的温度达到熔点的 310°C 以上时, CsN_3 产生伴随着飞散的分解反应。因此,即使以 600°C 以上且 700°C 以下的高温加热固体的 CsN_3 也无法得到为了得到CPT共振所需的Cs生成量。故而,通常需要利用UV照射而缓慢地(例如,历时24小时)生成Cs蒸气。

[0006] 在专利文献2中记载了用于在短时间内高效地生成Cs蒸气的构造。专利文献2所记载的金属气体封入单元具有利用两张玻璃板夹着Si制的单元主体的基本构造,具有能够从金属气体的原料溶液生成金属气体的固体原料以及能够通过较低温度的处理从固体原料生成金属气体等特征。

[0007] 现有技术文献

[0008] 专利文献

[0009] 专利文献1:日本特开2013-38382号公报

[0010] 专利文献2:国际公开第2022/097557号

发明内容

[0011] 发明要解决的课题

[0012] 专利文献2所记载的金属气体封入单元具有用于向单元主体的气体生成部供给金属气体的原料溶液的滴下口。滴下口在金属气体封入单元的完成后成为无效空间,因此成为金属气体封入单元的小型化的阻碍。也考虑省略滴下口并将原料溶液向气体生成部的槽直接注入,但在该情况下,存在单元主体的表面被污染、对单元主体与玻璃板的接合带来障碍的可能性。在单元主体与玻璃板的接合不充分的情况下,光学腔室内的金属气体密度的降低以及气体压的经时变动变大,因此金属气体封入单元的性能的稳定性受损。另外,若在将光学腔室关闭的玻璃板的内侧表面附着金属气体的原料溶液,则可能成为激光的阻碍,因此对金属气体封入单元的性能也造成影响。为了避免这样的不良情况,以往认为专用的滴下口是必需的,以便将金属气体的原料溶液的注入位置与光学腔室以及气体生成部分分离。

[0013] 本发明的目的在于提供用于在实现金属气体封入单元的小型化的同时使其性能的稳定性的提高的技术。

[0014] 用于解决课题的方案

[0015] 本发明提供一种金属气体封入单元,其中,

[0016] 所述金属气体封入单元具备:

[0017] 单元主体,其具有第一面以及气体生成部;

[0018] 玻璃板,其贴合于所述单元主体的所述第一面;

[0019] 光学腔室,其设置于从所述单元主体以及所述玻璃板选择的至少一者,并与所述气体生成部连通;以及

[0020] 金属气体,其被封入于所述光学腔室,

[0021] 所述气体生成部具有:多个柱、设置于所述多个柱之间并在所述第一面开口的多个有底槽、以及向所述多个有底槽导入所述金属气体的原料溶液的导入口,

[0022] 所述导入口包括从所述多个柱选择的至少一个所述柱的一部分缺失的构造、以及从所述多个柱选择的至少一个所述柱的全部缺失的构造中的至少一者。

[0023] 发明效果

[0024] 根据本发明,能够提供用于在实现金属气体封入单元的小型化的同时使其性能的稳定性的提高的技术。

附图说明

[0025] 图1是本发明的一实施方式的金属气体封入单元的立体图。

[0026] 图2是图1所示的金属气体封入单元的单元主体的俯视图。

[0027] 图3A是沿着图2所示的IIIA-IIIA线的单元主体的剖视图。

[0028] 图3B是沿着图2所示的IIIB-IIIB线的单元主体的剖视图。

[0029] 图4是示出金属气体封入单元的制造方法的工序图。

[0030] 图5A是说明导入口的形成方法的图。

[0031] 图5B是说明导入口的形成方法的图。

[0032] 图6是说明导入口的另一形成方法的俯视图以及剖视图。

- [0033] 图7是变形例1的气体生成部的俯视图。
- [0034] 图8A是使用了变形例2的单元主体的金属气体封入单元的剖视图。
- [0035] 图8B是变形例2的单元主体的俯视图。
- [0036] 图9是变形例3的气体生成部的俯视图。

具体实施方式

[0037] 以下,参照附图对本发明的实施方式进行了说明。本发明并不限于以下的实施方式。

[0038] (实施方式)

[0039] 图1是本发明的一实施方式的金属气体封入单元100的立体图。图2是图1所示的金属气体封入单元100的单元主体10的俯视图。金属气体封入单元100具有单元主体10、第一玻璃板11、以及第二玻璃板12。单元主体10具有第一面10p以及第二面10q。第一面10p以及第二面10q是彼此相对的面。第一面10p以及第二面10q也可以分别是单元主体10的主面。“主面”是指具有最大的面积的面。在第一面10p贴合有第一玻璃板11。在第二面10q贴合有第二玻璃板12。

[0040] 在本实施方式中,第一玻璃板11以及第二玻璃板12分别覆盖第一面10p的整面以及第二面10q的整面。但是,这并非必需。第一面10p也可以包括未被第一玻璃板11覆盖的部分。第二面10q也可以包括未被第二玻璃板12覆盖的部分。

[0041] 在金属气体封入单元100的内部封入有金属气体以及缓冲气体。金属气体典型地包含K、Rb、Cs等碱金属气体。当封入碱金属气体时,能够通过检测CPT共振而使金属气体封入单元100作为原子振荡器发挥功能。作为缓冲气体,可以举出非活性气体。作为非活性气体,可以举出 H_2 气体、 N_2 气体、稀有气体、以及它们的混合气体等。缓冲气体并非必需,也可以仅封入金属气体。

[0042] 第一玻璃板11以及第二玻璃板12分别是使规定的波段的光充分地透过的较薄的玻璃板。“规定的波段的光”是指在实际使用金属气体封入单元100时照射的光。例如,在金属气体为Cs气体时,规定的波段的光为Cs的吸收波段(例如在Cs-D1线的情况下为894.6nm)的光。“充分地透过”例如是指规定的波段的光的透过率为90%以上。能够与单元主体10阳极接合的玻璃板能够作为第一玻璃板11以及第二玻璃板12而使用。作为能够与硅阳极接合的玻璃,可以举出硅酸玻璃、硼硅酸玻璃、铝硅酸玻璃、硼硅酸铝玻璃等。

[0043] 单元主体10例如为硅制。当使用MEMS的加工技术时,能够从一张硅晶片制造多个金属气体封入单元100。硅难以与碱金属气体以及缓冲气体反应,因此在单元主体10为硅制的情况下能够将金属气体封入单元100的内部气氛保持稳定,并且能够将碱金属气体的蒸气压保持恒定。通过使用高品质的硅晶片,也能够期待金属气体封入单元100的性能的提高。并且,在单元主体10为硅制的情况下,能够在不使用其他接合材料的情况下通过阳极接合而将第一玻璃板11以及第二玻璃板12贴合于单元主体10。这也有助于将金属气体封入单元100的内部气氛保持稳定以及将碱金属气体的蒸气压保持恒定。但是,单元主体10的材料没有特别限定。只要为能够进行微细加工的材料,则单元主体10也可以由不锈钢等金属制作,也可以由玻璃制作。单元主体10的形状也没有特别限定。单元主体10可以具有板状的形状,也可以具有圆柱的形状,也可以具有长方体的形状。单元主体10具有长方体的形状是指

包围单元主体10的最小的体积的多面体为长方体。第一玻璃板11以及第二玻璃板12向单元主体10的接合方法也没有特别限定。也可以使用粘接剂、玻璃料、金属材料等的接合材料将第一玻璃板11以及第二玻璃板12中的至少一者贴合于单元主体10。单元主体10与第一玻璃板11的接合方法也可以和单元主体10与第二玻璃板12的接合方法不同。

[0044] 单元主体10具有光学腔室14以及至少一个气体生成部20。光学腔室14也可以设置于第一玻璃板11和/或第二玻璃板12。光学腔室14设置于从单元主体10、第一玻璃板11以及第二玻璃板12选择的至少一者,且可以是与气体生成部20连通的部分。

[0045] 光学腔室14是封入金属气体的部分,且是用于检测CPT共振的光的通路。如图1所示那样,在光学腔室14设置于单元主体10的情况下,光学腔室14在第一面10p以及第二面10q中的至少一者开口。在本实施方式中,光学腔室14包括在单元主体10从第一面10p延伸到第二面10q的贯通孔。贯通孔的截面积在单元主体10的厚度方向上可以恒定,也可以变化。在图1的例子中,作为光学腔室14的贯通孔位于单元主体10的中心。但是,也能够将仅在第一面10p或第二面10q开口的有底孔用作光学腔室。光学腔室14的形状没有特别限定。光学腔室14的形状在俯视下可以为圆形,也可以为椭圆形,也可以为多边形。光学腔室14的位置也没有特别限定,也可以在从单元主体10的中心偏移的位置设置有光学腔室。作为在第一玻璃板11形成光学腔室的方法,能够采用通过离子蚀刻等方法在第一玻璃板11形成凹部的方法、将第一玻璃板11自身成型为圆顶状的方法等。

[0046] 在本实施方式中,在单元主体10不存在作为光学腔室14的贯通孔以外的贯通孔。根据这样的结构,能够将第二玻璃板12更牢固地接合于单元主体10的第二面10q。其结果是,金属气体封入单元100的性能的稳定性提高。但是,光学腔室14也可以是有底孔。在该情况下,能够省略第二玻璃板12。

[0047] 气体生成部20是用于从金属气体的原料溶液生成金属气体的固体原料并且从固体原料生成金属气体的部分。气体生成部20具有多个槽22、多个柱24、以及导入口26。多个槽22设置于多个柱24之间,并且在第一面10p开口。多个槽22为有底槽。以使气体生成部20具有多个柱24的方式多个槽22在俯视下呈格子状延伸。在图1的例子中,以多个柱24呈交错图案排列的方式形成有多个槽22。根据这样的微细构造,能够充分地确保用于使金属气体的固体原料析出的表面的面积。柱24在俯视下具有矩形(典型地为正方形)的形状。但是,柱24的形状没有特别限定。柱24的形状可以是棱柱状,也可以是圆柱状。

[0048] 在单元主体10为正方形时,其一边的长度D例如为2mm以上且8mm以下。在光学腔室14的形状在俯视下为圆形时,其直径 Φ 例如为1mm以上且6mm以下。

[0049] 在光学腔室14与气体生成部20之间设置有将两者连通的微通道18。在本实施方式中,在第一面10p开口的多个槽分别担负微通道18的作用。作为微通道18的槽的宽度例如比气体生成部20中的槽22的宽度窄。这样的构造用于阻止金属气体的固体原料或原料溶液导入光学腔室14。作为微通道18的槽的宽度例如为1 μm 以上且30 μm 以下。微通道18也可以仅由一条槽构成。

[0050] 图3A是沿着图2所示的IIIA-IIIA线的单元主体10的剖视图,将气体生成部20从横向放大而示出。图3B是沿着图2所示的IIIB-IIIB线的单元主体10的剖视图。如图3A所示那样,多个槽22各自的宽度沿着单元主体10的厚度方向DR周期性地变化。单元主体10的厚度方向DR是从第一面10p朝向第二面10q的方向。多个槽22分别具有比第一面10p中的多个槽

22各自的开口宽度W宽度宽的部分。具体而言,多个槽22分别包括多个第一部分22a以及多个第二部分22b。第一部分22a是相邻的柱24与柱24的间隙距离较长的部分。第二部分22b是相邻的柱24与柱24的间隙距离较短的部分。从第一面10p趋向第二面10q而交替地设置有第一部分22a与第二部分22b。槽22的第二部分22b的宽度W2例如与第一面10p中的槽22的开口宽度W相等。在本实施方式中,沿着厚度方向DR设置有三级第一部分22a。但是,第一部分22a以及第二部分22b的数量没有特别限定。

[0051] 在从金属气体的原料溶液生成固体原料时,固体原料容易附着于构成气体生成部20的微细构造而停留于气体生成部20。另外,气体生成部20的微细构造使 CsN_3 等固体原料的由加热引起的化学反应高效化。通过比表面积的增加与加热分解中的固体原料的飞散防止的复合效果,即使为较低的温度也能够通过固体原料的化学反应高效地生成碱金属气体。

[0052] 第一面10p中的槽22的宽度W例如为 $1\mu\text{m}$ 以上且 $100\mu\text{m}$ 以下。槽22的第一部分22a的宽度W1例如为 $5\mu\text{m}$ 以上且 $200\mu\text{m}$ 以下。槽22的第二部分22b的宽度W2与第一面10p中的槽22的宽度W大致相等。第一部分22a的宽度W1以及第二部分22b的宽度W2也可以从第一面10p趋向第二面10q而逐渐变窄。第一面10p中的柱24的一边L的长度例如为 $50\mu\text{m}$ 以上且 $500\mu\text{m}$ 以下。

[0053] 导入口26是用于向多个槽22导入金属气体的原料溶液的开口部。导入口26为有底的开口部,并且与多个槽22连通。导入口26包括从多个柱24选择的至少一个柱24的一部分缺失的构造以及从多个柱24选择的至少一个柱24的全部缺失的构造中的至少一者。在本实施方式中,导入口26包括这两方的构造。根据这样的结构,导入口26难以成为无效空间,因此对金属气体封入单元100的小型化是有利的。即使在原料溶液的液滴相对于槽22的宽度较大而难以向槽22直接注入液滴的情况下,也能够向导入口26注入液滴。因此,能够降低单元主体10的第一面10p被原料溶液或固体原料污染的可能性。当第一面10p能够保持清洁时,能够在第一面10p可靠地接合第一玻璃板11。由于这些理由,能够在实现金属气体封入单元100的小型化的同时使其性能的稳定性的提高。

[0054] 柱24的一部分缺失的构造能够通过以将柱24的一部分削掉的形式设置导入口26而形成。在该情况下,多个柱24包括第一柱24a以及第二柱24b。第一柱24a是在俯视单元主体10时在多个柱24之中具有最大的面积的柱。在本实施方式中,在俯视下具有正方形的形状的柱24为第一柱24a。第二柱24b是具有比第一柱24a小的面积的柱。在本实施方式中,第二柱24b是与导入口26相邻的柱。第一柱24a的一部分缺失而形成第二柱24b。

[0055] 柱24的全部缺失的构造能够通过以将柱24的全部削掉的形式设置导入口26而形成。或者,能够通过以在气体生成部20确保不存在柱24的区域,而形成该构造。

[0056] 第二柱24b的构造没有特别限定。第二柱24b也可以是通过将第一柱24a的上表面部切削或折损而形成的短尺寸柱,也可以是通过切削第一柱24a的侧面部而形成的缺口柱,也可以是通过切削第一柱24a的周缘部而形成的较细的柱,也可以是一并具有这些特征的变形柱。将它们总称为缺失柱。另外,在使柱24的全部缺失的情况下,存在过柱24的部分被识别为存在于气体生成部20中的柱组之间的相对较大的空间。将这样的空间称为柱缺失区域。即,气体生成部20包括缺损柱和/或柱缺损区域。

[0057] 导入口26也可以被多个柱24包围。根据这样的结构,能够将原料溶液送达到多个槽22的各个角落,因此能够从原料溶液高效地生成固体原料。在该情况下,能够减少原料溶

液的使用量,并进一步降低单元主体10的第一面10p被原料溶液或固体原料污染的可能性。

[0058] 也可以是,导入口26的全部收于设置有多个槽22以及多个柱24的区域内。根据这样的结构,无效空间更难以产生。

[0059] 在本实施方式中,单元主体10在俯视下具有矩形的形状、详细而言正方形的形状。在单元主体10的从四个角部选择的至少一个角部设置有气体生成部20。根据这样的结构,用于向气体生成部20分别导入的原料溶液的量减少。其结果是,能够降低单元主体10的第一面10p被原料溶液或固体原料污染的可能性。另外,四个角部在本质上容易成为无效空间。通过在从四个角部选择的至少一个角部设置气体生成部20,能够充分地减小单元主体10的无效空间。这对金属气体封入单元100的小型化是有利的。在本实施方式中,在单元主体10的四个角部分别设置有气体生成部20。根据这样的结构,上述的效果进一步提高。另外,在四个角部分别设置有气体生成部20的情况下,金属气体封入单元100具有对称性较高的构造。这对抑制光轴的中心的偏移是有利的,能够实现金属气体封入单元100的稳定的安装(例如,向原子钟的安装)。

[0060] 在图1中,多个(在本实施方式中为四个)气体生成部20相互独立。从气体生成部20向气体生成部20的原料的直接的移动无法进行。多个气体生成部20仅经由微通道18以及光学腔室14而连通。通过这样的结构,应向气体生成部20分别导入的原料溶液的量也减少,因此得到上述的效果。当原料溶液的使用量减少时,金属气体封入单元100的成本也减少。另外,也能够减少残留于单元主体10的固体原料的量。这在金属气体封入单元100的性能的稳定性观点下也是有利的。需要说明的是,将多个气体生成部20相互连结的实施方式也是可以的。在供给到气体生成部20的原料溶液的量不均匀的情况下,能够期待使其量均匀化的效果。

[0061] 也可以仅在单元主体10的从四个角部选择的两个或三个角部设置有气体生成部20。例如,将金属气体封入单元100以外的构造制作到从四个角部选择一个或两个特定的角部的情况下,能够将气体生成部20制作到特定的角部以外的两个或三个角部。

[0062] 如图3B所示那样,导入口26的深度D1也可以比槽22的深度D2大。在导入口26比槽22稍深的情况下,容易形成导入口26。但是,导入口26的深度D1也可以与槽22的深度D2相等。导入口26的深度D1也可以低于槽22的深度D2。根据这些结构,导入到导入口26的原料溶液能够向多个槽22顺畅地移动。

[0063] 导入口26的形状没有特别限定。导入口26的俯视下的形状可以为圆形,也可以为椭圆形,也可以为矩形那样的多边形。导入口26也可以具有圆柱、椭圆柱或多棱柱的形状。在第一面10p中,导入口26的开口面积比光学腔室14的开口面积小。这样的构造有助于金属气体封入单元100的小型化。但是,光学腔室14以及导入口26的大小没有特别限定。

[0064] 在俯视金属气体封入单元100时,导入口26的开口面积例如比柱24的面积大。在导入口26的形状在俯视下为圆形,柱24的形状在俯视下为正方形等矩形时,导入口26的直径也可以比柱24的一边的长度大。根据这样的结构,容易向槽22注入原料溶液。由于相同的理由,导入口26的直径也可以比槽22的宽度W大。在导入口26在俯视下具有圆形以外的形状的情况下,“导入口26的直径”是指具有与由俯视下的导入口26的轮廓划定的区域相等的面积的圆的直径。

[0065] 在本实施方式中,导入口26以及多个槽22仅在第一面10p开口。即,气体生成部20

未贯通到第二面10q。根据这样的结构,能够从第一面10p通过导入口26向槽22容易地供给原料溶液。

[0066] 接下来,说明金属气体封入单元100的制造方法。图4是示出金属气体封入单元100的制造方法的工序图。

[0067] 如步骤1所示那样,在基板10y的一方的面形成掩模用的薄膜30。薄膜30可以是Cr、Al、Ni等金属薄膜,也可以是硅氧化膜。薄膜30能够通过蒸镀、溅射等气相法而形成。基板10y例如是硅晶片。能够从一张基板10y制造多个金属气体封入单元100,因此本实施方式的方法在生产率上优异。作为基板10y的硅晶片可以是多晶晶片也可以是单晶晶片。若使用单晶晶片,则能够将金属气体封入单元100的内部气氛保持得更稳定,并且能够将碱金属气体的蒸气压保持得更恒定。在单晶晶片中不存在晶界,因此容易以较高的尺寸精度形成气体生成部20的微细构造。基板10y越大,则越能够实现小型化的金属气体封入单元100的大量生产。

[0068] 接下来,如步骤2所示那样,在薄膜30的表面涂布抗蚀剂32,并且使用光刻技术将抗蚀剂32图案化。也可以省略薄膜30而将抗蚀剂32直接形成于基板10y之上。

[0069] 接下来,如步骤3所示那样,利用蚀刻液将薄膜30的一部分除去而使基板10y的表面露出。

[0070] 接下来,如步骤4所示那样,通过深度反应性离子蚀刻(Deep Reactive Ion Etching),形成光学腔室14(未图示)以及气体生成部20。在本实施方式中,在准备单元主体10时,通过深度反应性离子蚀刻而一并形成光学腔室14以及气体生成部20。因此,能够以较少的工序数制造单元主体10。在光学腔室14设置于第一玻璃板11和/或第二玻璃板12的情况下,气体生成部20在步骤4形成。微通道18也在步骤4形成。

[0071] 在将光学腔室14以及气体生成部20一并形成的情况下,不仅在气体生成部20,在光学腔室14的内周面也赋予凹凸。与此相对,根据以下的方法,虽然工序数增加,但难以在光学腔室14的内周面产生凹凸。即,通过从基板10y的一方的面(第一面)进行的深度反应性离子蚀刻而形成气体生成部20。通过从基板10y的另一方的面(第二面)进行的深度反应性离子蚀刻而形成光学腔室14。仅通过单纯地挖掘基板10y,作为光学腔室14,能够形成具有平坦的内周面的贯通孔。

[0072] 图5A以及图5B是说明导入口26的形成方法的图。图5A是基板10y的俯视图。图5B是基板10y的剖视图。如图5A所示那样,以多个较细的柱24c位于规定区域的方式,将抗蚀剂32图案化,并通过深度反应性离子蚀刻而形成槽22。规定区域是用于形成导入口26的区域。较细的柱24c的数量也可以为一个。接下来,如图5B所示那样,在槽22的最深的位置,将基板10y沿水平方向较大地蚀刻。由此,较细的柱24c被除去,在规定区域形成导入口26。

[0073] 图6是说明导入口26的另一形成方法的俯视图以及剖视图。在该例子中,在与导入口26对应的规定区域不描绘柱24的图案。能够通过深度反应性离子蚀刻而形成导入口26。

[0074] 需要说明的是,通过深度反应性离子蚀刻而形成气体生成部20的方法在专利文献2中详细记载,在本申请中也引用这些记载。

[0075] 在深度反应性离子蚀刻的结束后,通过将薄膜30以及抗蚀剂32除去而得到单元主体10。

[0076] 接下来,如步骤5所示那样,在单元主体10的第二面10q贴合第二玻璃板12。由此,

覆盖于光学腔室14的第二面10q侧。将第二玻璃板12与单元主体10接合的方法为阳极接合。在阳极接合中,将第二玻璃板12与单元主体10重叠,在将两者加热的同时向两者之间施加直流电压。加热温度例如为150°C以上且600°C以下。施加电压例如为200V以上且1200V以下。需要说明的是,在光学腔室14为有底孔的情况下,不需要第二玻璃板12,步骤5省略。

[0077] 接下来,如步骤6所示那样,向导入入口26注入金属气体的原料溶液34a,将原料溶液34a导入槽22。原料溶液34a通过毛细管现象而向槽22供给。

[0078] 导入入口26在第一面10p开口,因此原料溶液34a的注入也从第一面10p进行。注入通过适于向微小区域注入液体的设备或装置而进行。作为那样的设备或装置,可以举出微型移液器、喷墨器等。例如,能够通过图像处理而识别槽22、柱24、以及导入入口26中的至少一个,并使用这些设备或装置自动地进行原料溶液34a的注入。或者,在制作出单元主体10的硅晶片设置有对位标记的情况下,也可以使用那样的对位标记进行上述的设备或装置的对位。

[0079] 接下来,在步骤7中,使原料溶液34a所包含的溶剂蒸发,使金属气体的固体原料34b在柱24的表面析出。具体而言,通过加热单元主体10而使溶剂蒸发。单元主体10的加热能够通过将单元主体10配置于加热板上或者利用加热炉处理单元主体10而实现。

[0080] 原料溶液34a是包含金属化合物的溶液。作为金属化合物,可以举出CsN₃等金属叠氮化物、CsCl等金属卤化物。金属化合物典型地为碱金属化合物。在本实施方式中,使用碱金属化合物的化学反应产生碱金属气体。例如,在碱金属为Cs时,将CsN₃溶液导入单元主体10的气体生成部20而使固体的CsN₃析出。CsN₃溶液中的溶剂可以是水等无机溶剂,也可以是醇类、丙酮、乙腈等有机溶剂。

[0081] 使固体原料34b在柱24的表面析出时的单元主体10的加热温度例如为25°C以上且315°C以下。“加热温度”是单元主体10所处的周围温度。在使用加热板的情况下,加热温度是加热板的表面温度。在使用加热炉的情况下,加热温度是加热炉的内部温度。

[0082] 也可以在使固体原料34b析出后,在真空气氛下进行固体原料34b以及单元主体10的脱气。根据本实施方式,气体生成部20在第一面10p开口,因此能够进行高效的脱气。

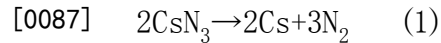
[0083] 接下来,在步骤8中,在单元主体10的第一面10p贴合第一玻璃板11。将第一玻璃板11与单元主体10接合的方法也是阳极接合。在阳极接合中,将第一玻璃板11与单元主体10重叠,在将两者加热的同时在两者之间施加直流电压。加热温度例如为150°C以上且300°C以下。施加电压例如为200V以上且1200V以下。步骤8的工序在真空中、或稀有气体、N₂气体等非活性气体气氛下进行。真空度例如为1×10⁻³Pa以上且1×10⁻⁷Pa以下。用于实施步骤8的工序的气氛设想在将第一玻璃板11接合于单元主体10后存在于单元主体10的固体原料34b的量以及存在于单元主体10的缓冲气体的量而决定。

[0084] 通过第一玻璃板11与单元主体10的贴合,不仅气体生成部20以外的部分中的单元主体10的第一面10p,气体生成部20的多个柱24的上表面也接合于第一玻璃板11。俯视下的第一玻璃板11的尺寸也可以与单元主体10的第一面10p的尺寸一致。俯视下的第二玻璃板12的尺寸也可以与单元主体10的第二面10q的尺寸一致。

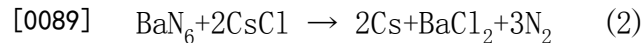
[0085] 在使第一玻璃板11贴合于单元主体10后,从固体原料34b生成金属气体,向光学腔室14导入金属气体。具体而言,通过加热单元主体10而从固体原料34b生成金属气体。单元主体10的加热能够通过将单元主体10配置于加热板上、或者利用加热炉处理单元主体10而

实现。生成金属气体时的单元主体10的加热温度例如为250°C以上且400°C以下。需要说明的是,也可以代替加热单元主体10,通过UV照射使固体原料34b分解而生成金属气体、或者通过激光的照射使固体原料34b分解而生成金属气体。

[0086] 当将固体的 CsN_3 在真空中加热时,按照以下的化学反应生成Cs以及 N_2 。基于金属叠氮化物的热分解的碱金属生成法不产生对金属气体封入单元100的内部的气体压力等性能造成影响的生成物,存在能够将碱金属气体与作为缓冲气体的 N_2 气体同时生成而封入单元主体10的优点。另外,具有不产生碱金属以及 N_2 以外的副生成物从而副生成物不会对气体压力以及其变动造成影响这样的优点。



[0088] 作为碱金属化合物,并不限于金属叠氮化物。例如,如下述式(2)所示那样,能够通过使 CsCl 与 BaN_6 反应而产生Cs气体。



[0090] 经过以上的工序,得到本实施方式的金属气体封入单元100。固体原料34b的一部分保持未分解的状态而残留于气体生成部20。即,金属气体封入单元100具有附着于气体生成部20的金属气体的固体原料34b。根据本实施方式,固体原料34b以外的构件或材料不存在于金属气体封入单元100的内部。因此,能够将金属气体封入单元100的内部气氛保持稳定,并且能够将碱金属气体的蒸气压保持恒定。由于固体原料34b残留于气体生成部20,因此在由于经时劣化而光学腔室14中的金属气体的蒸气压降低了的情况下,也能够通过将金属气体封入单元100再加热而补充金属气体。

[0091] 本实施方式的金属气体封入单元100在动作环境(例如在Cs气体的情况下为80°C左右)中包含在光学腔室14的内部生成的规定浓度的金属气体。因此,在光学腔室14以及气体生成部20各自所需的大小上相互存在关联。另外,所需的大小根据金属气体的种类而不同。并且,通过使第一玻璃板11以及第二玻璃板12紧贴于单元主体10而实现的强度以及耐久性也与这些玻璃板11以及12与单元主体10之间的粘接面的面积有关系。考虑这些条件,而设计单元主体10的大小以及各部分的大小。

[0092] 以下,对几个变形例进行说明。有时对在实施方式与变形例中共通的要素标注相同的参照附图标记,并省略它们的说明。与实施方式以及变形例相关的说明只要在技术上不矛盾,则能够相互应用。只要在技术上不矛盾,则实施方式以及变形例也可以相互组合。

[0093] (变形例)

[0094] 图7是变形例1的气体生成部20a的俯视图。气体生成部20a能够应用于图1以及图2所示的金属气体封入单元100。在本变形例中,在俯视金属气体封入单元100时,导入口26的开口面积比柱24的面积小。在导入口26的形状在俯视下为圆形,柱24的形状在俯视下为正方形等矩形时,导入口26的直径也可以比柱24的一边的长度小。根据这样的结构,在从原料溶液生成固体原料时第一面10p难以被污染。

[0095] 在本变形例中,多个柱24配置为交错状。导入口26跨多个(例如,两个或三个)柱24而形成。在一例中,多个槽22具有T状的部分。在槽22的T状的部分配置导入口26的中心。即,导入口26跨三个柱24而形成。

[0096] 图8A是使用了变形例2的单元主体10b的金属气体封入单元200的剖视图。图8B是变形例2的单元主体10b的俯视图。金属气体封入单元200具备具有台阶28的单元主体10b。

台阶28以将气体生成部20包围的方式设置于第一面10p。根据这样的结构,在台阶28的周围,第一面10p难以被原料溶液以及固体原料污染。因此,能够将第一玻璃板11可靠地接合于单元主体10b的第一面10p。

[0097] 槽22以及导入口26在由台阶28产生的凹部的底面开口。第一玻璃板11在台阶28的周围接合于第一面10p。在第一玻璃板11与气体生成部20之间存在与台阶28对应的高度的空间。

[0098] 台阶28也可以仅设置于气体生成部20的周围。光学腔室14不被台阶28包围。详细而言,在俯视单元主体10b时,在气体生成部20的周围360°存在台阶28,另一方面,能够存在不与台阶28相交而将单元主体10b的外缘与光学腔室14连结的线段。根据这样的结构,能够可靠地实现第一玻璃板11与第一面10p的接合。其结果是,金属气体封入单元200的性能的稳定性提高。

[0099] 图9是变形例3的气体生成部20b的俯视图。多个柱24呈放射状配置。在气体生成部20b的中央部未设置柱24,而设置有导入口26。各柱24在俯视下不为矩形,并且大小也不同。根据气体生成部20,从导入口26观察时的各方向的构造是各向同性的。由此,固体原料能够向各柱24均匀地供给。多个柱24也可以呈螺旋状配置。螺旋状的配置是将放射状的配置扭转而得到的配置。在变形例3中,在放射状的配置的中央部存在导入口26,因此导入溶液的位置容易得知。

[0100] 在图9中在导入口26的周围的360度范围内多个柱24对称地配置。但是,也可以仅在导入口26的周围的180度的范围配置有多个柱24。也可以在导入口26的周围设置有多个具有在60度的范围配置的多个柱24的构造。柱24能够根据目的而恰当地配置。当然,也可以并用这些配置与其他配置。

[0101] 在本发明中,柱的大小、柱的配置、导入口的配置、以及导入口的大小并不被实施方式以及变形例所示的内容限制。例如,虽未图示,但也可以基于防止原料溶液的意外的流出的目的、或者防止溶剂蒸发时的飞散的目的,仅在导入口的周围配置有在俯视下为大型的柱。

[0102] 只要在俯视下在多个槽22以及多个柱24所在的区域内设置有导入口26,则导入口26仅在第一面10p开口并非必需。导入口26也可以是仅在第二面10q开口的有底孔。

[0103] 光学腔室仅设置于单元主体并非必需。例如,也可以由在规定位置设置有凹部的第一玻璃板以及单元主体构成光学腔室。也可以仅由第一玻璃板的凹部构成光学腔室。并且,也可以作为在与气体生成部所开口的第一面侧相反的一侧的第二面侧,在第二玻璃板设置有光学腔室。在该情况下,气体生成部以及光学腔室由贯通单元主体的微通道(连通孔)连结。这样,能够选择适于金属气体封入单元的使用方法的设计。玻璃板的凹部能够通过蚀刻等方法而形成。

[0104] 工业实用性

[0105] 本发明的金属气体封入单元对原子钟、磁传感器、惯性传感器等是有用的。

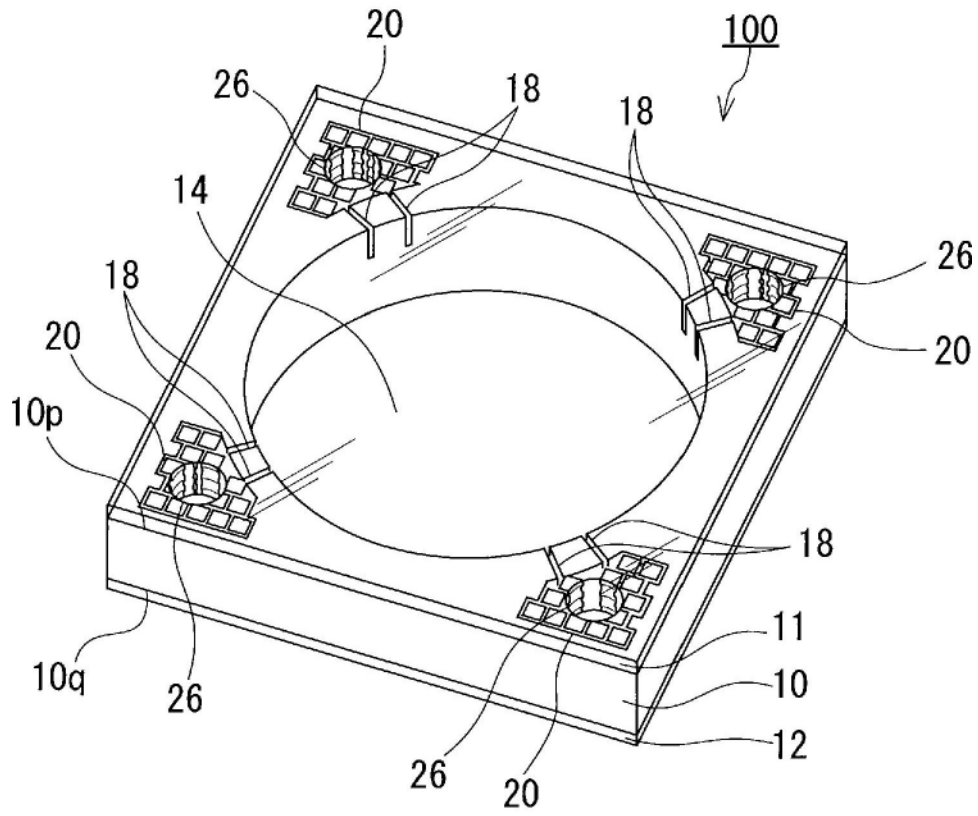


图1

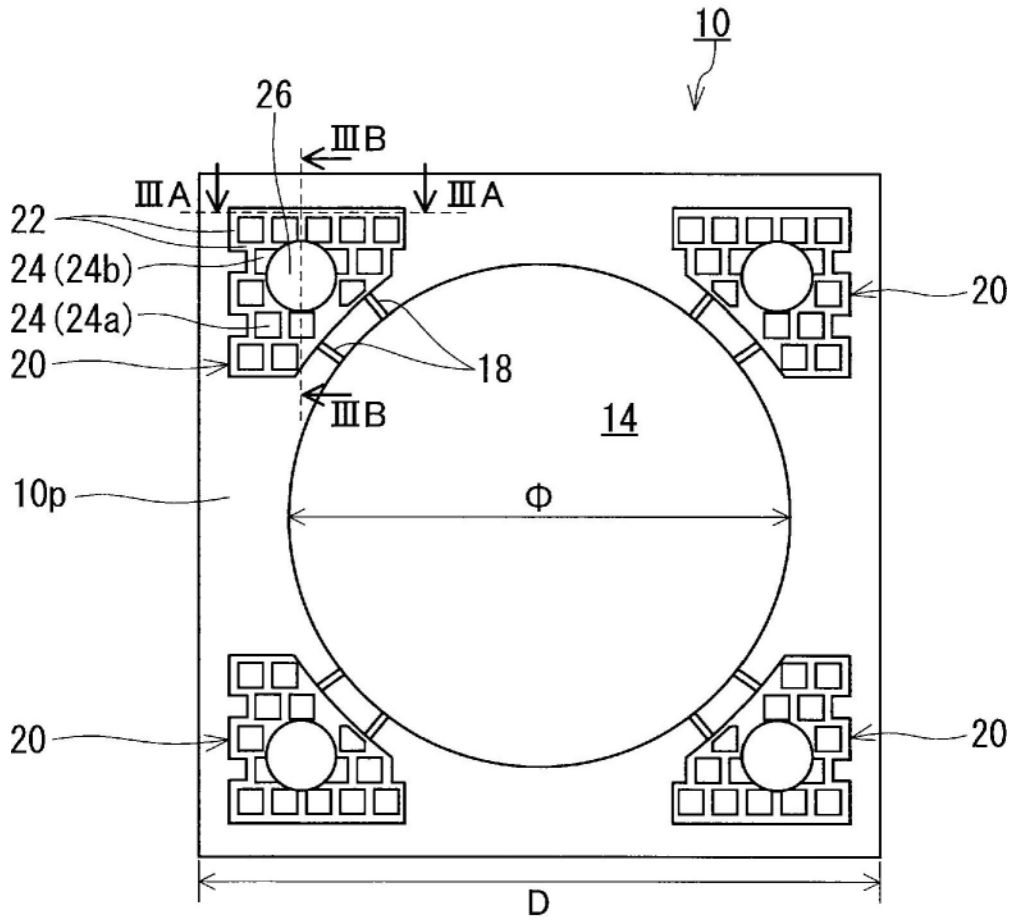


图2

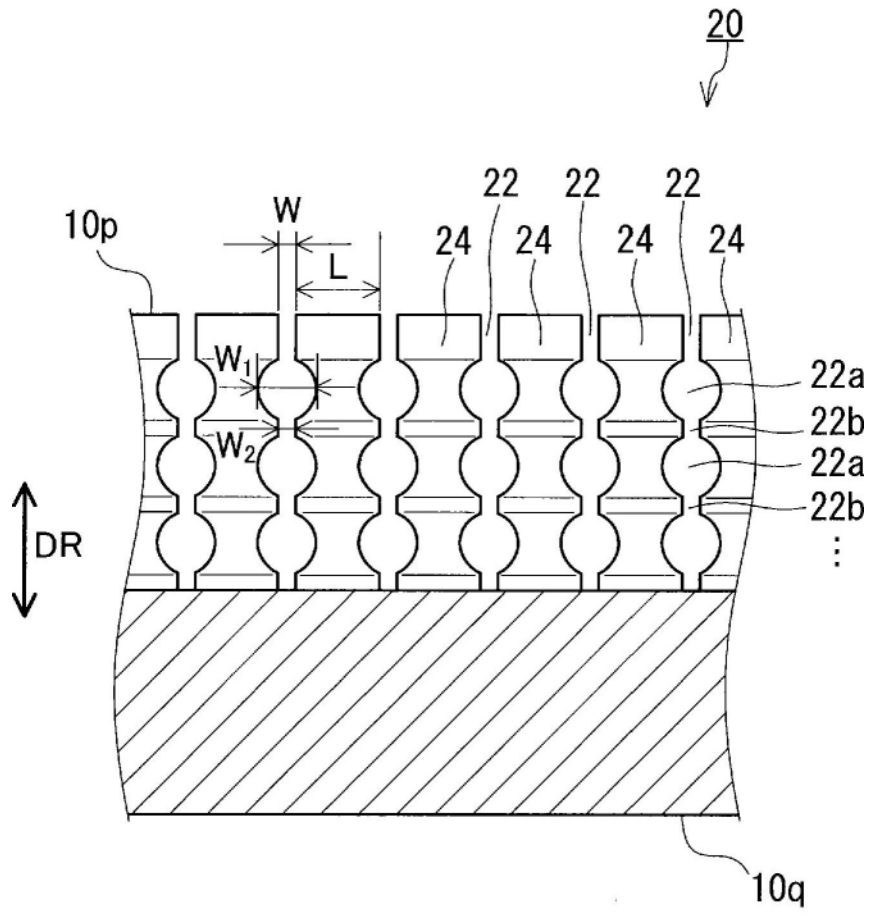


图3A

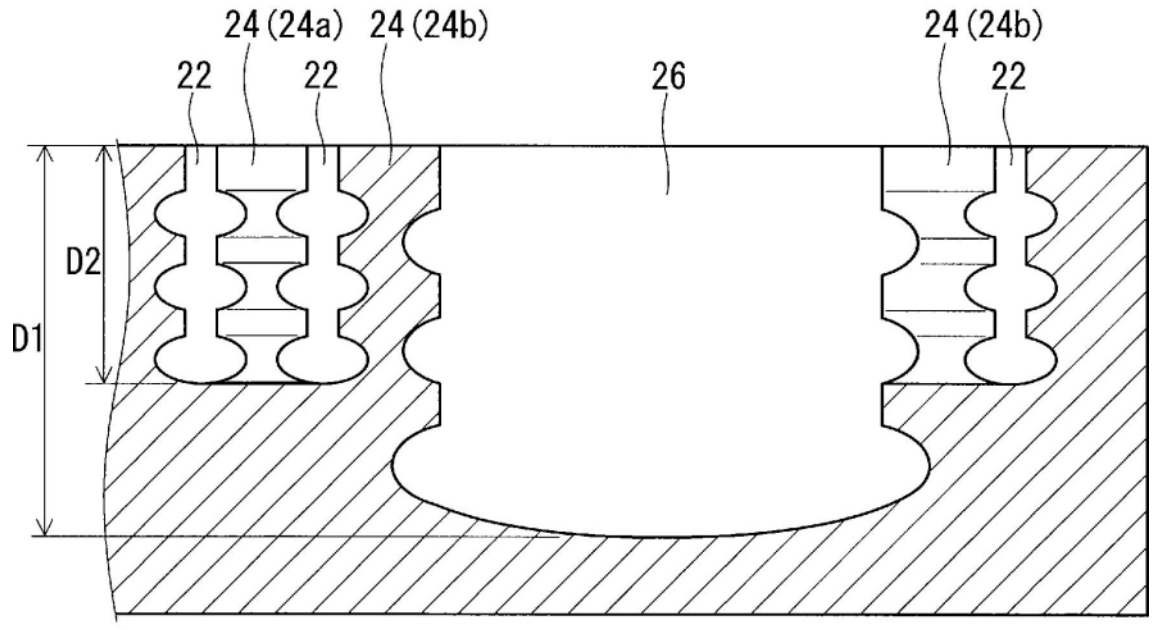


图3B

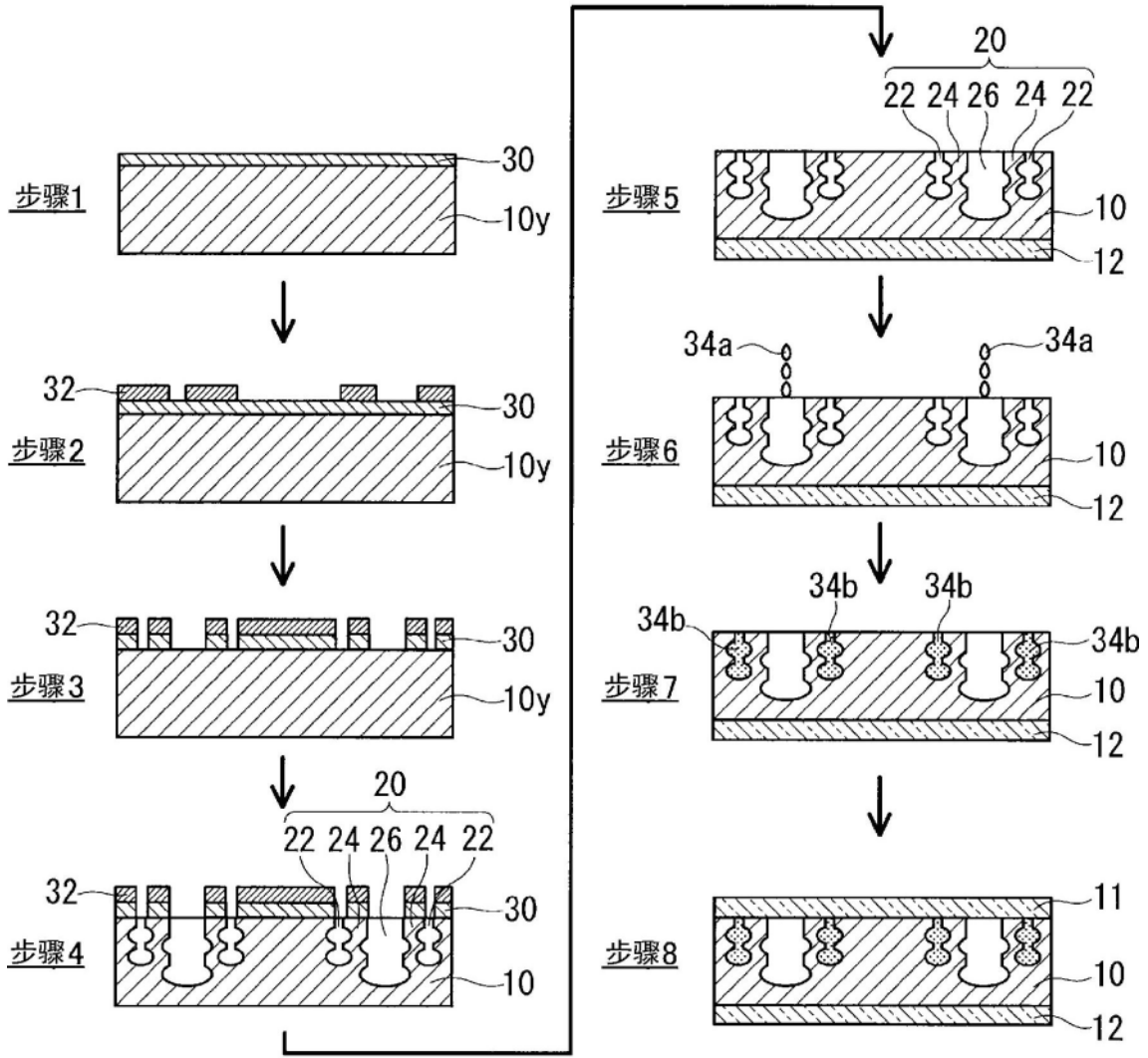


图4

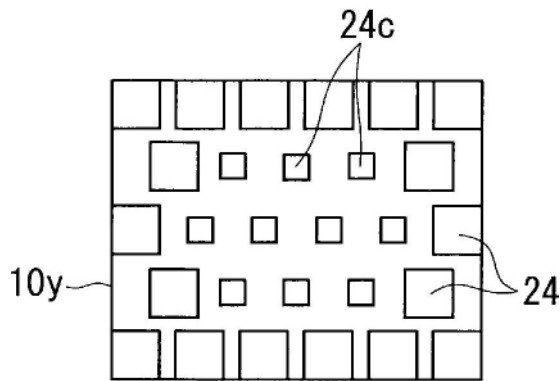


图5A

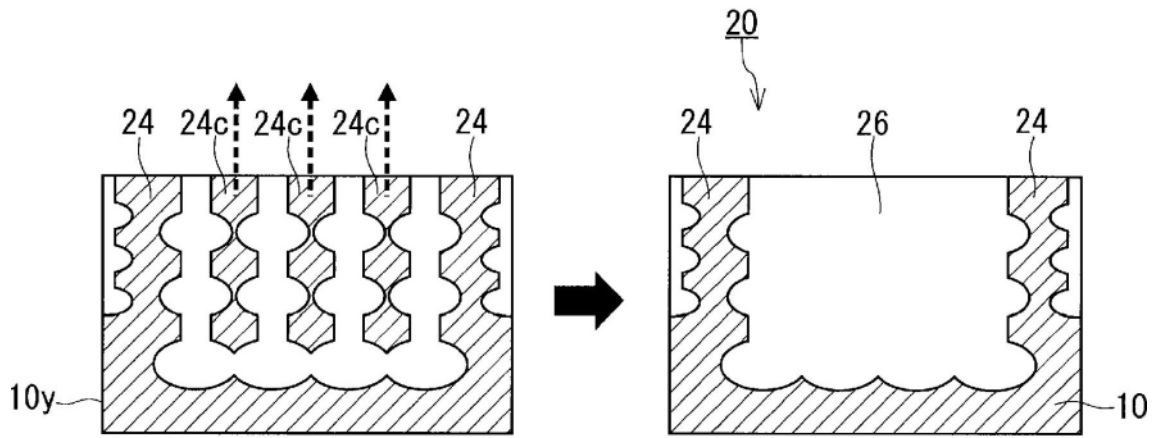


图5B

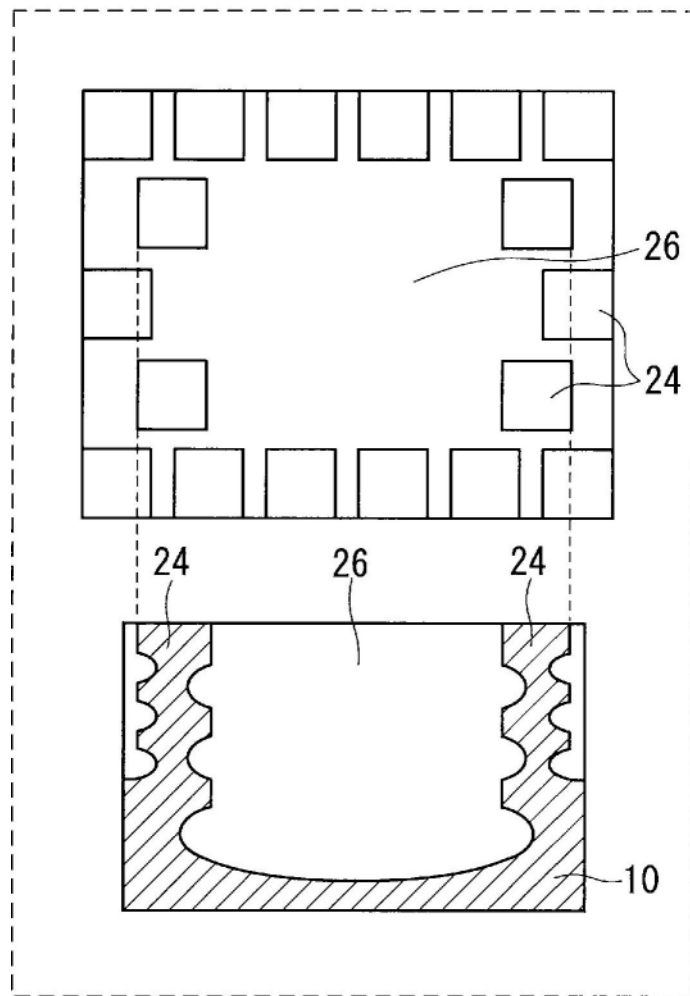


图6

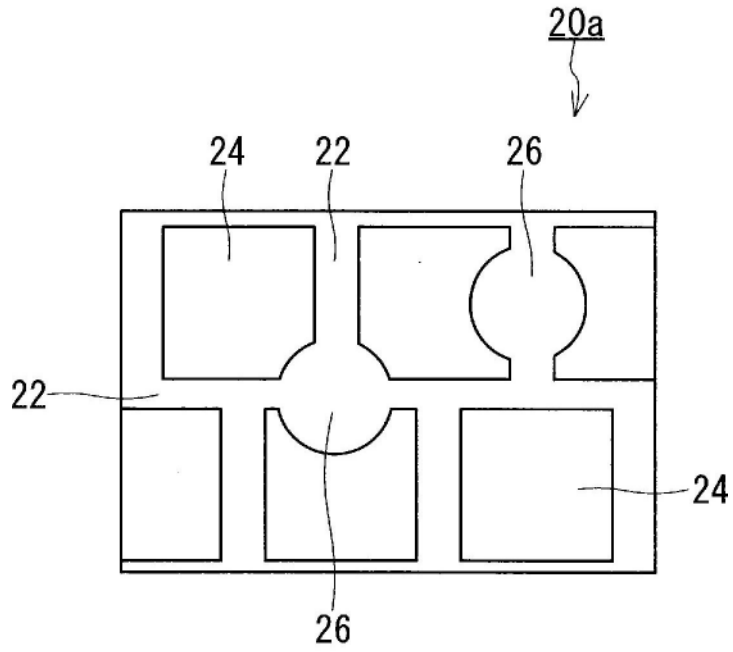


图7

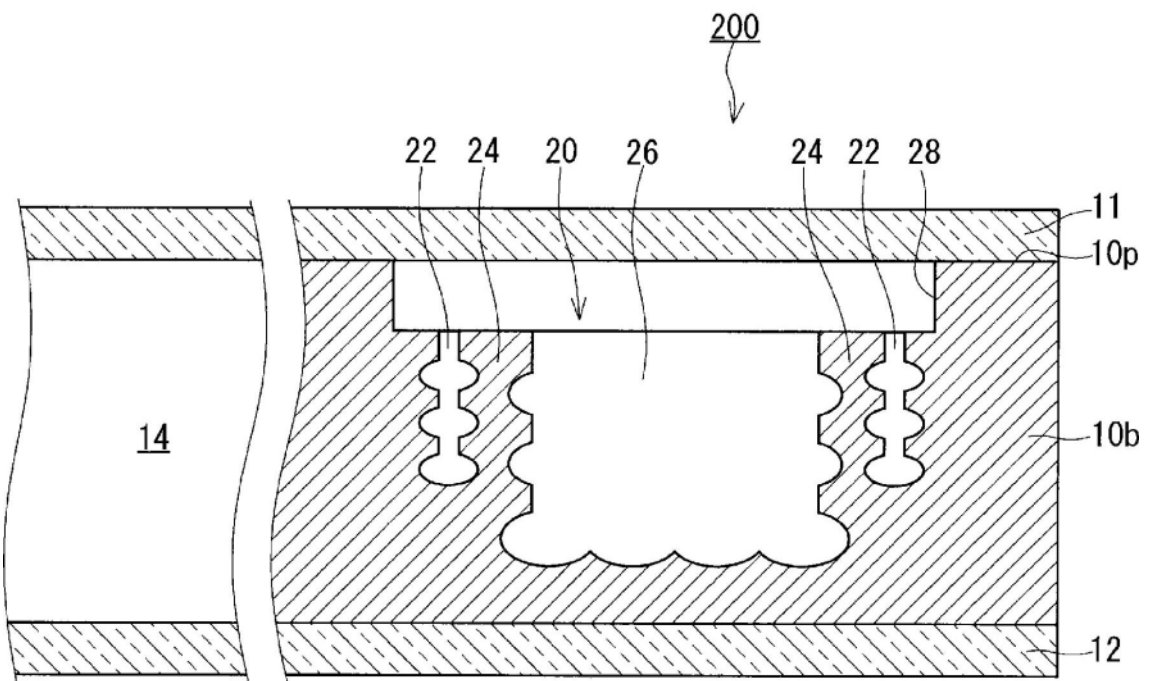


图8A

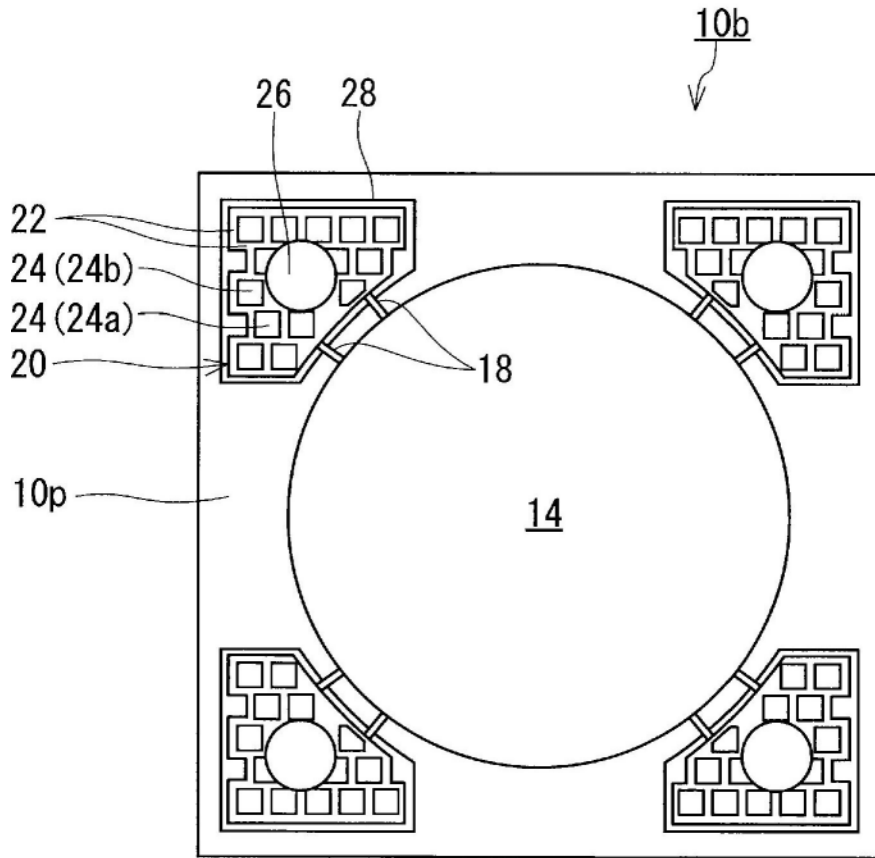


图8B

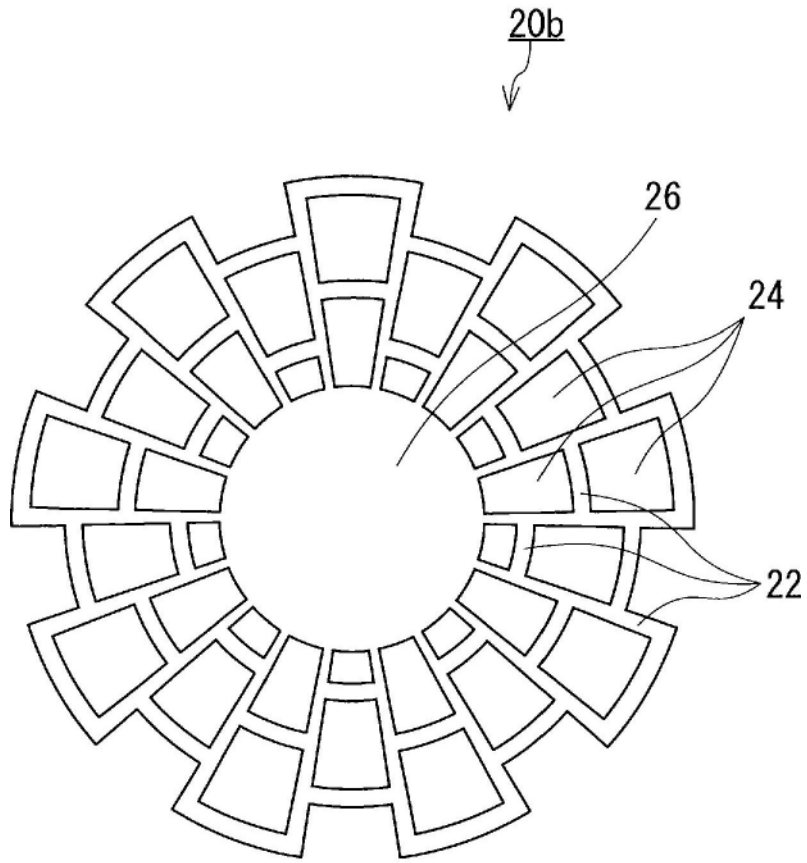


图9