



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102822720 B

(45) 授权公告日 2014. 11. 26

(21) 申请号 201180017455. 9

(22) 申请日 2011. 03. 15

(30) 优先权数据

2010-078214 2010. 03. 30 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 09. 29

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2011/055996 2011. 03. 15

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/122324 JA 2011. 10. 06

(73) 专利权人 奥林巴斯株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 若井浩志

(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 于靖帅

(51) Int. Cl.

G02B 26/00 (2006. 01)

G01B 7/30 (2006. 01)

G01J 3/26 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 2276676 Y, 1998. 03. 18, 全文.

CN 1701255 A, 2005. 11. 23, 全文.

CN 1708449 A, 2005. 12. 14, 全文.

JP 特开 2008-129149 A, 2008. 06. 05, 全文.

EP 2120082 A1, 2009. 11. 18, 全文.

CN 1910110 A, 2007. 02. 07, 全文.

审查员 杨钊

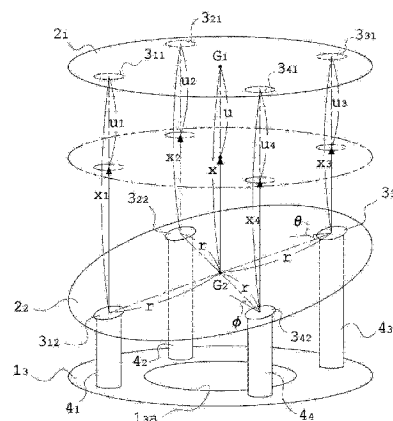
权利要求书2页 说明书11页 附图8页

(54) 发明名称

可变分光元件

(57) 摘要

第1传感器(3₁)与第3传感器(3₃)、第2传感器(3₂)与第4传感器(3₄)被配置在以连接一对光学基板(2)的相对的面重心的线为轴而对称的位置处,第1~第4致动器(4₁~4₄)分别配置在从一对光学基板(2)的相对的面重心向第1~第4传感器(3₁~3₄)各自的中心方向延伸的线的线上,该可变分光元件具有控制部,该控制部根据第1~第4传感器(3₁~3₄)的信号计算一对光学基板(2)的相对的面重心彼此之间的间隔(x),根据第1传感器(3₁)的信号和第3传感器(3₃)的信号计算移动的光学基板的相对的面和与连接重心的线垂直的面所成的第1角度(θ),根据第2传感器(3₂)的信号和第4传感器(3₄)的信号计算移动的光学基板的相对的面和与连接重心的线垂直的面所成的第2角度(ϕ),根据间隔(x)、角度(θ 和 ϕ)对第1~第4致动器(4₁~4₄)进行驱动,对间隔(x)、角度(θ 和 ϕ)进行FB控制和FF控制。



1. 一种可变分光元件,其具有:一对光学基板,它们隔着间隔相对地配置;第1至第4静电电容传感器,它们各自具有分别配置于所述一对光学基板的相对的面上的的一对电极部,检测各自的配置位置处的所述一对光学基板的相对的面彼此之间的面间隔;以及第1至第4致动器,它们使所述一对光学基板中的至少一方相对于另一方进行相对移动,改变所述一对光学基板的相对的面彼此之间的面间隔,该可变分光元件的特征在于,

所述第1静电电容传感器和所述第3静电电容传感器被配置在以连接所述一对光学基板的相对的面各自的重心的线为轴而对称的位置处,

所述第2静电电容传感器和所述第4静电电容传感器被配置在以连接所述一对光学基板的相对的面各自的重心的线为轴而对称的位置处,

所述第1至第4致动器分别被配置在从所述一对光学基板的相对的面各自的重心向所述第1至第4静电电容传感器各自的中心方向延伸的线上,

该可变分光元件具有控制部,该控制部根据所述第1至第4静电电容传感器的信号,计算所述一对光学基板的相对的面各自的重心彼此之间的间隔,根据所述第1静电电容传感器的信号和所述第3静电电容传感器的信号,计算与连接所述重心的线垂直的面和移动的所述光学基板的所述相对的面所成的第1角度,根据所述第2静电电容传感器的信号和所述第4静电电容传感器的信号,计算与连接所述重心的线垂直的面和移动的所述光学基板的所述相对的面所成的第2角度,根据所述重心彼此之间的间隔和所述第1角度,对所述第1和第3致动器进行驱动,根据所述重心彼此之间的间隔和所述第2角度,对所述第2和第4致动器进行驱动,对所述重心彼此之间的间隔、所述第1角度和所述第2角度进行反馈控制,并且对所述重心彼此之间的间隔、所述第1角度或所述第2角度中的至少一个进行前馈控制。

2. 根据权利要求1所述的可变分光元件,其特征在于,

所述反馈控制是PID控制,

所述前馈控制是输出用所述致动器的弹簧常数除以所述可变分光元件的移动部分的质量而得的值来除如下各值的和而得的值作为输出值的控制,上述各值是指:对输入值进行了二阶微分后的值;对输入值的微分值乘以所述致动器的衰减常数并除以所述可变分光元件的移动部分的质量而得的值;以及对输入值乘以所述致动器的弹簧常数并除以所述可变分光元件的移动部分的质量而得的值。

3. 根据权利要求2所述的可变分光元件,其特征在于,

所述反馈控制是PID控制,

所述前馈控制是对于输入值P输出如下的输出值的控制

$$y(t) = (d^2P/dt^2 + B \cdot dP/dt + C \cdot P) / A,$$

其中, $A = 4k/m$, k 是所述致动器的弹簧常数, m 是所述可变分光元件的移动部分的质量, $B = 4c/m$, c 是在设所述致动器的弹簧常数为 k 、并且设所述可变分光元件的移动部分的质量为 m 而输入了信号的情况下根据所述可变分光元件的移动部分的振动衰减而求出的常数, $C = 4k/m$ 。

4. 一种可变分光元件,其具有:一对光学基板,它们隔着间隔相对地配置;第1至第4静电电容传感器,它们各自具有分别配置于所述一对光学基板的相对的面上的的一对电极部,检测各自的配置位置处的所述一对光学基板的相对的面彼此之间的面间隔;以及第1

至第 4 致动器,它们使所述一对光学基板中的至少一方相对于另一方进行相对移动,改变所述一对光学基板的相对的面彼此之间的面间隔,该可变分光元件的特征在于,

所述第 1 静电电容传感器和所述第 3 静电电容传感器被配置在以连接所述一对光学基板的相对的面各自的重心的线为轴而对称的位置处,

所述第 2 静电电容传感器和所述第 4 静电电容传感器被配置在以连接所述一对光学基板的相对的面各自的重心的线为轴而对称的位置处,

以连接所述一对光学基板的相对的面各自的重心的线为轴,从沿着该轴的方向看,所述第 1 至第 4 静电电容传感器和所述第 1 至第 4 致动器交替地、等角度地配置,

该可变分光元件具有控制部,该控制部根据所述第 1 至第 4 静电电容传感器的信号,计算所述一对光学基板的相对的面各自的重心彼此之间的间隔,使用根据所述第 1 至第 4 静电电容传感器的信号求出的第 1 和第 3 致动器的配置位置处的所述一对光学基板的相对的面彼此之间的面间隔的值,计算与连接所述重心的线垂直的面和移动的所述光学基板的所述相对的面所成的第 1 角度,使用根据所述第 1 至第 4 静电电容传感器的信号求出的第 2 和第 4 致动器的配置位置处的所述一对光学基板的相对的面彼此之间的面间隔的值,计算与连接所述重心的线垂直的面和移动的所述光学基板的所述相对的面所成的第 2 角度,根据所述重心彼此之间的间隔、所述第 1 角度和所述第 2 角度,对所述第 1 至第 4 致动器进行驱动,对所述重心彼此之间的间隔、所述第 1 角度和所述第 2 角度进行反馈控制,并且对所述重心彼此之间的间隔、所述第 1 角度或所述第 2 角度中的至少一个进行前馈控制。

可变分光元件

技术领域

[0001] 本发明涉及可变分光元件。

背景技术

[0002] 以往,作为可变分光元件,公知的是具有标准具(etalon)装置和控制部,其中,该可变分光元件利用压电元件这样的致动器,使隔着空间相对配置的一对光学基板中的任意一方或者双方移动,由此能够改变这些光学基板的相对的面或者形成于这些面上的反射膜彼此之间的面间隔(以下,统称为“光学基板的面间隔”),从而改变光学特性(例如,参照日本特开 2008 — 129149。)。

[0003] 另外,在这样的可变分光元件中,为了使光学基板的面间隔成为期望的间隔,在相对的面上配置了用于测定该面间隔的静电电容传感器,利用该静电电容传感器按照预定的采样周期测定当前的面间隔,并对测定的面间隔和期望的面间隔进行比较,根据其比较结果对致动器进行驱动,进行面间隔的调整(例如,参照日本特开平 6 — 241899。)。

发明内容

[0004] 但是,对于日本特开 2008 — 129149 和日本特开平 6 — 241899 所记载的那样的可变分光元件而言,例如,在像把该可变分光元件用到取得分光特性连续变化的画像的分光内窥镜装置等中时那样,必须连续且高速地改变光学特性的情况下,必须要在取得画像的采样周期的 1 帧这样极短的时间内,控制致动器改变光学基板的面间隔。

[0005] 并且,由于专利文献 1、2 所记载的那样的可变分光元件的光学特性受到一对光学基板的相对的面或者形成在这些面上的反射膜彼此的平行度的影响很大,所以致动器的控制必须要准确。

[0006] 但是,在像日本特开 2008 — 129149 和日本特开平 6 — 241899 所记载的可变分光元件那样,欲根据来自 4 个静电电容传感器的输出值来控制光学基板的面间隔和相对的面的平行度的情况下,需要考虑致动器彼此之间的相互干扰来控制 4 个致动器。并且,由于这样的运算处理十分复杂,所以在控制上耗费时间,存在无法实现光学特性的高速变化的问题。

[0007] 本发明正是鉴于这样的现有技术的问题点而完成的,其目的在于,提供一种能够高速且准确地改变光学特性的可变分光元件。

[0008] 为了实现上述目的,本发明的可变分光元件具有:一对光学基板,它们隔着间隔相对地配置;第 1 至第 4 静电电容传感器,它们各自具有分别配置于所述一对光学基板的相对的面上的一对电极部,检测各自的配置位置处的所述一对光学基板的相对的面彼此之间的面间隔;以及第 1 至第 4 致动器,它们使所述一对光学基板中的至少一方相对于另一方进行相对移动,改变所述一对光学基板的相对的面彼此之间的面间隔,该可变分光元件的特征在于,所述第 1 静电电容传感器和所述第 3 静电电容传感器被配置在以连接所述一对光学基板的相对的面各自的重心的线为轴而对称的位置处,所述第 2 静电电容传感器和所述第

4 静电电容传感器被配置在以连接所述一对光学基板的相对的面各自的重心的线为轴而对称的位置处,所述第 1 至第 4 致动器分别被配置在从所述一对光学基板的相对的面各自的重心向所述第 1 至第 4 静电电容传感器各自的中心方向延伸的线上,该可变分光元件具有控制部,该控制部根据所述第 1 至第 4 静电电容传感器的信号,计算所述一对光学基板的相对的面各自的重心彼此之间的间隔,根据所述第 1 静电电容传感器的信号和所述第 3 静电电容传感器的信号,计算与连接所述重心的线垂直的面和移动的所述光学基板的所述相对的面所成的第 1 角度,根据所述第 2 静电电容传感器的信号和所述第 4 静电电容传感器的信号,计算与连接所述重心的线垂直的面和移动的所述光学基板的所述相对的面所成的第 2 角度,根据所述重心彼此之间的间隔和所述第 1 角度,对所述第 1 和第 3 致动器进行驱动,根据所述重心彼此之间的间隔和所述第 2 角度,对所述第 2 和第 4 致动器进行驱动,对所述重心彼此之间的间隔、所述第 1 角度和所述第 2 角度进行反馈控制,并且对所述重心彼此之间的间隔、所述第 1 角度或所述第 2 角度中的至少一个进行前馈控制。

[0009] 此外,本发明的可变分光元件优选的是,所述反馈控制是 PID 控制,所述前馈控制是输出用所述致动器的弹簧常数除以所述可变分光元件的移动部分的质量而得的值来除如下各值的和而得的值作为输出值的控制,上述各值是指:对输入值进行了二阶微分后的值;对输入值的微分值乘以所述致动器的衰减常数并除以所述可变分光元件的移动部分的质量而得的值;以及对输入值乘以所述致动器的弹簧常数并除以所述可变分光元件的移动部分的质量而得的值。

[0010] 具体而言,优选的是,所述反馈控制是 PID 控制,所述前馈控制是对于输入值 P 输出如下的输出值的控制

[0011] $y(t) = (d^2P/dt^2 + B \cdot dP/dt + C \cdot P) / A,$

[0012] 其中, $A=4k/m$ (k 是所述致动器的弹簧常数、 m 是所述可变分光元件的移动部分的质量), $B=4c/m$ (c 是设所述致动器的弹簧常数为 k 、设所述可变分光元件的移动部分的质量为 m 而输入了信号的情况下根据所述可变分光元件的移动部分的振动衰减而求出的常数), $C=4k/m$ 。

[0013] 此外,为了实现上述目的,本发明的可变分光元件具有:一对光学基板,它们隔着间隔相对地配置;第 1 至第 4 静电电容传感器,它们各自具有分别配置于所述一对光学基板的相对的面上的—对电极部,检测各自的配置位置处的所述一对光学基板的相对的面彼此之间的面间隔;以及第 1 至第 4 致动器,它们使所述一对光学基板中的至少一方相对于另一方进行相对移动,改变所述一对光学基板的相对的面彼此之间的面间隔,该可变分光元件的特征在于,所述第 1 静电电容传感器和所述第 3 静电电容传感器被配置在以连接所述一对光学基板的相对的面各自的重心的线为轴而对称的位置处,所述第 2 静电电容传感器和所述第 4 静电电容传感器被配置在以连接所述一对光学基板的相对的面各自的重心的线为轴而对称的位置处,以连接所述一对光学基板的相对的面各自的重心的线为轴,从沿着该轴的方向看,所述第 1 至第 4 静电电容传感器和所述第 1 至第 4 致动器交替地、等角度地配置,该可变分光元件具有控制部,该控制部根据所述第 1 至第 4 静电电容传感器的信号,计算所述一对光学基板的相对的面各自的重心彼此之间的间隔,使用根据所述第 1 至第 4 静电电容传感器的信号求出的第 1 和第 3 致动器的配置位置处的所述一对光学基板的相对的面彼此之间的面间隔的值,计算与连接所述重心的线垂直的面和移动的所述光学基板的

所述相对的面所成的第 1 角度,使用根据所述第 1 至第 4 静电电容传感器的信号求出的第 2 和第 4 致动器的配置位置处的所述一对光学基板的相对的面彼此之间的面间隔的值,计算与连接所述重心的线垂直的面和移动的所述光学基板的所述相对的面所成的第 2 角度,根据所述重心彼此之间的间隔、所述第 1 角度和所述第 2 角度,对所述第 1 至第 4 致动器进行驱动,对所述重心彼此之间的间隔、所述第 1 角度和所述第 2 角度进行反馈控制,并且对所述重心彼此之间的间隔、所述第 1 角度或所述第 2 角度中的至少一个进行前馈控制。

[0014] 根据本发明,可提供一种能够高速且准确地改变光学特性的可变分光元件。

附图说明

[0015] 图 1 是示出实施例 1 的可变分光元件的标准具装置的剖视图。

[0016] 图 2 是图 1 的标准具装置的俯视图。

[0017] 图 3 是示出图 1 的标准具装置的一对光学基板和四个压电元件的动作的示意图。

[0018] 图 4 是示出实施例 1 的可变分光元件的控制电路的框图。

[0019] 图 5 是示出实施例 1 的可变分光元件的控制部所进行的运算的框图。

[0020] 图 6 是示出图 1 的标准具装置的响应特性的曲线图,图 6A 是通过以往的可变分光元件进行控制时的曲线图,图 6B 是通过本实施例的可变分光元件进行控制时的曲线图。

[0021] 图 7 是示出图 1 的标准具装置的响应特性的曲线图,图 7A 是仅进行反馈控制时的曲线图,图 7B 是进行反馈控制和前馈控制时的曲线图。

[0022] 图 8 是示出图 1 的标准具装置的第 1 变形例的俯视图。

[0023] 图 9 是示出图 1 的标准具装置的第 2 变形例的俯视图。

[0024] 图 10 是示出图 1 的标准具装置的第 3 变形例的俯视图。

[0025] 图 11 是示出图 1 的标准具装置的第 4 变形例的剖视图。

[0026] 图 12 是示出实施例 2 的可变分光元件的标准具装置的剖视图。

[0027] 图 13 是图 12 的标准具装置的俯视图。

具体实施方式

[0028] 下面,使用附图对本发明的实施例进行详细说明。

[0029] 实施例 1

[0030] 使用图 1 ~ 图 7,对本发明的可变分光元件的第 1 实施例进行说明,之后,使用图 8 ~ 图 11 对 4 个变形例进行说明。

[0031] 图 1 是示出本实施例的可变分光元件的标准具装置的剖视图。图 2 是图 1 的标准具装置的俯视图。图 3 是示出图 1 的标准具装置的一对光学基板和四个压电元件的动作的示意图。图 4 是示出本实施例的可变分光元件的控制电路的框图。图 5 是示出实施例 1 的可变分光元件的控制部所进行的运算的框图。图 6 是示出图 1 的标准具装置的响应特性的曲线图,图 6A 是通过以往的可变分光元件进行控制时的曲线图,图 6B 是通过本实施例的可变分光元件进行控制时的曲线图。图 7 是示出图 1 的标准具装置的响应特性的曲线图,图 7A 是仅进行反馈控制时的曲线图,图 7B 是进行反馈控制和前馈控制时的曲线图。图 8 是示出图 1 的标准具装置的第 1 变形例的俯视图。图 9 是示出图 1 的标准具装置的第 2 变形例的俯视图。图 10 是示出图 1 的标准具装置的第 3 变形例的俯视图。图 11 是示出图 1 的标

准具装置的第 4 变形例的剖视图。

[0032] 本实施例的可变分光元件由图 1 和图 2 所示的标准具装置和未图示的控制部构成。

[0033] 首先,使用图 1 和图 2 对该可变分光元件的标准具装置进行说明。

[0034] 如图 1 和图 2 所示,该标准具装置在外框 1 的内部具有:一对光学基板 2;静电电容传感器,其是一对光学基板 2 的相对的面彼此之间的面间隔的测定单元;以及压电元件,其是用于使一对光学基板 2 中的一个基板移动的致动器,它的驱动由未图示的控制部进行控制。

[0035] 外框 1 是通过在筒状部件 1_1 的端面的一方安装环状部件 1_2 、并在另一方安装环状部件 1_3 而构成的。

[0036] 另外,环状部件 1_2 、 1_3 在其大致中央部,形成有圆形的开口部 1_{2a} 、 1_{3a} ,在该标准具装置中,光通过该开口部 1_{2a} 、 1_{3a} 。

[0037] 一对光学基板 2 由固定基板 2_1 和可动基板 2_2 构成,该固定基板 2_1 和可动基板 2_2 被配置成彼此相对的面隔着空间相互平行。它们之中,固定基板 2_1 是在外框 1 的内部中以横切通过开口部 1_{2a} 、 1_{3a} 的光轴的方式,固定在外框 1 的环状部件 1_2 上的圆板状光学部件。另一方面,可动基板 2_2 是以横切通过开口部 1_{2a} 、 1_{3a} 的光的方式,保持于压电元件的圆板状光学部件。

[0038] 关于这样的一对光学基板 2,可动基板 2_2 在沿着通过开口部 1_{2a} 、 1_{3a} 的光轴的方向上,即,在沿着连接一对光学基板的相对的面各自的重心的线的方向上,在压电元件的作用下进行移动,由此,能够使相对的面间隔发生变化。

[0039] 第 1 静电电容传感器 3_1 、第 2 静电电容传感器 3_2 、第 3 静电电容传感器 3_3 、以及第 4 静电电容传感器 3_4 分别由一对电极 3_{11} 和 3_{12} 、 3_{21} 和 3_{22} 、 3_{31} 和 3_{32} 、 3_{41} 和 3_{42} 构成。并且,这一对电极以彼此相对的方式,配置在一对光学基板 2 的相对的面上不遮挡通过外框 1 的开口部 1_{2a} 、 1_{3a} 的光的位置处。

[0040] 另外,这些静电电容传感器利用电极间的静电电容与面间隔成反比地变化的特性。并且,在该标准具装置中,将由这些静电电容传感器取得的值变换为光学基板 2 的面间隔值而输出到未图示的控制部。

[0041] 第 1 压电元件 4_1 、第 2 压电元件 4_2 、第 3 压电元件 4_3 、以及第 4 压电元件 4_4 分别在外框 1 的内部以不遮挡通过开口 1_{2a} 、 1_{3a} 的光的方式,固定在外框 1 的环状部件 1_3 上。

[0042] 并且,从沿着连接一对光学基板 2 的相对的面各自的重心的线的方向看,第 1 压电元件 4_1 配置在与第 1 静电电容传感器 3_1 重叠的位置,第 2 压电元件 4_2 配置在与第 2 静电电容传感器 3_2 重叠的位置,第 3 压电元件 4_3 配置在与第 3 静电电容传感器 3_3 重叠的位置,第 4 压电元件 4_4 配置在与第 4 静电电容传感器 3_4 重叠的位置。

[0043] 另外,从沿着连接一对光学基板 2 的相对的面各自的重心的线的方向看,第 1 静电电容传感器 3_1 及第 1 压电元件 4_1 、与第 3 静电电容传感器 3_3 及第 3 压电元件 4_3 配置在以该连接重心的线为轴而对称的位置。

[0044] 另一方面,从沿着连接一对光学基板 2 的相对的面各自的重心的线的方向看,第 2 静电电容传感器 3_2 及第 2 压电元件 4_2 、与第 4 静电电容传感器 3_4 及第 4 压电元件 4_4 配置在以该连接重心的线为轴而对称的位置。

[0045] 即,从沿着连接一对光学基板 2 的相对的面各自的重心的线的方向看,第 1 静电电容传感器 3_1 及第 1 压电元件 4_1 、第 2 静电电容传感器 3_2 及第 2 压电元件 4_2 、第 3 静电电容传感器 3_3 及第 3 压电元件 4_3 、以及第 4 静电电容传感器 3_4 及第 4 压电元件 4_4 等间隔地进行配置。

[0046] 接着,使用图 3 对本实施例的可变分光元件的标准具装置中的可动基板 2_2 的动作及其控制进行说明。

[0047] 如图 3 所示,在相对于固定基板 2_1 移动可动基板 2_2 而欲使一对光学基板 2 的面间隔成为 x_0 的情况下,在以往的标准具装置中,为了使一对光学基板 2 的面间隔成为目标值 x_0 ,根据第 1 静电电容传感器 3_1 的输出值驱动第 1 压电元件 4_1 ,使得第 1 静电电容传感器 3_1 的配置位置处的面间隔成为目标值 x_0 ,同样,根据第 2 静电电容传感器 3_2 的输出值驱动第 2 压电元件 4_2 ,根据第 3 静电电容传感器 3_3 的输出值驱动第 3 压电元件 4_3 ,根据第 4 静电电容传感器 3_4 的输出值驱动第 4 压电元件 4_4 。

[0048] 但是,在这样的控制中,例如,即使准确地驱动第 1 压电元件 4_1 而使第 1 静电电容传感器 3_1 的配置位置处的一对光学基板 2 的面间隔成为目标值 x_0 ,有时也会由于之后的与第 1 压电元件 4_1 相邻地配置的第 2 压电元件 4_2 和第 4 压电元件 4_4 进行驱动时产生的干扰,导致面间隔相对于目标值 x_0 发生变化。

[0049] 因此,作为其消除方法,有采用了 PID 控制(Proportional Integral Derivative Control:比例-积分-微分控制)等反馈控制的方法,但是在该情况下,需要较长的时间才能使光学基板的面间隔成为目标值 x_0 。

[0050] 另外,作为其他的消除方法,有这样的方法:针对各压电元件,给出了事前计算其他压电元件等引起的干扰而得到的值,作为指令值。但是,该指令值的计算非常复杂,因此,同样需要较长的时间才能使一对光学基板 2 的面间隔成为目标值 x_0 。

[0051] 因此,在本实施例的可变分光元件中,将第 1~第 4 静电电容传感器 3_1 、 3_2 、 3_3 、 3_4 的 4 个输出值变换为 3 个参数来进行运算,控制第 1~第 4 压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 的驱动。

[0052] 这里,使用图 3~图 5 对本实施例的可变分光元件的控制部所进行的运算进行详细说明。

[0053] 在本实施例的可变分光元件的控制部中,如图 4 所示,进行了组合反馈控制和前馈控制的组合控制。另外,构成为在反馈控制中根据指令值和传感器输出值决定输出值,在前馈控制中仅根据指定值决定输出值。是因为除了反馈控制以外,还组合前馈控制,由此与仅使用反馈控制的情况相比,能够进一步缩短光学基板的面间隔收敛的时间。

[0054] 首先,对在本实施例的可变分光元件的控制部中进行的反馈控制进行详细说明。

[0055] 在本实施例的可变分光元件中,如图 3 所示,在相对于固定基板 2_1 移动可动基板 2_2 而欲使一对光学基板 2 的面间隔成为 x_0 的情况下,首先,如图 5 所示,经由目标值输入部 5_1 ,向控制部输入固定基板 2_1 的相对的面重心 G_1 与可动基板 2_2 的相对的面重心 G_2 之间的间隔的目标值 x_0 、以及将这些重心彼此相连的线垂直的面和可动基板 2_2 的相对的面所成的第 1 角度的目标值 θ_0 和第 2 角度的目标值 ϕ_0 。

[0056] 接着,传感器输出变换部 5_2 取得由第 1~第 4 静电电容传感器 3_1 、 3_2 、 3_3 、 3_4 测定的各静电电容传感器的配置位置处的光学基板的面间隔 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 ,并且,将这些面间隔 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 变换为重心 G_1 与重心 G_2 之间的间隔的当前值 x 、第 1 角度的当前值 θ 和第 2 角度

的当前值 φ 。

[0057] 具体而言,通过下式求出一对光学基板 2 的相对的面各自的重心彼此之间的间隔 x 。

$$[0058] \quad x = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) / 4$$

[0059] 另外,关于与连接一对光学基板 2 的相对的面重心的线垂直的面和可动基板 2₂ 的与固定基板 2₁ 相对的面所成的第 1 角度 θ 和第 2 角度 φ ,使用作为已知值的从可动基板 2₂ 的相对的面重心 G_2 到第 1 ~ 第 4 静电电容传感器 3₁、3₂、3₃、3₄ 的电极 3₁₂、3₂₂、3₃₂、3₄₂ 的中心的、可动基板 2₂ 的相对的面上的距离 r_{31} 、 r_{32} 、 r_{33} 、 r_{34} ,下式成立。

$$[0060] \quad \sin \theta = (x_3 - x_1) / (r_{31} + r_{33})$$

$$[0061] \quad \sin \varphi = (x_4 - x_2) / (r_{32} + r_{34})$$

[0062] 另外,本实施例中,

$$[0063] \quad r_{31} = r_{32} = r_{33} = r_{34} = r,$$

[0064] 由于第 1 角度 θ 和第 2 角度 φ 都是足够小的值,因此,通过下式求出第 1 角度 θ 和第 2 角度 φ 。

$$[0065] \quad \theta = (x_3 - x_1) / 2r$$

$$[0066] \quad \varphi = (x_4 - x_2) / 2r$$

[0067] 接着,在差分值计算部 5₃ 中,计算经由目标值输入部 5₁ 输入的目标值 x_0 、 θ_0 和 φ_0 与传感器输出变换部 5₂ 进行变换后的 x 、 θ 、 φ 之间的各自的差分值 e_x 、 e_θ 、 e_φ 。

[0068] 接着,在指令值计算部 5₄ 中,根据由差分值计算部 5₃ 计算出的差分值 e_x 、 e_θ 、 e_φ 进行 PID 控制,求出指令值 x_c 、 θ_c 、 φ_c 。

[0069] 接着,在指令值变换部 5₅ 中,将指令值计算部 5₄ 求出的指令值 x_c 、 θ_c 、 φ_c 变换为分别针对第 1 ~ 第 4 压电元件 4₁、4₂、4₃、4₄ 的指令值 x_{c1} 、 x_{c2} 、 x_{c3} 、 x_{c4} 。指令值 x_{c1} 、 x_{c2} 、 x_{c3} 、 x_{c4} 被输入到驱动各自所对应的第 1 ~ 第 4 压电元件 4₁、4₂、4₃、4₄ 的未图示的压电元件驱动器,该压电元件驱动器对第 1 ~ 第 4 压电元件 4₁、4₂、4₃、4₄ 分别施加驱动电压。

[0070] 另外,关于分别针对第 1 ~ 第 4 压电元件 4₁、4₂、4₃、4₄ 的指令值 x_{c1} 、 x_{c2} 、 x_{c3} 、 x_{c4} ,使用作为已知值的从可动基板 2₂ 的相对的面重心 G_2 到第 1 ~ 第 4 压电元件 4₁、4₂、4₃、4₄ 的中心的、可动基板 2₂ 的相对的面上的距离 r_{41} 、 r_{42} 、 r_{43} 、 r_{44} ,下式成立。

$$[0071] \quad x_{c1} = x_c - r_{41} \sin \theta_c$$

$$[0072] \quad x_{c2} = x_c - r_{42} \sin \varphi_c$$

$$[0073] \quad x_{c3} = x_c + r_{43} \sin \theta_c$$

$$[0074] \quad x_{c4} = x_c + r_{44} \sin \varphi_c$$

[0075] 另外,在本实施例中,

$$[0076] \quad r_{41} = r_{42} = r_{43} = r_{44} = r,$$

[0077] 由于与第 1 角度相关的指令值 θ_c 以及与第 2 角度相关的指令值 φ_c 都是足够小的值,因此,通过下式来求出分别针对第 1 ~ 第 4 压电元件 4₁、4₂、4₃、4₄ 的指令值 x_{c1} 、 x_{c2} 、 x_{c3} 、 x_{c4} 。

$$[0078] \quad x_{c1} = x_c - r \theta_c$$

$$[0079] \quad x_{c2} = x_c - r \varphi_c$$

$$[0080] \quad x_{c3} = x_c + r \theta_c$$

[0081] $x_{c4}=x_c+I\phi_c$

[0082] 之后,利用压电元件驱动器根据分别针对第1~第4压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 的指令值 x_{c1} 、 x_{c2} 、 x_{c3} 、 x_{c4} 而施加的电压,对第1~第4压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 进行驱动,使可动基板 2_2 移动,改变一对光学基板2的面间隔 x 。

[0083] 图6是示出与在可变分光元件中进行了反馈控制时的标准具装置的响应特性有关的实验结果的曲线图。另外,纵轴是一对光学基板的面间隔(nm),横轴是时间(sec:秒),图6A是以往的可变分光元件的实验结果,图6B是本实施例的可变分光元件的实验结果。另外,在该实验中,如虚线所示,每隔0.02秒对目标值进行切换而输入信号。

[0084] 根据该图6也可以看出,本实施例的可变分光元件与以往的可变分光元件相比,一对光学基板的面间隔收敛的时间非常短。因此,本发明的可变分光元件即使在连续且高速地改变光学特性情况下,也能够准确地改变光学特性。

[0085] 接着,对在本实施例的可变分光元件的控制部中进行的前馈控制进行详细说明。

[0086] 在本实施例的可变分光元件的标准具装置中,由第1~第4压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 支撑的可动基板 2_2 进行相对于沿着连接一对光学基板的重心彼此之间的线的方向的平移运动、与第1角度 θ 有关的旋转运动和与第2角度 ϕ 有关的旋转运动这3个自由度的三维运动。

[0087] 并且,相对于这些各个运动,标准具装置具有根据其质量和材质而求出的固有的特性。因此,首先对标准具装置相对于各运动的特性进行说明。

[0088] 在求出作为与标准具装置的平移运动有关的特性的传递函数 G_x 的情况下,首先,为了容易进行控制的考察,将可变分光元件的移动部分的质量设为 m ,将第1~第4压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 分别与具有弹簧常数 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 的弹簧和具有衰减常数 c_{x1} 、 c_{x2} 、 c_{x3} 、 c_{x4} 的阻尼器进行结合,对标准具装置进行模型化。

[0089] 另外,质量 m 是根据相对于标准具装置的外框1移动的第1~第4压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 的质量和可动基板 2_2 的质量决定的值,弹簧常数 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 是能够利用基于第1~第4压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 和可动基板 2_2 的构造及材质的材料分析的仿真求出的常数,衰减常数 c_{x1} 、 c_{x2} 、 c_{x3} 、 c_{x4} 是能够根据质量 m 、弹簧常数 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 以及输入了信号时的可动基板 2_2 以及第1~第4压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 的振动状态求出的常数。

[0090] 在根据该模型建立关于平移运动的运动方程式时,成为

[0091] $m\ddot{x}=F_x=f_1+f_2+f_3+f_4$ 。

[0092] 另外, $\ddot{x}$ 是质量 m 的重心处于距固定端为 x 的距离处时的平移运动的加速度, F_x 是质量 m 的重心处于距固定端为 x 的距离处时的平移运动对质量 m 施加的力的大小, f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 分别是由第1~第4压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 各自产生的力的大小。

[0093] 此处,在设一对光学基板2的面间隔的目标值为 u 时,分别由第1~第4压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 施加到质量 m 的力 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 成为

[0094] $f_1=k_1(u_1-x_1)-c_{x1}\dot{x}_1$,

[0095] $f_2=k_2(u_2-x_2)-c_{x2}\dot{x}_2$,

[0096] $f_3=k_3(u_3-x_3)-c_{x3}\dot{x}_3$,

[0097] $f_4=k_4(u_4-x_4)-c_{x4}\dot{x}_4$ 。

[0098] 另外, u_1 、 u_2 、 u_3 、 u_4 是一对光学基板2的面间隔的目标值为 u 时从固定端到第1~

第 4 压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 的沿着平移运动的方向的距离, x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 是从固定端到可动基板 2_2 的第 1 ~ 第 4 压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 的配置位置的关于沿着平移运动的方向的距离, x_1' 、 x_2' 、 x_3' 、 x_4' 是可动基板 2_2 的第 1 ~ 第 4 压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 的配置位置处的关于平移运动的速度。

[0099] 此时,在本实施例的可变分光元件的标准具装置中,

$$[0100] \quad k_1=k_2=k_3=k_4=k$$

$$[0101] \quad c_{x1}=c_{x2}=c_{x3}=c_{x4}=c_x,$$

[0102] 因此成为

$$[0103] \quad f_1=k(u_1-x_1)-c_x x_1',$$

$$[0104] \quad f_2=k(u_2-x_2)-c_x x_2',$$

$$[0105] \quad f_3=k(u_3-x_3)-c_x x_3',$$

$$[0106] \quad f_4=k(u_4-x_4)-c_x x_4'。$$

[0107] 此外, x 与从固定端到可动基板 2_2 的重心 G_2 的距离相等,因此

$$[0108] \quad x=(x_1+x_2+x_3+x_4)/4,$$

[0109] x' 与从固定端到可动基板 2_2 的重心 G_2 处于距离 x 时的速度相等,因此成为

$$[0110] \quad x'=(x_1'+x_2'+x_3'+x_4')/4。$$

[0111] 并且,对这些进行总结时,成为

$$[0112] \quad mx''=F_x=ku_1+ku_2+ku_3+ku_4-4kx-4c_x x'。$$

[0113] 此处,

$$[0114] \quad \text{作为 } u=(u_1+u_2+u_3+u_4)/4$$

[0115] 进行拉普拉斯变换时,成为

$$[0116] \quad s^2 X=4k/m \cdot U_{1 \sim 4}-4k/m \cdot X-4c_x/m \cdot sX,$$

[0117] 关于平移运动的传递函数 G_x 成为

$$[0118] \quad G_x=X/U_{1 \sim 4}$$

$$[0119] \quad =(4k/m)/(s^2+4c_x/m \cdot s+4k/m)$$

$$[0120] \quad =A_x/(s^2+B_x s+C_x)。$$

[0121] 另外, $A_x=4k/m$ (k 是致动器的弹簧常数、 m 是标准具装置的移动部分的质量) 是表示标准具装置的输入输出特性的灵敏度的参数。 $B_x=4c_x/m$ (c_x 是根据将弹簧常数设为 k 、将质量设为 m 时输入了信号时的可动基板的振动衰减而求出的常数) 是表示衰减特性的参数, 该参数值越大衰减特性越好, 越能够抑制振动。 $C_x=4k/m$ 是与振动的频率关联的参数, 该参数值越大振动周期越短, 上升越高速。

[0122] 同样, 作为关于标准具装置的与第 1 角度 θ 有关的旋转运动的特性的传递函数 G_θ 、作为关于与第 2 角度 ϕ 有关的旋转运动的特性的传递函数 G_ϕ 成为

$$[0123] \quad G_\theta=\Theta/U_{1,3}$$

$$[0124] \quad =(rk/J)/(s^2+2c_\theta/J \cdot s+2r^2k/J)$$

$$[0125] \quad =A_\theta/s^2+B_\theta s+C_\theta$$

$$[0126] \quad G_\phi=\Phi/U_{2,4}$$

$$[0127] \quad =(rk/J)(s^2+2c_\phi/J \cdot s+2r^2k/J)$$

$$[0128] \quad =A_\phi/s^2+B_\phi s+C_\phi。$$

[0129] 另外, J 是惯性力矩, 是根据相对于标准具装置的外框 1 移动的第 1 ~ 第 4 压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 的质量和可动基板 2_2 的质量决定的值。此外, 衰减常数 c_θ 、 c_ϕ 是能够根据惯性力矩 J 、弹簧常数 k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 以及输入了信号时的可动基板 2_2 的振动状态求出的常数。此外, A_θ 、 A_ϕ 是表示标准具装置的输入输出特性的灵敏度的参数, B_θ 、 B_ϕ 是表示衰减特性的参数, C_θ 、 C_ϕ 是表示与振动的频率关联的参数。

[0130] 因此, 在不进行前馈控制的情况下, 相对于输入值 P 的输出值 y 、即标准具装置的性能为乘以从标准具装置具有的特性导出的传递函数 G_x 、 G_θ 、 G_ϕ (以下总称作“传递函数 G ”。) 后的 $y=G \cdot P$, 指令值与实际的动作不一致。

[0131] 因此, 在本实施例的可变分光元件中, 如下进行前馈控制以使输入值和标准具的性能一致。

[0132] $y=1/G \cdot G \cdot P$

[0133] 此处, 与 P 相乘的 $1/G$ 为

[0134] $1/G=(s^2+Bs+C)/A$ 。

[0135] 因此, 在设输入值为 P 时进行前馈控制后的输出值 y 如下。

[0136] $y(t)=(d^2P/dt^2+B \cdot dP/dt+C \cdot P)/A$

[0137] 此外, 在本实施例的可变分光元件中, 关于相对于沿着连接一对光学基板的重心彼此之间的线的方向的平移运动、与第 1 角度 θ 有关的旋转运动和与第 2 角度 ϕ 有关的旋转运动的各个运动, 分别进行反馈控制和前馈控制, 如图 4 所示, 对来自 FB 控制器和 FF 控制器的输出值进行相加来设为 x 、 θ 、 ϕ 的值, 并输入到图 5 所示的指令值变换部 5_5 。指令值变换部 5_5 将指令值 x_c 、 θ_c 、 ϕ_c 变换为分别针对第 1 ~ 第 4 压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 的指令值 x_{c1} 、 x_{c2} 、 x_{c3} 、 x_{c4} 。

[0138] 图 7 是示出与可变分光元件的标准具装置的响应特性有关的实验结果的曲线图。另外, 纵轴是一对光学基板的面间隔 (nm)、横轴是时间 (sec), 图 7A 是仅通过反馈控制进行了控制时的实验结果, 图 7B 是组合反馈控制和前馈控制进行了控制时的实验结果。另外, 虚线表示输入信号。

[0139] 从该图 7 也可以看出, 在组合反馈控制和前馈控制进行了控制时, 与仅通过反馈控制进行控制时相比, 能够将过冲抑制得非常小。此外, 一对光学基板的面间隔收敛的时间、具体而言到面间隔的距离稳定在目标值的 $\pm 3\text{nm}$ 左右的时间非常短。并且, 相对于输入信号的反应速度也很快。因此, 本发明的可变分光元件即使在连续且高速地改变光学特性情况下, 也能够准确地改变光学特性。

[0140] 另外, 在本实施例中, 在一对光学基板 2 的重心彼此之间的面间隔 x 、第 1 角度 θ 和第 2 角度 ϕ 的任意一个控制中都进行了反馈控制和前馈控制, 但是不一定需要对所有参数都进行控制, 可以仅对任意一个进行控制。

[0141] 接着, 使用图 8 ~ 图 11 示出本实施例的可变分光元件的标准具装置的变形例。

[0142] 图 8 所示的标准具装置与上述实施例的可变分光元件的标准具装置不同, 从沿着连接一对光学基板 2 的相对的面各自的重心的线的方向看, 第 1 静电电容传感器 3_1 及第 1 压电元件 4_1 、第 2 静电电容传感器 3_2 及第 2 压电元件 4_2 、第 3 静电电容传感器 3_3 及第 3 压电元件 4_3 、以及第 4 静电电容传感器 3_4 及第 4 压电元件 4_4 不是等间隔地进行配置。

[0143] 但是, 即使是这样的配置, 从沿着连接一对光学基板 2 的相对的面各自的重心的

线的方向看,只要第 1 静电电容传感器 3_1 及第 1 压电元件 4_1 与第 3 静电电容传感器 3_3 及第 3 压电元件 4_3 、第 2 静电电容传感器 3_2 及第 2 压电元件 4_2 与第 4 静电电容传感器 3_4 及第 4 压电元件 4_4 配置在以该连接重心的线为轴而对称的位置处,在控制部中即可进行与上述实施例的可变分光元件的标准具装置同样的运算而执行控制。

[0144] 图 9 和图 10 所示的标准具装置与上述实施例的可变分光元件的标准具装置不同,从沿着连接一对光学基板 2 的相对的面各自的重心的线的方向看,第 1 静电电容传感器 3_1 与第 1 压电元件 4_1 、第 2 静电电容传感器 3_2 与第 2 压电元件 4_2 、第 3 静电电容传感器 3_3 与第 3 压电元件 4_3 、以及第 4 静电电容传感器 3_4 与第 4 压电元件 4_4 被配置在不重叠的位置。

[0145] 但是,即使是这样的配置,从沿着连接一对光学基板 2 的相对的面各自的重心的线的方向看,只要第 1 ~ 第 4 压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 分别配置在朝向第 1 ~ 第 4 静电电容传感器 3_1 、 3_2 、 3_3 、 3_4 各自的中心方向延伸的线的线上,在控制部中即可进行与上述实施例的可变分光元件的标准具装置同样的运算来执行控制。

[0146] 图 11 所示的标准具装置与上述实施例的可变分光元件的标准具装置不同,不具有外框 1,第 1 压电元件 4_1 、第 2 压电元件 4_2 、第 3 压电元件 4_3 、第 4 压电元件 4_4 分别以不遮挡通过标准具装置的光的方式,固定在固定基板 2_1 的相对的面上。

[0147] 但是,即使是这样的结构,在控制部中,也能够进行与上述实施例的可变分光元件的标准具装置同样的运算来执行控制。

[0148] 实施例 2

[0149] 使用图 12 ~ 图 13 对作为本发明的可变分光元件的具有标准具装置的可变分光元件的第 2 的实施例进行说明。另外,由于构成本实施例的可变分光元件的标准具装置的部件与构成实施例 1 的标准具装置的部件相同,因此,对具有相同结构的部件标注同一标号,并且省略对它们的详细说明。另外,由于本实施例的可变分光元件的控制部的结构和内部进行的运算与实施例 1 的可变分光元件的控制部中进行的运算大致相同,因此省略对它们的详细说明。

[0150] 另外,图 12 是示出本实施例的可变分光元件的标准具装置的剖视图。图 13 是图 12 的标准具装置的俯视图。

[0151] 使用图 12 和图 13 对该可变分光元件的标准具装置的结构进行说明。

[0152] 在本实施例的可变分光元件的标准具装置中,与实施例 1 的可变分光元件的标准具装置不同,从沿着连接一对光学基板 2 的相对的面各自的重心的线的方向看,第 1 ~ 第 4 压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 和第 1 ~ 第 4 静电电容传感器 3_1 、 3_2 、 3_3 、 3_4 交替地、等间隔地配置成环状。

[0153] 接着,对本实施例的可变分光元件的标准具装置中的可动基板 2_2 的动作及其控制进行说明。

[0154] 在实施例 1 的可变分光元件中,根据第 1 ~ 第 4 静电电容传感器 3_1 、 3_2 、 3_3 、 3_4 的输出值计算一对光学基板 2 的相对的面重心彼此之间的间隔 x ,根据第 1、第 3 静电电容传感器 3_1 、 3_3 的输出值计算第 1 角度 θ ,根据第 2、第 4 静电电容传感器 3_2 、 3_4 的输出值计算第 2 角度 ϕ 。并且,根据重心彼此之间的间隔 x 和第 1 角度 θ 来控制第 1、第 3 压电元件 4_1 、 4_3 的驱动,根据重心彼此之间的间隔 x 和第 2 角度 ϕ 来控制第 2、第 4 压电元件 4_2 、 4_4 的驱动。

[0155] 与此相对,在本实施例的可变分光元件中,使用第 1 ~ 第 4 静电电容传感器 3_1 、 3_2 、

3_3 、 3_4 全体的输出值, 计算重心彼此之间的间隔 x 、第 1 角度 θ 和第 2 角度 ϕ 。并且, 根据重心彼此之间的间隔 x 、第 1 角度 θ 和第 2 角度 ϕ , 控制第 1 ~ 第 4 压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 各自的驱动。

[0156] 这样, 在本实施例中, 从沿着连接一对光学基板 2 的相对的面各自的重心的线的方向看, 虽然静电电容传感器 3 和对应的压电元件 4 未被配置在重叠的位置, 但是将静电电容传感器 3 检测的一对光学基板 2 的相对的面彼此之间的面间隔变换为第 1 ~ 第 4 压电元件 4_1 、 4_2 、 4_3 、 4_4 的位置处的光学基板的面间隔 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 , 因此能够进行与实施例 1 相同的控制。

[0157] 因此, 在本实施例 2 中, 也与实施例 1 的可变分光元件同样, 本实施例的可变分光元件与以往的可变分光元件相比, 一对光学基板 2 的面间隔收敛的时间非常短。因此, 本发明的可变分光元件即使在连续且高速地改变光学特性情况下, 也能够准确地改变光学特性。

[0158] 产业上的可利用性

[0159] 根据本发明, 可提供能够高速且准确地改变光学特性的可变分光元件, 因此适合在分光内窥镜等中进行使用, 在实际应用中极其有用。

[0160] 标号说明

[0161] 1 外框

[0162] 1_1 筒状部件

[0163] 1_2 , 1_3 环状部件

[0164] 1_2a , 1_3a 开口部

[0165] 2 一对光学基板

[0166] 2_1 固定基板

[0167] 2_2 可动基板

[0168] 3_1 第 1 静电电容传感器

[0169] 3_2 第 2 静电电容传感器

[0170] 3_3 第 3 静电电容传感器

[0171] 4_4 第 3 静电电容传感器

[0172] 3_{11} , 3_{12} , 3_{21} , 3_{22} , 3_{31} , 3_{32} , 3_{41} , 3_{42} 电极

[0173] 4_1 第 1 压电元件

[0174] 4_2 第 2 压电元件

[0175] 4_3 第 3 压电元件

[0176] 4_4 第 4 压电元件

[0177] 5_1 目标值输入部

[0178] 5_2 传感器输出变换部

[0179] 5_3 差分值计算部

[0180] 5_4 指令值计算部

[0181] 5_5 指令值变换部

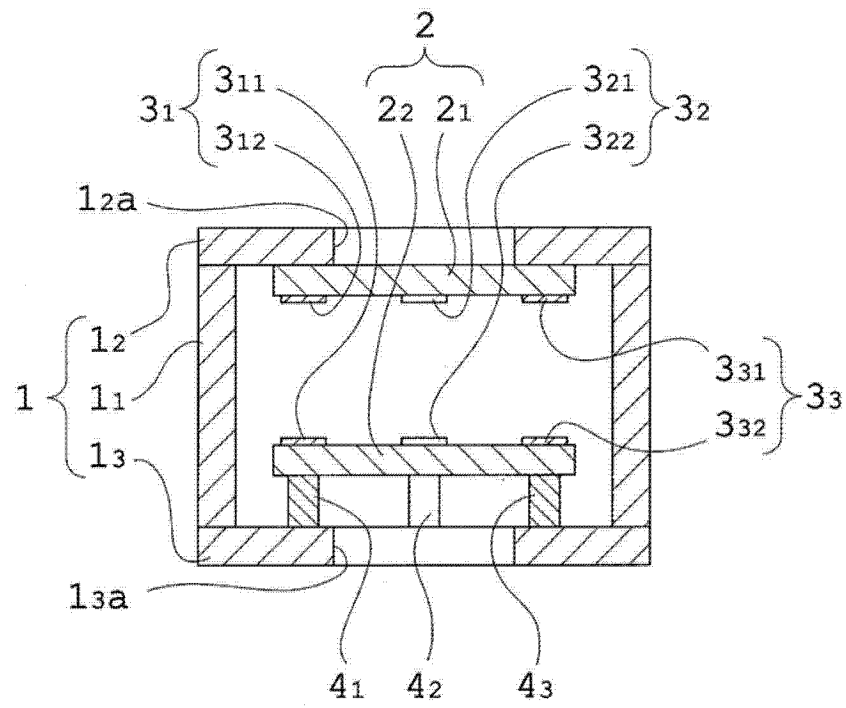


图 1

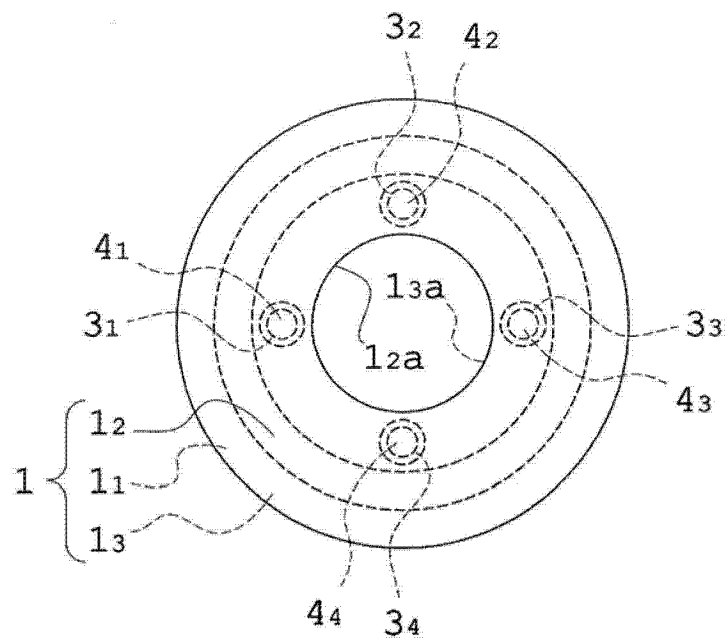


图 2

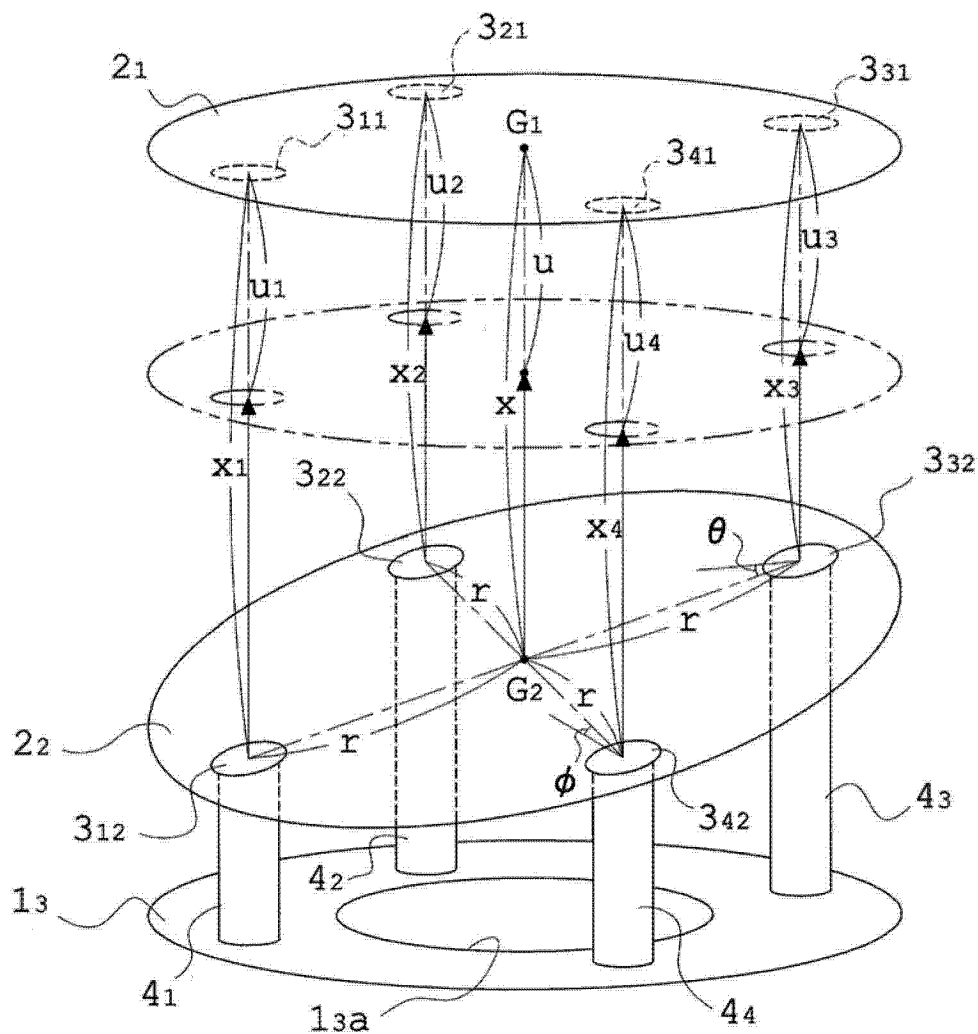


图 3

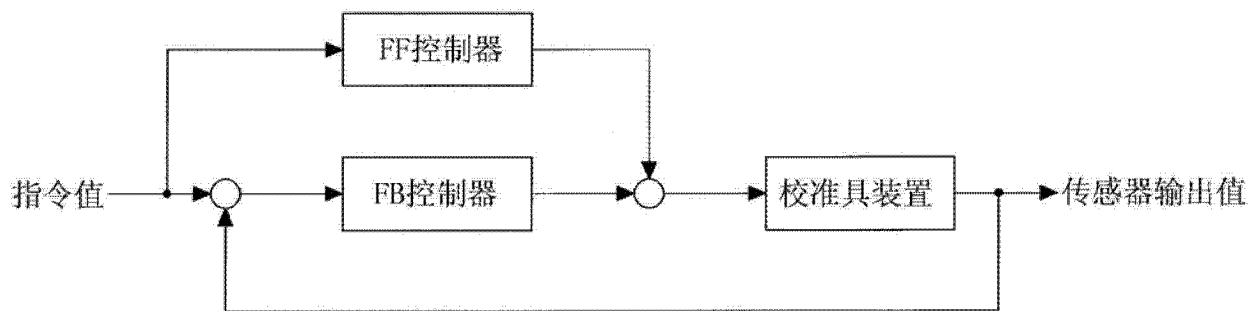


图 4

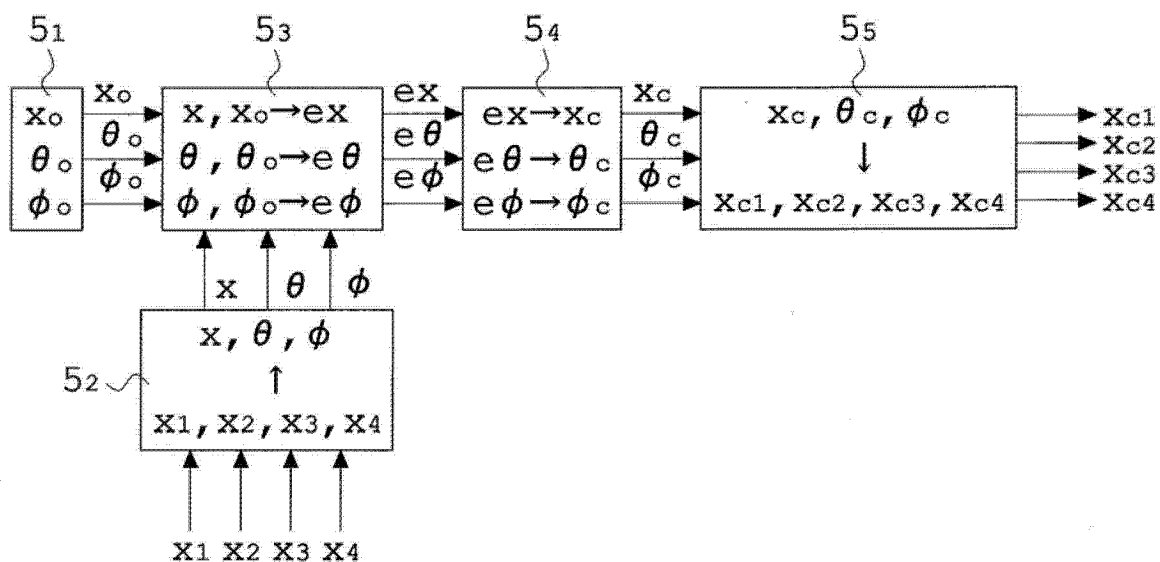


图 5

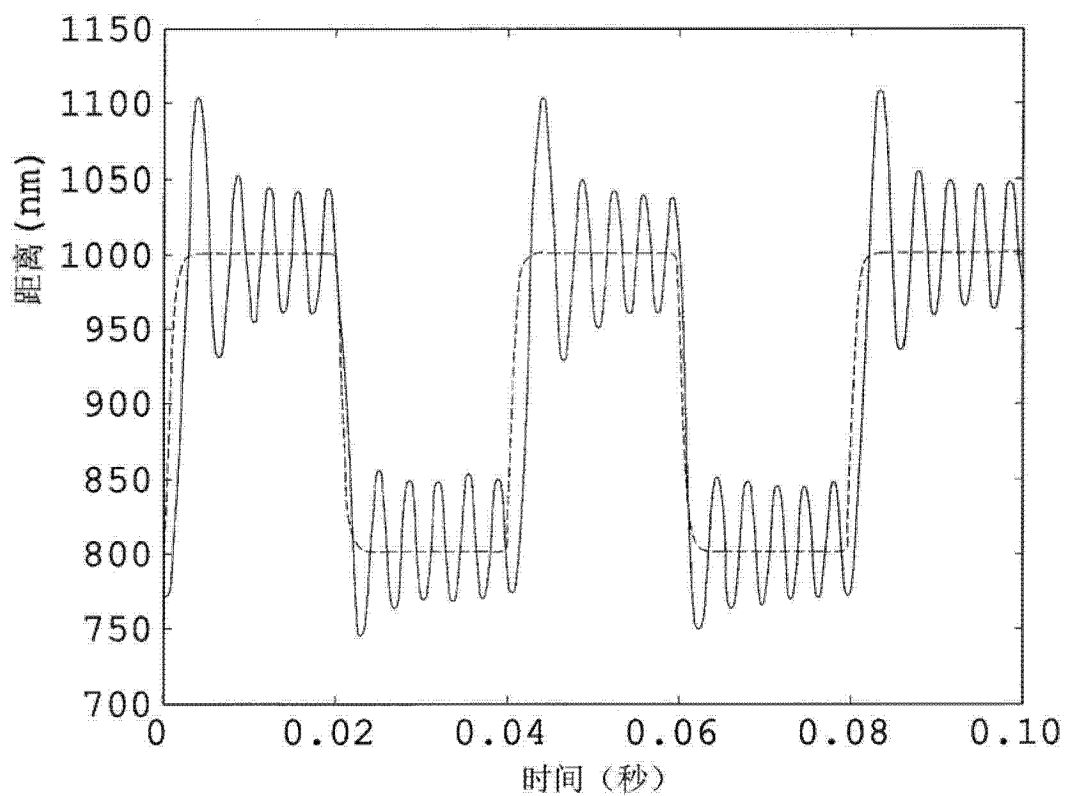


图 6A

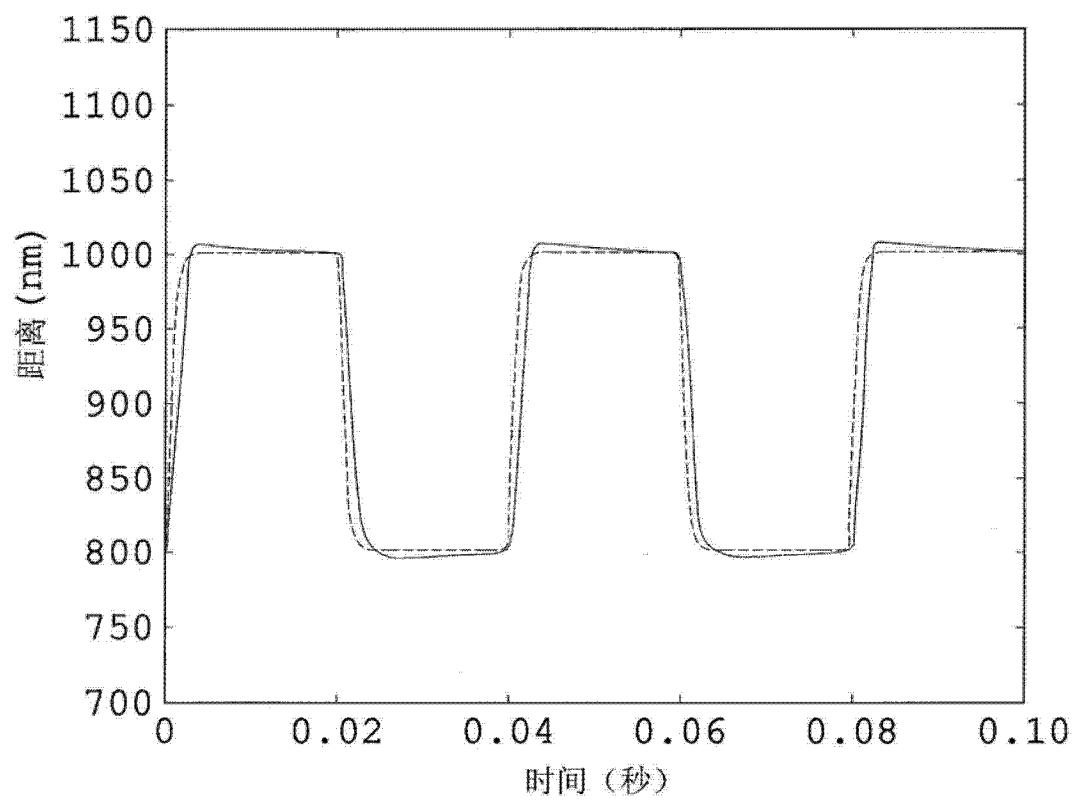


图 6B

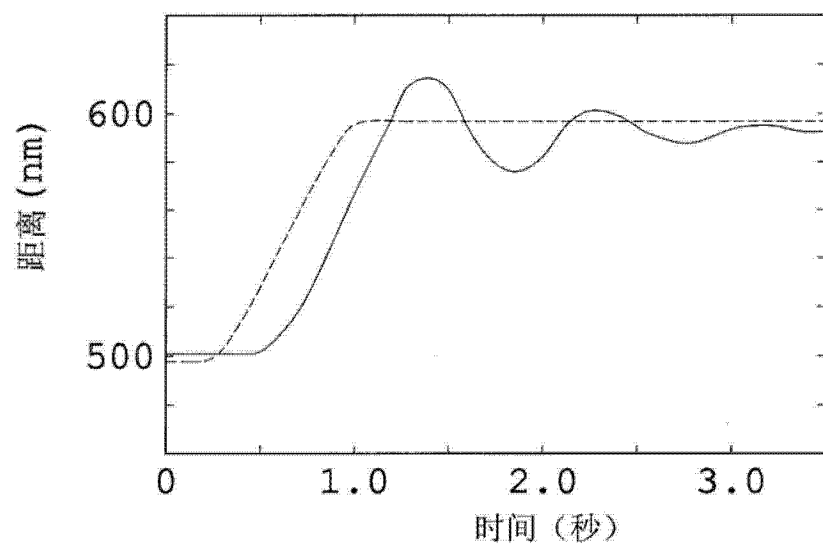


图 7A

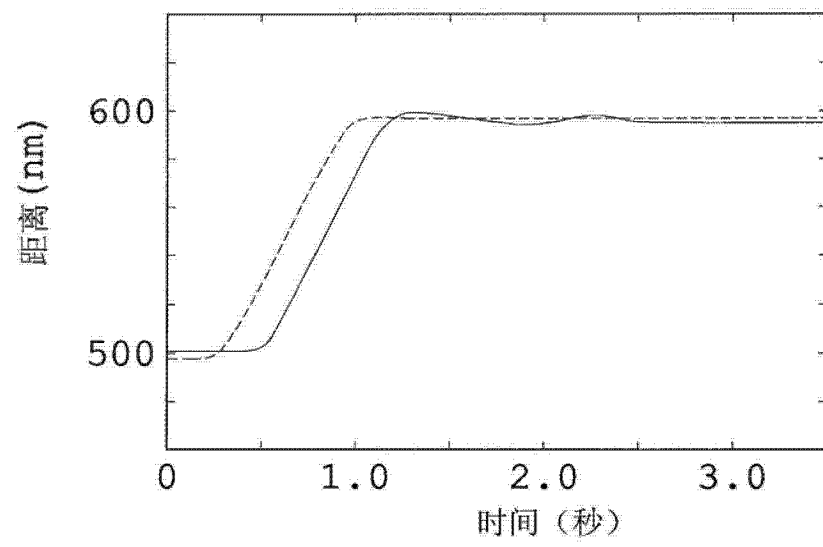


图 7B

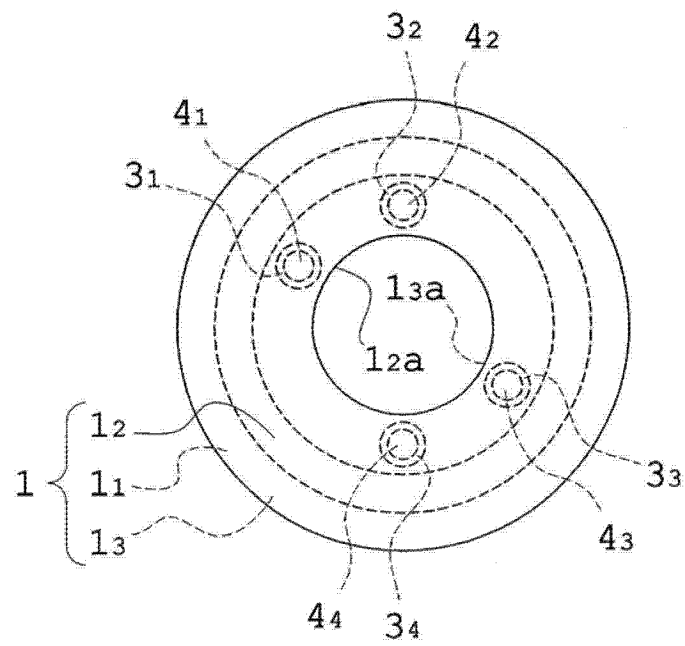


图 8

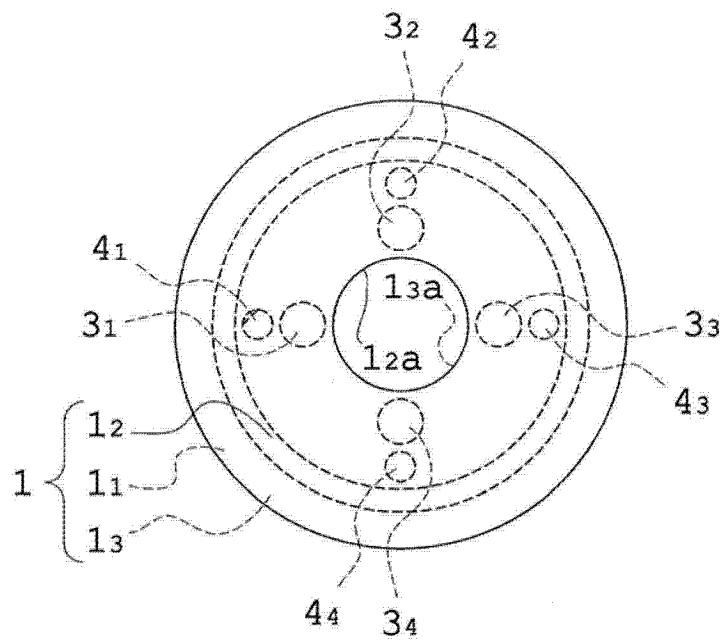


图 9

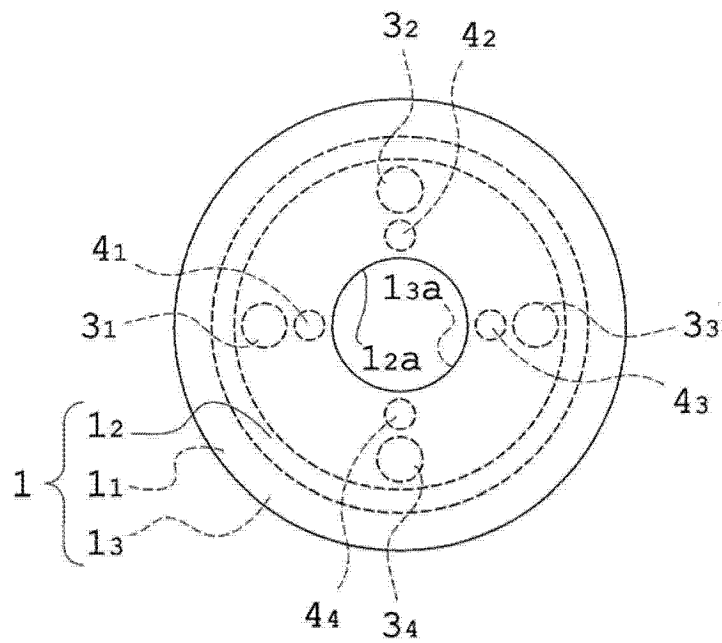


图 10

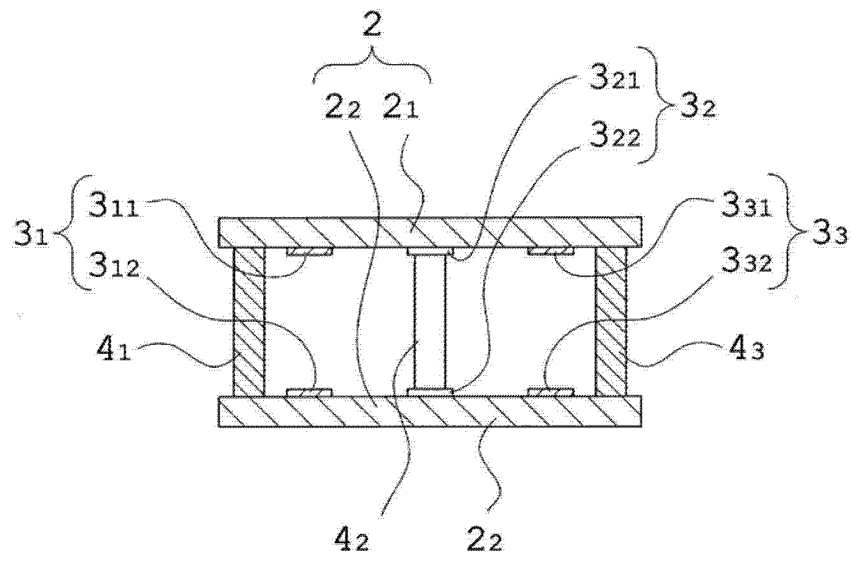


图 11

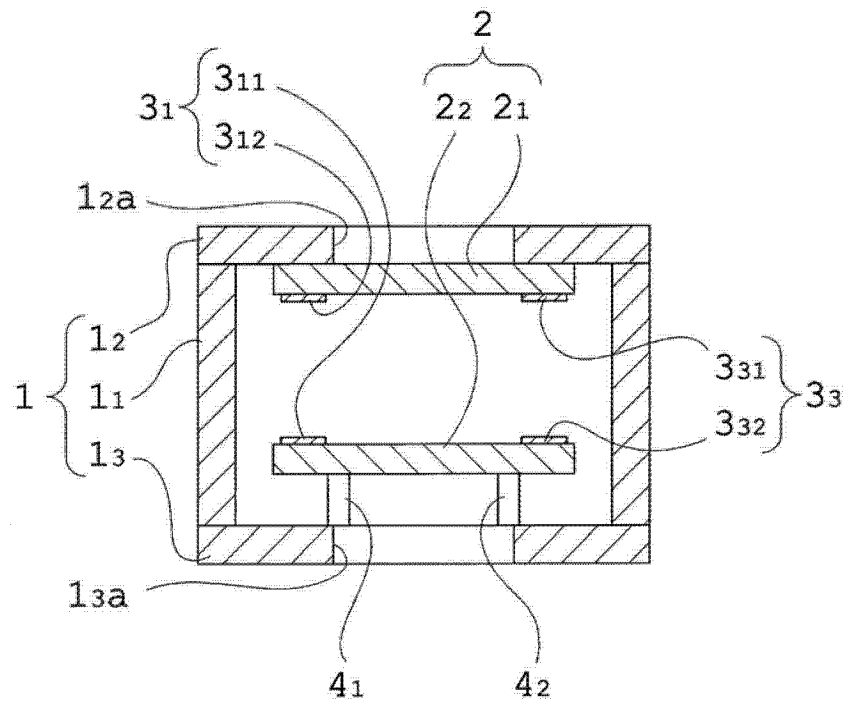


图 12

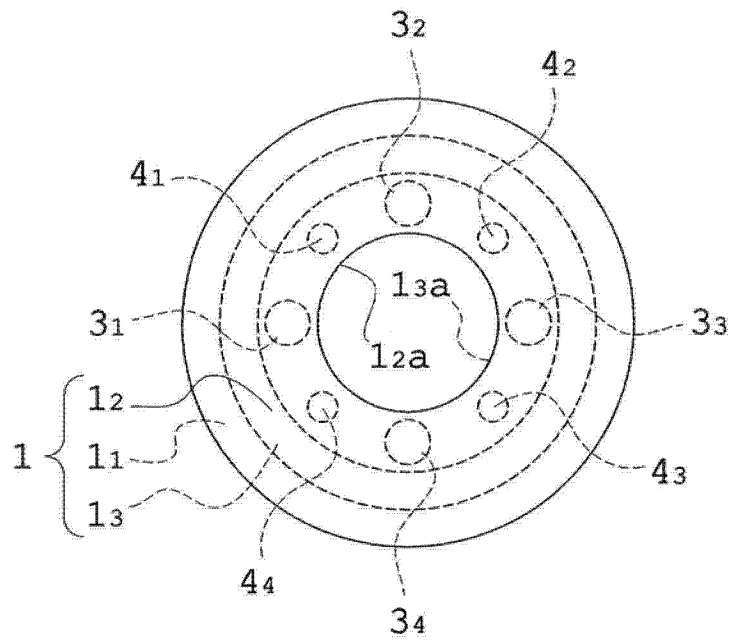


图 13