



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113566804 A

(43) 申请公布日 2021.10.29

(21) 申请号 202110638234.9

(22) 申请日 2021.06.08

(71) 申请人 王辛望

地址 210018 江苏省南京市玄武区太平北路122号

(72) 发明人 王辛望 崔颖 孙秀英

(74) 专利代理机构 南京众联专利代理有限公司  
32206

代理人 许小莉

(51) Int. Cl.

G01C 19/5691 (2012.01)

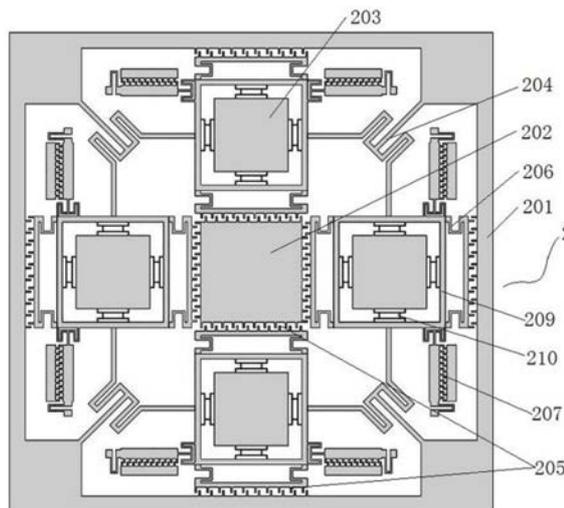
权利要求书3页 说明书7页 附图6页

(54) 发明名称

三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪及其加工方法

(57) 摘要

本发明公开了一种三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪及其加工方法,该陀螺仪由由上至下依次包括玻璃盖帽、器件层和玻璃衬底,玻璃盖帽和玻璃衬底与器件层通过阳极键合;器件层包括支撑外框架、位于所述支撑外框架中心的中心质量块、四个公共质量块、将所述四个公共质量块与支撑外框架连接的驱动梁,中心驱动质量块的四周和四个公共质量块的上部和下部都分别设置驱动梳齿,四个公共质量块的四周与驱动梳齿之间通过谐振梁牵引,四个公共质量块靠近支撑外框架的一侧两边分别通过谐振梁连接Z轴机械结构检测模块梳齿结构,四个公共质量块的上部和下部分别覆盖有三维光子晶体结构层;本发明在单个器件内实现了对三轴的角速度的测量,结构简单。



1. 一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪,其特征在于:由上至下依次包括玻璃盖帽、器件层和玻璃衬底,玻璃盖帽和玻璃衬底与器件层通过阳极键合;

所述器件层包括支撑外框架、位于所述支撑外框架中心的中心质量块、分别位于整个结构的 $0^\circ$ 位置、 $90^\circ$ 位置、 $180^\circ$ 位置和 $270^\circ$ 位置的四个公共质量块、将所述四个公共质量块与支撑外框架连接的驱动梁,所述中心驱动质量块的四周和四个公共质量块的上部和下部都分别设置驱动梳齿,四个所述公共质量块的四周与所述驱动梳齿之间通过谐振梁牵引,四个所述公共质量块靠近所述支撑外框架的一侧两边分别通过谐振梁连接Z轴机械结构检测模块梳齿结构,四个公共质量块的上部和下部分别覆盖有三维光子晶体结构层;

所述玻璃盖帽位于所述器件层的正上方,玻璃盖帽上与器件层每个公共质量块的三维光子晶体结构层相对应的位置均设置有导光孔,用于进行光的检测;

玻璃衬底位于器件层的正下方,玻璃衬底上与器件层每个公共质量块的三维光子晶体结构层相对应的位置均设置有导光孔,用于进行光的检测。

2. 根据权利要求1所述的一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪,其特征在于:每个所述公共质量块的外侧通过检测梁连接质量块外框架。

3. 一种用上述基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪进行角速度测量的方法,其特征在于:该方法为:

当三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪稳定在驱动模态时,四个公共质量块在驱动梁的带动下做“推挽”运动,从而改变驱动梳齿中的电容量,通过外部电路转换成电压量,进而便于随时进行角速度的测量;

当X轴接收到角速度时,位于 $0^\circ$ 位置、 $180^\circ$ 位置的公共质量块沿面外做上下的谐振运动,通过在通光孔的一侧检测光强的变化,来实现X轴角速度的测量;

当Y轴接收到角速度时,位于 $90^\circ$ 位置、 $270^\circ$ 位置的公共质量块沿面外做上下的谐振运动,通过在通光孔的一侧检测光强的变化,来实现Y轴角速度的测量;

当Z轴接收到角速度时,四个公共质量块沿面内做谐振运动,使得八个Z轴机械结构检测模块梳齿结构结构发生变化,进而测量得到Z轴的角速度。

4. 根据权利要求3所述的基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪进行角速度测量的方法,其特征在于:角速度的大小的具体算法为:

设X轴的角速度为 $\Omega_x$ ,Y轴的角速度为 $\Omega_y$ ,因此X轴和Y轴分别受到的哥氏力为:

$$F_{cx} = 2m_1 \Omega_x x' + 2m_2 \Omega_x x' \quad (1)$$

$$F_{cy} = 2m_3 \Omega_y y' + 2m_4 \Omega_y y' \quad (2)$$

其中, $m_1$ 为位于 $0^\circ$ 位置的公共质量块的质量, $m_2$ 为位于 $180^\circ$ 位置的公共质量块的质量, $m_3$ 为位于 $90^\circ$ 位置的公共质量块的质量, $m_4$ 为位于 $270^\circ$ 位置的公共质量块的质量,'为x方向向量的一阶导数, $y'$ 为y方向向量的一阶导数;

根据动力学方程:

$$(m_1+m_3) x'' + c_x x' + k_x x = F_{cx} \quad (3)$$

$$(m_2+m_4) y'' + c_y y' + k_y y = F_{cy} \quad (4)$$

其中, $c_x$ 为X轴的阻尼系数、 $k_x$ 为X轴的弹性系数、 $c_y$ 为Y轴的阻尼系数、 $k_y$ 为Y轴的弹性系数, $x''$ 为x方向向量的二阶导数, $y''$ 为y方向向量的二阶导数;

根据式(3)、式(4)能够求出

$$x = A_x e^{-\xi_x w_x t} \sin(\sqrt{1 - \xi_x^2} w_x t + \alpha) + B_x \sin(w_d t - \varphi_x) \quad (5)$$

$$B_x = \frac{F_{cx}}{(m_1 + m_2) \sqrt{\left(1 - \frac{w_d^2}{w_x^2}\right)^2 + 4\xi_x^2 \left(\frac{w_d}{w_x}\right)^2}} \quad (6)$$

$$\varphi_x = \arctan \frac{2\xi_x w_x w_d}{w_x^2 - w_d^2} \quad (7)$$

$$y = A_y e^{-\xi_y w_y t} \sin(\sqrt{1 - \xi_y^2} w_y t + \alpha) + B_y \sin(w_d t - \varphi_y) \quad (8)$$

$$B_y = \frac{F_{cy}}{(m_1 + m_2) \sqrt{\left(1 - \frac{w_d^2}{w_y^2}\right)^2 + 4\xi_y^2 \left(\frac{w_d}{w_y}\right)^2}} \quad (9)$$

$$\varphi_y = \arctan \frac{2\xi_y w_y w_d}{w_y^2 - w_d^2} \quad (10)$$

其中 $B_x$ 是X轴的振幅, $\varphi_x$ 是X轴的相位, $B_y$ 是Y轴的振幅, $\varphi_y$ 是Y轴的相位, $w_x$ 为X轴的振动频率, $w_y$ 为Y轴的振动频率, $w_d$ 为驱动频率, $\xi_x$ 为X轴的阻尼系数, $\xi_y$ 为Y轴的阻尼系数,t为相应时间, $A_x$ 为X轴振幅的系数, $A_y$ 为Y轴振幅的系数,

通过简化,可以得到X轴、Y轴哥氏力的表达式

$$F_{cx} = 2(m_1 + m_2)\Omega_x B_x w_x \cos(w_x - \varphi_x) \quad (11)$$

$$F_{cy} = 2(m_3 + m_4)\Omega_y B_y w_y \cos(w_y - \varphi_y) \quad (12)$$

其中, $\Omega_x$ 为X轴接收到的角速度, $\Omega_y$ 为Y轴接收到的角速度,进而可以得到哥氏力加速度的表达式

$$a_x = 2\Omega_x B_x w_x \cos(w_x - \varphi_x) \quad (13)$$

$$a_y = 2\Omega_y B_y w_y \cos(w_y - \varphi_y) \quad (14)$$

利用上面式,结合陀螺内部结构整理得出Coriolis加速度、输入角速度与透射率的关系式:

$$a_{cx} = \frac{T - b_0}{(m_1 + m_2)\rho} \frac{2Eb_x h_x^2}{3L_x} \quad (15)$$

$$a_{cy} = \frac{T - b_0}{(m_3 + m_4)\rho} \frac{2Eb_y h_y^2}{3L_y} \quad (16)$$

$$\Omega_x = \frac{2(T - b_0)Eb_x h_x^2}{3\rho L_x} \frac{1}{2(m_1 + m_2)B_x w_x \cos(w_x t - \varphi_x)} \quad (17)$$

$$\Omega_y = \frac{2(T - b_0)Eb_y h_y^2}{3\rho L_y} \frac{1}{2(m_3 + m_4)B_y w_y \cos(w_y t - \varphi_y)} \quad (18)$$

其中,  $T$ 为透射率,  $b_0$ 为节点,  $E$ 为材料的杨氏模量,  $b_x$ 为X轴谐振梁的宽度,  $b_y$ 为Y轴谐振梁的宽度,  $h_x$ 为X轴谐振梁的高度,  $h_y$ 为Y轴谐振梁的高度,  $\rho$ 为介观压光系数,  $L_x$ 为X轴谐振梁的长度,  $L_y$ 为Y轴谐振梁的长度;

由于透射率和角速度具有一定的正比关系, 经过设计的陀螺, 代入各参数, 便可以通过透射率的变化得到输入角速度的大小。

5. 权利要求1-2任一项所述的一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪的加工方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

- (1) 清洗硅片, 干燥, 在硅片上表面匀涂光刻胶, 固化后, 使用1号掩膜版光刻锚点位置;
- (2) 采用反应离子刻蚀RIE在硅片(1)的上表面加工锚点后, 使用丙酮溶液洗去残余的光刻胶显影;
- (3) 清洗(1)的硅片, 干燥, 在硅片(1)的下表面匀涂光刻胶, 固化后, 使用2号掩膜版光刻机械结构;
- (4) 采用反应离子刻蚀RIE在硅片(1)的下表面加工机械结构后, 使用丙酮溶液洗去残余的光刻胶显影;
- (5) 在硅片下表面沉积氮化硅, 在硅片(1)的下表面匀涂光刻胶, 固化后, 使用3号掩膜版光刻机械结构;
- (6) 采用反应离子刻蚀RIE在氮化硅结构上加工三维光子晶体结构后, 使用丙酮溶液洗去残余的光刻胶显影;
- (7) 在硅片上表面沉积氮化硅, 在硅片上表面匀涂光刻胶, 固化后, 使用4号掩膜版光刻三维光子晶体结构;
- (8) 采用反应离子刻蚀RIE在氮化硅结构上加工三维光子晶体结构后, 使用丙酮溶液洗去残余的光刻胶显影;
- (9) 取干净的玻璃衬底, 在玻璃衬底表面匀涂光刻胶, 使用5号掩膜版光刻衬底结构;
- (10) 将步骤(9)的玻璃衬底与步骤(6)的硅片(1)的下表面进行阳极键合;
- (11) 取干净的玻璃, 在玻璃表面匀涂光刻胶, 使用6号掩膜版光刻盖帽结构;
- (12) 将步骤(11)的玻璃衬底与步骤(4)的硅片(1)的上表面进行阳极键合, 即可得到一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪。

## 三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪及其加工方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及微机电和惯性导航领域,具体涉及一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪及其加工方法。

### 背景技术

[0002] 微机电(MEMS)陀螺是一种采用MEMS加工技术制造的,测量物体运动角速度的关键器件,与传统惯性器件相比具有小尺寸、低功耗、低成本、便于批量生产等特点,在空间技术、大地测量、地质勘探、隧道工程、石油勘探、矿山开采、海洋开发、汽车工业、国防工业等诸多领域都有着广阔的应用前景,因此国内外各大高校、研究所和商业机构都投入了相当的人力物力对其加以研究。目前,市面上多流行微机械陀螺仪,微机械陀螺仪精度较差,受温度湿度影响比较明显,很难应用于高精度测量系统中。

[0003] 为此,研究人员把各种MEMS结构与微光学器件整合在一起,设计了微光机电(MOEMS)陀螺仪。该新型陀螺仪相较电容检测的MEMS陀螺仪而言,继承了MEMS陀螺仪尺寸小、质量轻、成本低、易实现系统集成与批量生产等优点;同时,采用光学检测方法代替电容检测,避免了精度和动态性能难以兼顾的矛盾,检测精度较高;另外,采用光信号代替电信号检测,可以实现光电分离,使MOEMS惯性器件对辐射、高温、强电磁干扰等环境的适应能力大大增加。

### 发明内容

[0004] 发明目的:为克服现有技术不足,本发明旨在提供一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪及其加工方法。

[0005] 技术方案:为实现上述发明目的,本发明采用以下技术方案:

[0006] 一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪,由上至下依次包括玻璃盖帽、器件层和玻璃衬底,玻璃盖帽和玻璃衬底与器件层通过阳极键合;

[0007] 所述器件层包括支撑外框架、位于所述支撑外框架中心的中心质量块、分别位于整个结构的 $0^{\circ}$ 位置、 $90^{\circ}$ 位置、 $180^{\circ}$ 位置和 $270^{\circ}$ 位置的四个公共质量块、将所述四个公共质量块与支撑外框架连接的驱动梁,所述中心驱动质量块的四周和四个公共质量块的上部和下部都分别设置驱动梳齿,四个所述公共质量块的四周与所述驱动梳齿之间通过谐振梁牵引,四个所述公共质量块靠近所述支撑外框架的一侧两边分别通过谐振梁连接Z轴机械结构检测模块梳齿结构,四个公共质量块的上部和下部分别覆盖有三维光子晶体结构层;

[0008] 所述玻璃盖帽位于所述器件层的正上方,玻璃盖帽上与器件层每个公共质量块的三维光子晶体结构层相对应的位置均设置有导光孔,用于进行光的检测;

[0009] 玻璃衬底位于器件层的正下方,玻璃衬底上与器件层每个公共质量块的三维光子晶体结构层相对应的位置均设置有导光孔,用于进行光的检测。

[0010] 进一步地,每个所述公共质量块的外侧通过检测梁连接质量块外框架。

[0011] 本发明还提供一种用上述基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪进行角

速度测量的方法,该方法为:

[0012] 当三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪稳定在驱动模态时,四个公共质量块在驱动梁的带动下做“推挽”运动,从而改变驱动梳齿中的电容量,通过外部电路转换成电压量,进而便于随时进行角速度的测量;

[0013] 当X轴接收到角速度时,位于 $0^\circ$ 位置、 $180^\circ$ 位置的公共质量块沿面外做上下的谐振运动,通过在通光孔的一侧检测光强的变化,来实现X轴角速度的测量;

[0014] 当Y轴接收到角速度时,位于 $90^\circ$ 位置、 $270^\circ$ 位置的公共质量块沿面外做上下的谐振运动,通过在通光孔的一侧检测光强的变化,来实现Y轴角速度的测量;

[0015] 当Z轴接收到角速度时,四个公共质量块沿面内做谐振运动,使得八个Z轴机械结构检测模块梳齿结构结构发生变化,进而测量得到Z轴的角速度。

[0016] 进一步地,角速度的大小的具体算法为:

[0017] 设X轴的角速度为 $\Omega_x$ ,Y轴的角速度为 $\Omega_y$ ,因此X轴和Y轴分别受到的哥氏力为:

$$[0018] \quad F_{cx} = 2m_1 \Omega_x x' + 2m_2 \Omega_x x' \quad (1)$$

$$[0019] \quad F_{cy} = 2m_3 \Omega_y y' + 2m_4 \Omega_y y' \quad (2)$$

[0020] 其中, $m_1$ 为位于 $0^\circ$ 位置的公共质量块的质量, $m_2$ 为位于 $180^\circ$ 位置的公共质量块的质量, $m_3$ 为位于 $90^\circ$ 位置的公共质量块的质量, $m_4$ 为位于 $270^\circ$ 位置的公共质量块的质量, $x'$ 为x方向向量的一阶导数, $y'$ 为y方向向量的一阶导数;

[0021] 根据动力学方程:

$$[0022] \quad (m_1 + m_3) x'' + c_x x' + k_x x = F_{cx} \quad (3)$$

$$[0023] \quad (m_2 + m_4) y'' + c_y y' + k_y y = F_{cy} \quad (4)$$

[0024] 其中, $c_x$ 为X轴的阻尼系数、 $k_x$ 为X轴的弹性系数、 $c_y$ 为Y轴的阻尼系数、 $k_y$ 为Y轴的弹性系数, $x''$ 为x方向向量的二阶导数, $y''$ 为y方向向量的二阶导数;

[0025] 根据式(3)、式(4)能够求出

$$[0026] \quad x = A_x e^{-\xi_x w_x t} \sin(\sqrt{1 - \xi_x^2} w_x t + \alpha) + B_x \sin(w_d t - \varphi_x) \quad (5)$$

$$[0027] \quad B_x = \frac{F_{cx}}{(m_1 + m_2) \sqrt{\left(1 - \frac{w_d^2}{w_x^2}\right)^2 + 4\xi_x^2 \left(\frac{w_d}{w_x}\right)^2}} \quad (6)$$

$$[0028] \quad \varphi_x = \arctan \frac{2\xi_x w_x w_d}{w_x^2 - w_d^2} \quad (7)$$

$$[0029] \quad y = A_y e^{-\xi_y w_y t} \sin(\sqrt{1 - \xi_y^2} w_y t + \alpha) + B_y \sin(w_d t - \varphi_y) \quad (8)$$

$$[0030] \quad B_y = \frac{F_{cy}}{(m_1 + m_2) \sqrt{\left(1 - \frac{w_d^2}{w_y^2}\right)^2 + 4\xi_y^2 \left(\frac{w_d}{w_y}\right)^2}} \quad (9)$$

$$[0031] \quad \varphi_y = \arctan \frac{2\xi_y w_y w_d}{w_y^2 - w_d^2} \quad (10)$$

[0032] 其中 $B_x$ 是X轴的振幅, $\varphi_x$ 是X轴的相位, $B_y$ 是Y轴的振幅, $\varphi_y$ 是Y轴的相位, $w_x$ 为X轴的振动频率, $w_y$ 为Y轴的振动频率, $w_d$ 为驱动频率, $\xi_x$ 为X轴的阻尼系数, $\xi_y$ 为Y轴的阻尼系数, $t$ 为相应时间, $A_x$ 为X轴振幅的系数, $A_y$ 为Y轴振幅的系数,

[0033] 通过简化,可以得到X轴、Y轴哥氏力的表达式

$$[0034] \quad F_{cx} = 2(m_1 + m_2)\Omega_x B_x w_x \cos(w_x - \varphi_x) \quad (11)$$

$$[0035] \quad F_{cy} = 2(m_3 + m_4)\Omega_y B_y w_y \cos(w_y - \varphi_y) \quad (12)$$

[0036] 其中, $\Omega_x$ 为X轴接收到的角速度, $\Omega_y$ 为Y轴接收到的角速度,

[0037] 进而可以得到哥氏力加速度的表达式

$$[0038] \quad a_x = 2\Omega_x B_x w_x \cos(w_x - \varphi_x) \quad (13)$$

$$[0039] \quad a_y = 2\Omega_y B_y w_y \cos(w_y - \varphi_y) \quad (14)$$

[0040] 利用上面式,结合陀螺内部结构整理得出Coriolis加速度、输入角速度与透射率的关系式:

$$[0041] \quad a_{cx} = \frac{T - b_0}{(m_1 + m_2)\rho} \frac{2Eb_x h_x^2}{3L_x} \quad (15)$$

$$[0042] \quad a_{cy} = \frac{T - b_0}{(m_3 + m_4)\rho} \frac{2Eb_y h_y^2}{3L_y} \quad (16)$$

$$[0043] \quad \Omega_x = \frac{2(T - b_0)Eb_x h_x^2}{3\rho L_x} \frac{1}{2(m_1 + m_2)B_x w_x \cos(w_x t - \varphi_x)} \quad (17)$$

$$[0044] \quad \Omega_y = \frac{2(T - b_0)Eb_y h_y^2}{3\rho L_y} \frac{1}{2(m_3 + m_4)B_y w_y \cos(w_y t - \varphi_y)} \quad (18)$$

[0045] 其中, $T$ 为透射率, $b_0$ 为节点, $E$ 为材料的杨氏模量, $b_x$ 为X轴谐振梁的宽度, $b_y$ 为Y轴谐振梁的宽度, $h_x$ 为X轴谐振梁的高度, $h_y$ 为Y轴谐振梁的高度, $\rho$ 为介观压光系数, $L_x$ 为X轴谐振梁的长度, $L_y$ 为Y轴谐振梁的长度;

[0046] 由于透射率和角速度具有一定的正比关系,经过设计的陀螺,代入各参数,便可以通过透射率的变化得到输入角速度的大小。

[0047] 本发明还提供一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪的加工方法,包括以下步骤:

[0048] (1) 清洗硅片,干燥,在硅片上表面匀涂光刻胶,固化后,使用1号掩膜版光刻锚点位置;

[0049] (2) 采用反应离子刻蚀RIE在硅片(1)的上表面加工锚点后,使用丙酮溶液洗去残余的光刻胶显影;

[0050] (3) 清洗(1)的硅片,干燥,在硅片(1)的下表面匀涂光刻胶,固化后,使用2号掩膜版光刻机械结构;

[0051] (4) 采用反应离子刻蚀RIE在硅片(1)的下表面加工机械结构后,使用丙酮溶液洗去残余的光刻胶显影;

[0052] (5) 在硅片下表面沉积氮化硅,在硅片(1)的下表面匀涂光刻胶,固化后,使用3号掩膜版光刻机械结构;

[0053] (6) 采用反应离子刻蚀RIE在氮化硅结构上加工三维光子晶体结构后,使用丙酮溶液洗去残余的光刻胶显影;

[0054] (7) 在硅片上表面沉积氮化硅,在硅片上表面匀涂光刻胶,固化后,使用4号掩膜版光刻三维光子晶体结构;

[0055] (8) 采用反应离子刻蚀RIE在氮化硅结构上加工三维光子晶体结构后,使用丙酮溶液洗去残余的光刻胶显影;

[0056] (9) 取干净的玻璃衬底,在玻璃衬底表面匀涂光刻胶,使用5号掩膜版光刻衬底结构;

[0057] (10) 将步骤(9)的玻璃衬底与步骤(6)的硅片(1)的下表面进行阳极键合;

[0058] (11) 取干净的玻璃,在玻璃表面匀涂光刻胶,使用6号掩膜版光刻盖帽结构;

[0059] (12) 将步骤(11)的玻璃衬底与步骤(4)的硅片(1)的上表面进行阳极键合,即可得到一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪。

[0060] 有益效果:与现有技术相比,本发明利用三维光子晶体与机械结构结合的形式,提出了一种新的三轴陀螺仪,该型陀螺仪采用全新的检测方式,采用单片集成的方式,具有体积小、精度高、适用范围广等特点。

## 附图说明

[0061] 图1是一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪爆炸图;

[0062] 图2是一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪机械结构俯视图;

[0063] 图3是一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪器件层整体结构图;

[0064] 图4是一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪玻璃盖帽;

[0065] 图5是一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪玻璃衬底结构图;

[0066] 图6是一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪三维光子晶体结构图;

[0067] 图7是一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪光检测方法;

[0068] 图8是一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪加工工艺流程图;

[0069] 其中,1、玻璃盖帽,2、器件层,3、玻璃衬底;201、支撑外框架,202、中心质量块,203、公共质量块,204、驱动梁,205、驱动梳齿,206、谐振梁,207、Z轴机械结构检测模块梳齿结构,208、三维光子晶体结构层,209、质量块外框架,210、检测梁,101、301、导光孔。

## 具体实施方式

[0070] 为了更好地理解本发明,下面结合附图和具体实施例进一步阐明本发明技术方案的内容,但本发明内容不仅仅局限于下面的实施例。以下仅是本发明的优选实施方式,应当指出:对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以对各设施位置进行调整,这些调整也应视为本发明的保护范围。

[0071] 一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪,由上至下依次包括玻璃盖帽1、器件层2和玻璃衬底3,玻璃盖帽和玻璃衬底与器件层通过阳极键合;

[0072] 所述器件层包括支撑外框架201、位于所述支撑外框架中心的中心质量块202、分

别位于整个结构的 $0^\circ$ 位置、 $90^\circ$ 位置、 $180^\circ$ 位置和 $270^\circ$ 位置的四个公共质量块203、将所述四个公共质量块与支撑外框架连接的驱动梁204,所述中心驱动质量块的四周和四个公共质量块的上部和下部都分别设置驱动梳齿205,四个所述公共质量块的四周与所述驱动梳齿之间通过谐振梁206牵引,四个所述公共质量块靠近所述支撑外框架的一侧两边分别通过谐振梁连接Z轴机械结构检测模块梳齿结构207,四个公共质量块的上部和下部分别覆盖有三维光子晶体结构层208;

[0073] 所述玻璃盖帽位于所述器件层的正上方,玻璃盖帽上与器件层每个公共质量块的三维光子晶体结构层相对应的位置均设置有导光孔101,用于进行光的检测;

[0074] 玻璃衬底位于器件层的正下方,玻璃衬底上与器件层每个公共质量块的三维光子晶体结构层相对应的位置均设置有导光孔301,用于进行光的检测。

[0075] 进一步地,每个所述公共质量块的外侧通过检测梁210连接质量块外框架209。

[0076] 本发明还提供一种用上述基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪进行角速度测量的方法,该方法为:

[0077] 当三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪稳定在驱动模态时,四个公共质量块在驱动梁的带动下做“推挽”运动,从而改变驱动梳齿中的电容量,通过外部电路转换成电压量,进而便于随时进行角速度的测量;初始状态下,三维光子晶体结构呈横向竖向排列,并且球形光子晶体之间的间距保持一致,光路的路径如图7(a)所示,当X轴或者Y轴产生一个角速度时,三维光子晶体结构球形光子晶体之间的间距发生变化如图7(b)所示,进而导致初始光路发生变化,通过光路的变化可以得到角速度的大小。

[0078] 当X轴接收到角速度时,位于 $0^\circ$ 位置、 $180^\circ$ 位置的公共质量块沿面外做上下的谐振运动,通过在通光孔的一侧检测光强的变化,来实现X轴角速度的测量;

[0079] 当Y轴接收到角速度时,位于 $90^\circ$ 位置、 $270^\circ$ 位置的公共质量块沿面外做上下的谐振运动,通过在通光孔的一侧检测光强的变化,来实现Y轴角速度的测量;

[0080] 当Z轴接收到角速度时,四个公共质量块沿面内做谐振运动,使得八个Z轴机械结构检测模块梳齿结构结构发生变化,进而测量得到Z轴的角速度。

[0081] 进一步地,角速度的大小的具体算法为:

[0082] 设X轴的角速度为 $\Omega_x$ ,Y轴的角速度为 $\Omega_y$ ,因此X轴和Y轴分别受到的哥氏力为:

$$[0083] \quad F_{c_x} = 2m_1 \Omega_x x' + 2m_2 \Omega_x x' \quad (1)$$

$$[0084] \quad F_{c_y} = 2m_3 \Omega_y y' + 2m_4 \Omega_y y' \quad (2)$$

[0085] 其中, $m_1$ 为位于 $0^\circ$ 位置的公共质量块的质量, $m_2$ 为位于 $180^\circ$ 位置的公共质量块的质量, $m_3$ 为位于 $90^\circ$ 位置的公共质量块的质量, $m_4$ 为位于 $270^\circ$ 位置的公共质量块的质量, $x'$ 为x方向向量的一阶导数, $y'$ 为y方向向量的一阶导数;

[0086] 根据动力学方程:

$$[0087] \quad (m_1 + m_3) y'' + c_y y' + k_y y = F_{c_y} \quad (3)$$

$$[0088] \quad (m_2 + m_4) y'' + c_y y' + k_y y = F_{c_y} \quad (4)$$

[0089] 其中, $c_x$ 为X轴的阻尼系数、 $k_x$ 为X轴的弹性系数、 $c_y$ 为Y轴的阻尼系数、 $k_y$ 为Y轴的弹性系数, $x''$ 为x方向向量的二阶导数, $y''$ 为y方向向量的二阶导数;

[0090] 根据式(3)、式(4)能够求出

$$[0091] \quad x = A_x e^{-\xi_x w_x t} \sin(\sqrt{1 - \xi_x^2} w_x t + \alpha) + B_x \sin(w_d t - \varphi_x) \quad (5)$$

$$[0092] \quad B_x = \frac{F_{cx}}{(m_1 + m_2) \sqrt{\left(1 - \frac{w_d^2}{w_x^2}\right)^2 + 4\xi_x^2 \left(\frac{w_d}{w_x}\right)^2}} \quad (6)$$

$$[0093] \quad \varphi_x = \arctan \frac{2\xi_x w_x w_d}{w_x^2 - w_d^2} \quad (7)$$

$$[0094] \quad y = A_y e^{-\xi_y w_y t} \sin(\sqrt{1 - \xi_y^2} w_y t + \alpha) + B_y \sin(w_d t - \varphi_y) \quad (8)$$

$$[0095] \quad B_y = \frac{F_{cy}}{(m_1 + m_2) \sqrt{\left(1 - \frac{w_d^2}{w_y^2}\right)^2 + 4\xi_y^2 \left(\frac{w_d}{w_y}\right)^2}} \quad (9)$$

$$[0096] \quad \varphi_y = \arctan \frac{2\xi_y w_y w_d}{w_y^2 - w_d^2} \quad (10)$$

[0097] 其中 $B_x$ 是X轴的振幅, $\varphi_x$ 是X轴的相位, $B_y$ 是Y轴的振幅, $\varphi_y$ 是Y轴的相位, $w_x$ 为X轴的振动频率, $w_y$ 为Y轴的振动频率, $w_d$ 为驱动频率, $\xi_x$ 为X轴的阻尼系数, $\xi_y$ 为Y轴的阻尼系数, $t$ 为相应时间, $A_x$ 为X轴振幅的系数, $A_y$ 为Y轴振幅的系数,

[0098] 通过简化,可以得到X轴、Y轴哥氏力的表达式

$$[0099] \quad F_{cx} = 2(m_1 + m_2)\Omega_x B_x w_x \cos(w_x - \varphi_x) \quad (11)$$

$$[0100] \quad F_{cy} = 2(m_3 + m_4)\Omega_y B_y w_y \cos(w_y - \varphi_y) \quad (12)$$

[0101] 其中, $\Omega_x$ 为X轴接收到的角速度, $\Omega_y$ 为Y轴接收到的角速度,

[0102] 进而可以得到哥氏力加速度的表达式

$$[0103] \quad a_x = 2\Omega_x B_x w_x \cos(w_x - \varphi_x) \quad (13)$$

$$[0104] \quad a_y = 2\Omega_y B_y w_y \cos(w_y - \varphi_y) \quad (14)$$

[0105] 利用上面式,结合陀螺内部结构整理得出Coriolis加速度、输入角速度与透射率的关系式:

$$[0106] \quad a_{cx} = \frac{T - b_0}{(m_1 + m_2)\rho} \frac{2Eb_x h_x^2}{3L_x} \quad (15)$$

$$[0107] \quad a_{cy} = \frac{T - b_0}{(m_3 + m_4)\rho} \frac{2Eb_y h_y^2}{3L_y} \quad (16)$$

$$[0108] \quad \Omega_x = \frac{2(T - b_0)Eb_x h_x^2}{3\rho L_x} \frac{1}{2(m_1 + m_2)B_x w_x \cos(w_x t - \varphi_x)} \quad (17)$$

$$[0109] \quad \Omega_y = \frac{2(T - b_0)Eb_y h_y^2}{3\rho L_y} \frac{1}{2(m_3 + m_4)B_y w_y \cos(w_y t - \varphi_y)} \quad (18)$$

[0110] 其中,T为透射率, $b_0$ 为节点,E为材料的杨氏模量, $b_x$ 为X轴谐振梁的宽度, $b_y$ 为Y轴谐振梁的宽度, $h_x$ 为X轴谐振梁的高度, $h_y$ 为Y轴谐振梁的高度, $\rho$ 为介观压光系数, $L_x$ 为X轴谐振梁的长度, $L_y$ 为Y轴谐振梁的长度;

[0111] 由于透射率和角速度具有一定的正比关系,经过设计的陀螺,代入各参数,便可以通过透射率的变化得到输入角速度的大小。

[0112] 本发明还提供一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪的加工方法,包括以下步骤:

[0113] (1)清洗硅片,干燥,在硅片上表面匀涂光刻胶,固化后,使用1号掩膜版光刻锚点位置;

[0114] (2)采用反应离子刻蚀RIE在硅片(1)的上表面加工锚点后,使用丙酮溶液洗去残余的光刻胶显影;

[0115] (3)清洗(1)的硅片,干燥,在硅片(1)的下表面匀涂光刻胶,固化后,使用2号掩膜版光刻机械结构;

[0116] (4)采用反应离子刻蚀RIE在硅片(1)的下表面加工机械结构后,使用丙酮溶液洗去残余的光刻胶显影;

[0117] (5)在硅片下表面沉积氮化硅,在硅片(1)的下表面匀涂光刻胶,固化后,使用3号掩膜版光刻机械结构;

[0118] (6)采用反应离子刻蚀RIE在氮化硅结构上加工三维光子晶体结构后,使用丙酮溶液洗去残余的光刻胶显影;

[0119] (7)在硅片上表面沉积氮化硅,在硅片上表面匀涂光刻胶,固化后,使用4号掩膜版光刻三维光子晶体结构;

[0120] (8)采用反应离子刻蚀RIE在氮化硅结构上加工三维光子晶体结构后,使用丙酮溶液洗去残余的光刻胶显影;

[0121] (9)取干净的玻璃衬底,在玻璃衬底表面匀涂光刻胶,使用5号掩膜版光刻衬底结构;

[0122] (10)将步骤(9)的玻璃衬底与步骤(6)的硅片(1)的下表面进行阳极键合;

[0123] (11)取干净的玻璃,在玻璃表面匀涂光刻胶,使用6号掩膜版光刻盖帽结构;

[0124] (12)将步骤(11)的玻璃衬底与步骤(4)的硅片(1)的上表面进行阳极键合,即可得到一种基于三维光子晶体的四质量光机电三轴陀螺仪。

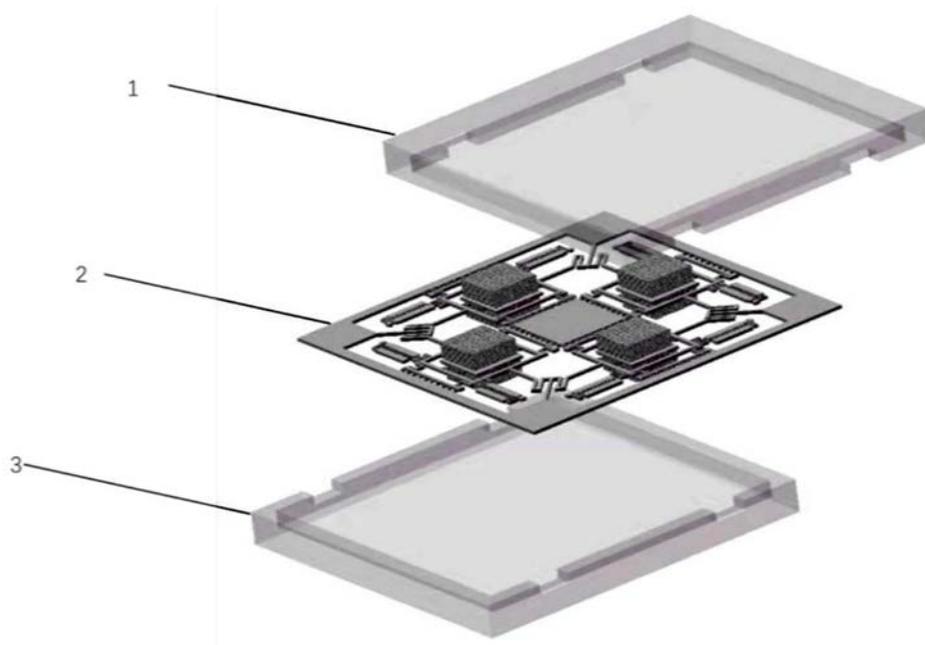


图1

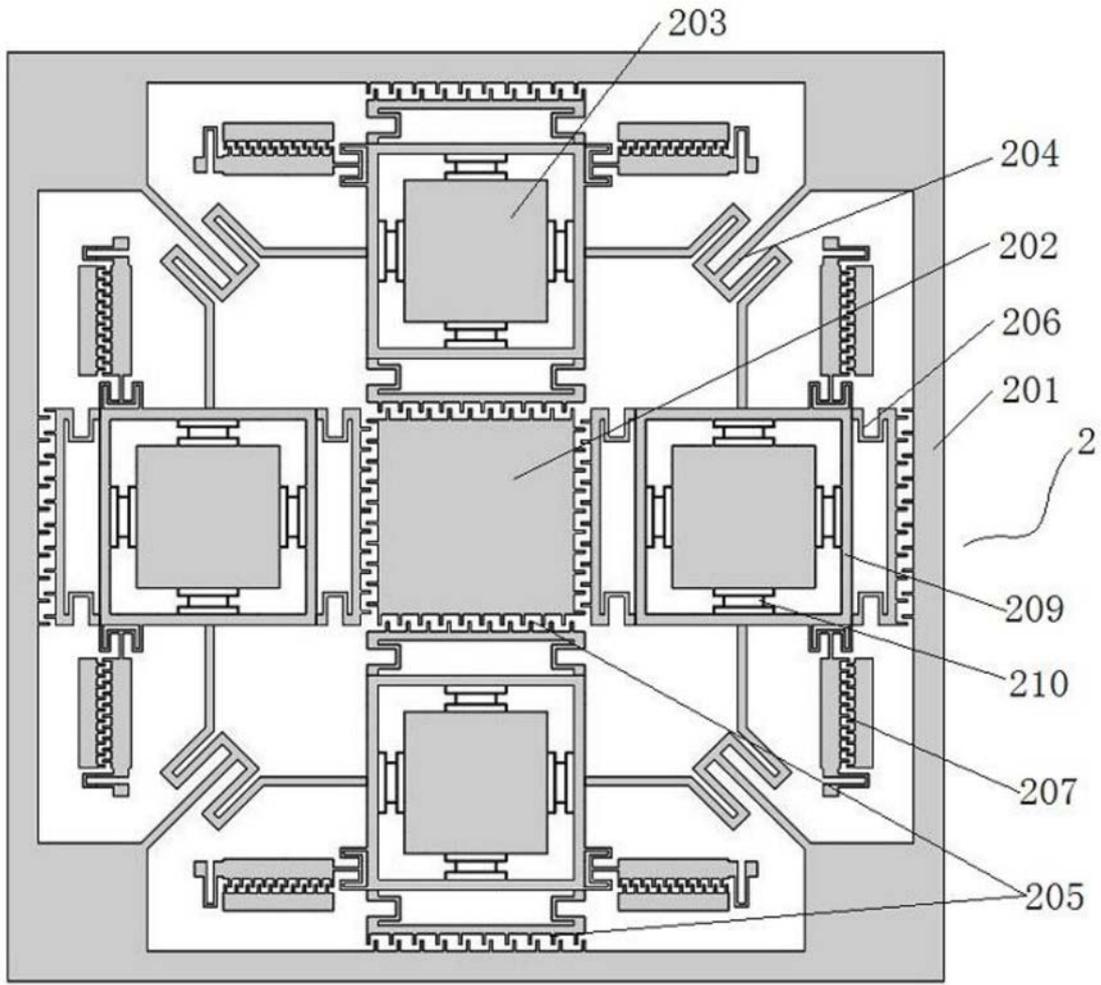


图2

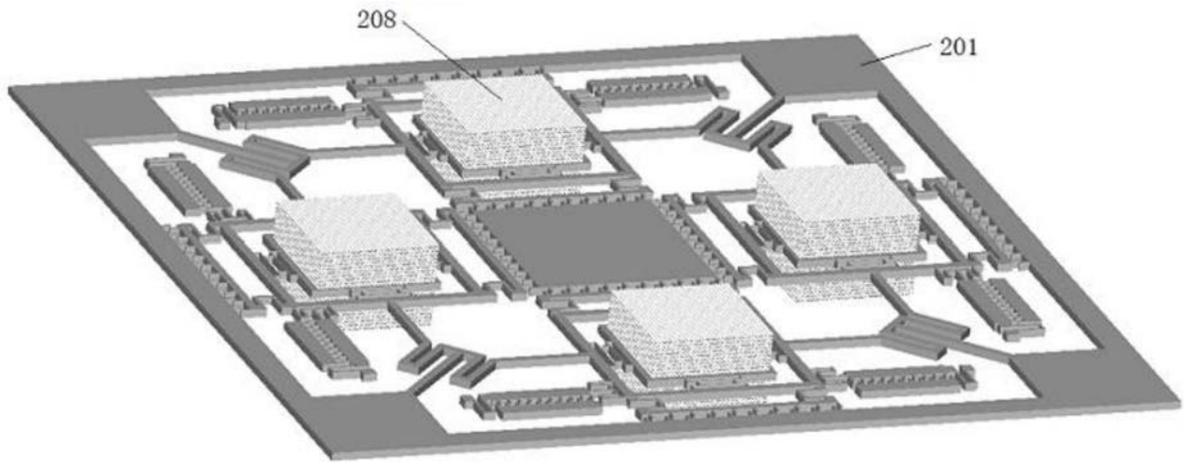


图3

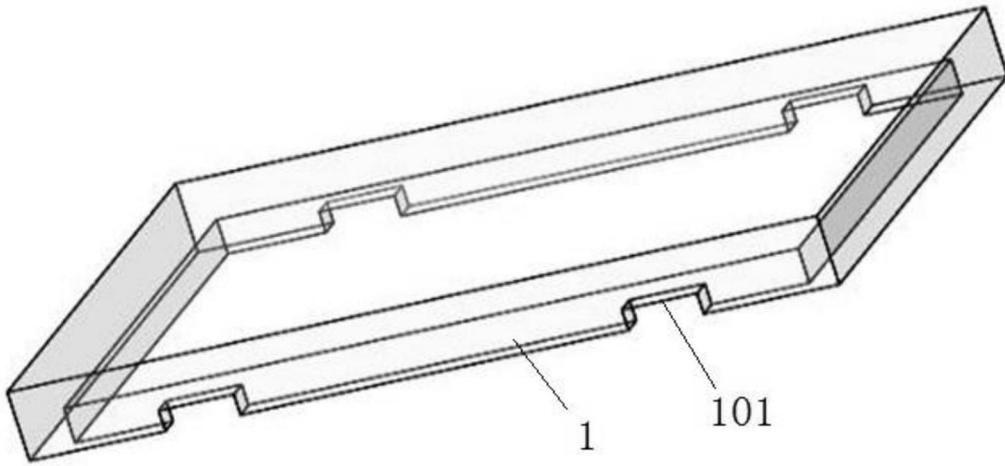


图4

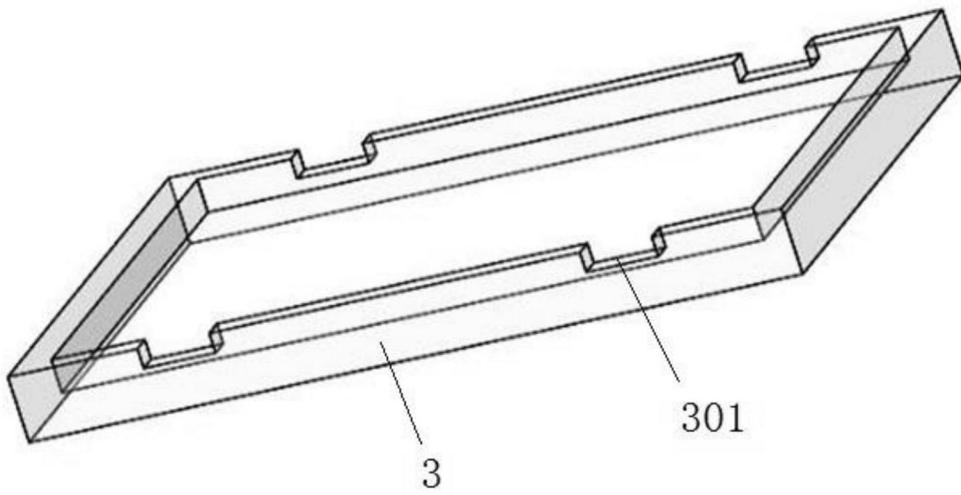


图5

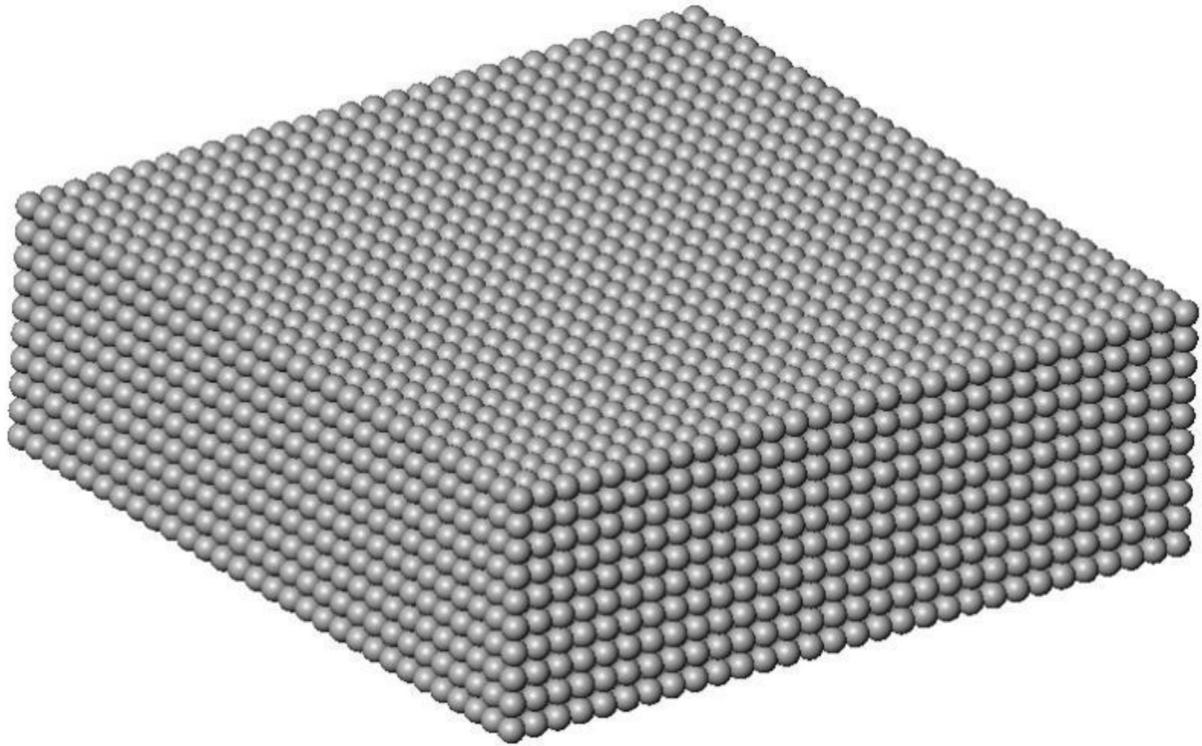
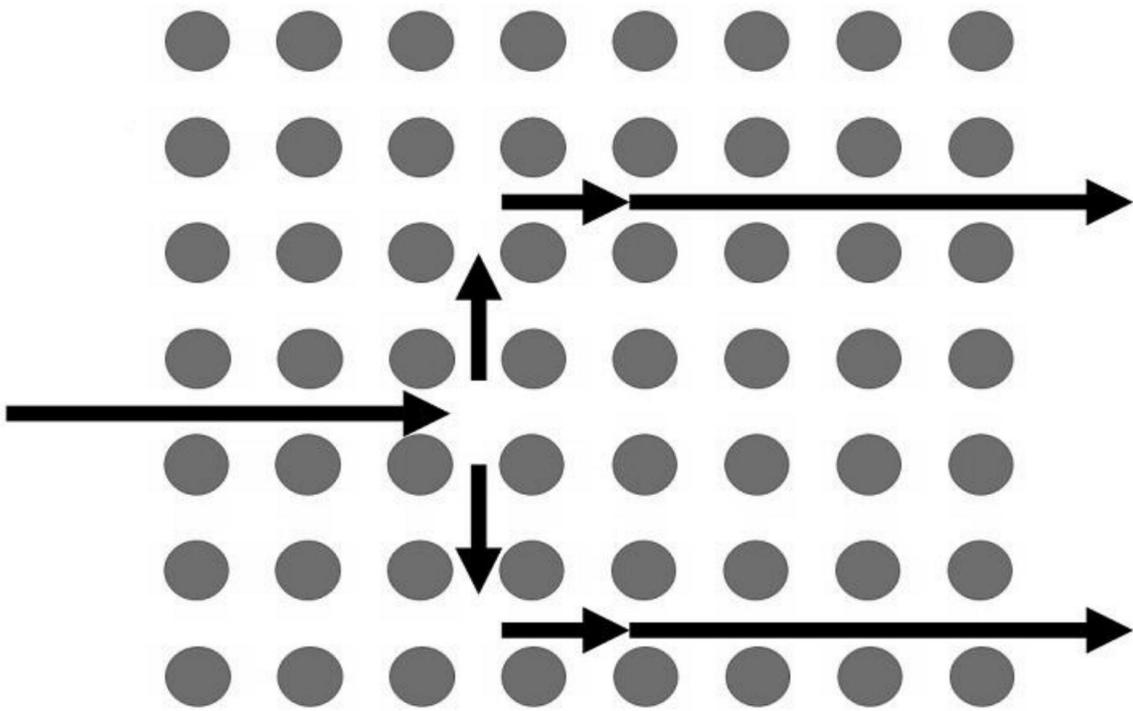
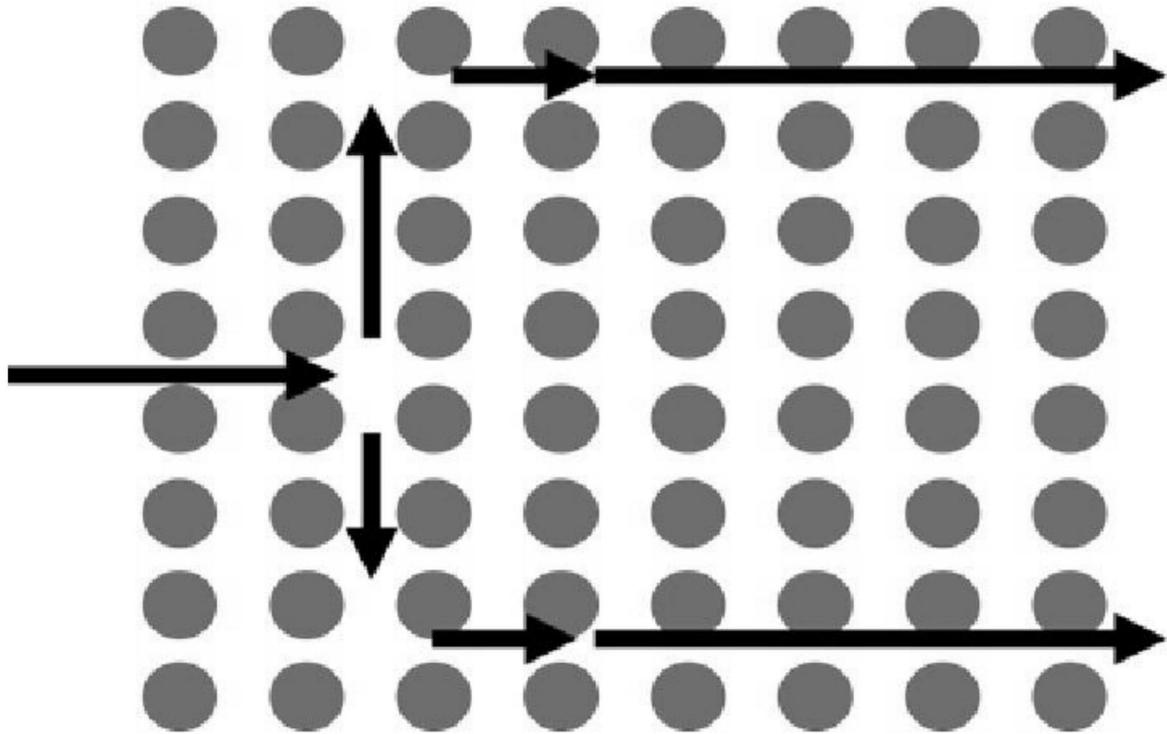


图6



(a)



(b)

图7

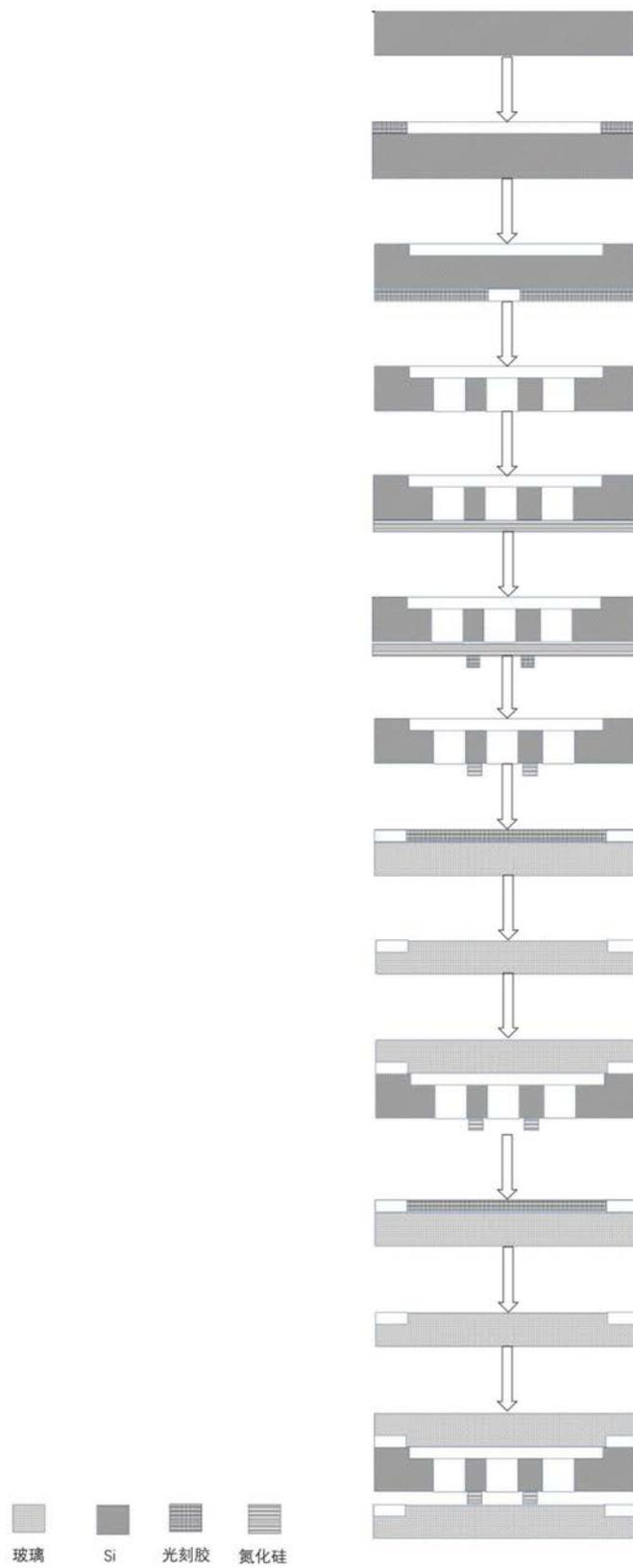


图8