



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105452832 B

(45)授权公告日 2018.11.30

(21)申请号 201480045404.0

(22)申请日 2014.06.04

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105452832 A

(43)申请公布日 2016.03.30

(30)优先权数据
13170867.9 2013.06.06 EP
13196824.0 2013.12.12 EP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.02.15

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2014/061625 2014.06.04

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/195372 EN 2014.12.11

(73)专利权人 丹麦技术大学

地址 丹麦林格比

(72)发明人 K·雷克 C·厄斯特高 O·汉森
E·V·汤姆森

(74)专利代理机构 隆天知识产权代理有限公司
72003

代理人 张浴月 石海霞

(51)Int.Cl.
G01L 9/00(2006.01)
G01L 23/16(2006.01)
H04R 1/00(2006.01)

审查员 王媛

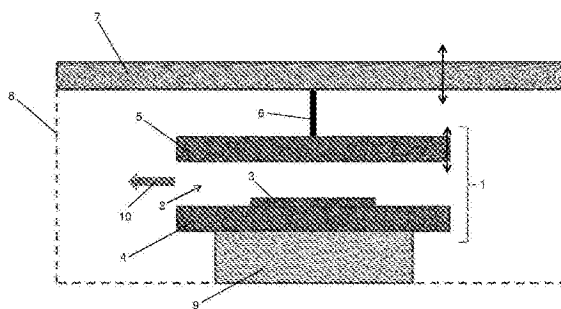
权利要求书3页 说明书23页 附图36页

(54)发明名称

全光压力传感器

(57)摘要

本发明涉及一种包括容纳分布式布拉格反射器的波导的全光压力传感器。通过利用波导的有效折射率调制以及对由布拉格反射器反射的光的波长移位的检测可以提供压力感测。还可以提供声音感测,因此有了全光学麦克风。本发明的一个实施例涉及一种光学压力传感器,包括至少一个外膜和波导,该波导包括:至少一个核芯,用于限制和引导光;至少一个分布式布拉格反射器,位于至少一个核芯中;以及至少一个内偏转元件,形成核芯的至少一部分,其中压力传感器被配置使得至少一个核芯的几何结构和/或尺寸在至少一个外膜受压力作用时改变。



1. 一种光学压力传感器,包括壳体、至少一个外膜,其中所述至少一个外膜被合并到所述壳体的一个表面中,以及被附接在所述壳体内部的波导,所述波导包括:

- 至少一个核芯,用于限制和引导光;
- 至少一个分布式布拉格反射器,位于所述至少一个核芯中;以及
- 至少一个内偏转元件,形成所述至少一个核芯的至少一部分,其中所述至少一个内偏转元件形成所述波导的一侧,

其中所述压力传感器被配置使得所述至少一个内偏转元件连接到所述至少一个外膜,使得所述至少一个核芯的几何结构和/或尺寸在所述至少一个外膜受压力作用时改变,或者

其中所述压力传感器配置为使得可以在所述至少一个内偏转元件与所述至少一个外膜之间建立连接,使得所述至少一个核芯的所述几何结构和/或尺寸在所述至少一个外膜受预定等级压力作用时改变,

其中所述至少一个外膜和所述至少一个内偏转元件形成两个单独的偏转元件。

2. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述波导和/或所述至少一个核芯具有平面、带状或肋几何结构。

3. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述至少一个核芯是中空的。

4. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述至少一个分布式布拉格反射器至少部分位于所述波导的所述至少一个核芯中。

5. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述至少一个分布式布拉格反射器位于所述波导的与所述至少一个内偏转元件相对的表面上。

6. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述波导的最大宽度是所述波导的最大高度的至少10倍。

7. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述至少一个核芯的最大宽度是所述至少一个核芯的最大高度的至少100倍。

8. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述至少一个分布式布拉格反射器的最大高度小于所述至少一个核芯的所述最大高度的20%。

9. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述至少一个外膜与所述至少一个内偏转元件之间的连接被合并到所述壳体的一个表面。

10. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述至少一个外膜是所述壳体的一个表面的一部分。

11. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述至少一个外膜和/或所述至少一个外膜与所述至少一个内偏转元件之间的所述连接在所述壳体的一个表面设置为一个或更多个凹部。

12. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述至少一个外膜与所述至少一个内偏转元件之间的所述连接被设置为合并到所述壳体的一个表面的杆。

13. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述波导被附接至所述壳体的包括所述至少一个外膜的内表面。

14. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述波导被附接至所述壳体的内表面,并且其中所述内表面的至少一部分被抛光。

15. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述波导由两个粘结衬底制成,并且其中所述至少一个核芯在所述衬底中的一个中形成凹部。

16. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述至少一个核芯是中空的,并且其中所述传感器还包括:邻近空芯波导的一个或更多个实芯耦合波导。

17. 根据权利要求16所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导是折射率引导实芯耦合波导,适于用作耦合元件,所述耦合元件用于将光耦合入和/或耦合出所述空芯波导的非实芯。

18. 根据权利要求16所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导的所述实芯的一端尺寸适用于所述空芯波导的所述空芯的尺寸。

19. 根据权利要求16所述的光学压力传感器,其中所述空芯波导和所述一个或更多个实芯耦合波导由两个粘结衬底制成。

20. 根据权利要求19所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导通过所述衬底中的一个上的至少三个水平层来垂直地限定,其中中间层具有比上包层和下包层高的折射率。

21. 根据权利要求19所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导通过所述衬底中的一个上的与所述至少一个内偏转元件大体平行的至少三个层来限定,其中中间层具有比上包层和下包层高的折射率。

22. 根据权利要求16所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导由大体平行于所述内偏转元件且位于所述至少一个内偏转元件下方的至少一个导光层来限定。

23. 根据权利要求22所述的光学压力传感器,其中所述至少一个导光层由光限制层包围,其中所述至少一个导光层具有比所述光限制层高的折射率。

24. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述至少一个核芯包括沿所述光的传播方向延伸的至少一个实芯脊。

25. 根据权利要求24所述的光学压力传感器,其中所述至少一个实芯脊由导光材料制成。

26. 根据前述权利要求24至25中任一项所述的光学压力传感器,其中所述光学压力传感器和/或所述至少一个实芯脊被配置使得在所述波导的所述至少一个核芯中传播的光限制在所述至少一个实芯脊内以及所述至少一个实芯脊周围。

27. 根据前述权利要求24至25中任一项所述的光学压力传感器,其中所述至少一个实芯脊位于所述波导的所述至少一个核芯中心。

28. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,还包括:后室,位于和/或合并到所述壳体中。

29. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中后室由将所述至少一个外膜和所述至少一个内偏转元件分离的体积形成。

30. 根据前述权利要求28至29中任一项所述的光学压力传感器,其中所述压力传感器被配置使得所述至少一个核芯的所述几何结构和/或尺寸在所述至少一个外膜受声音作用时改变,使得所述光学压力传感器是光学麦克风。

31. 根据权利要求1所述的光学压力传感器,其中所述至少一个外膜被合并到所述壳体

的顶面。

32. 根据权利要求15所述的光学压力传感器,其中所述衬底为硅或派热克斯玻璃或二氧化硅或熔融二氧化硅衬底。

33. 根据权利要求19所述的光学压力传感器,其中所述衬底为硅或派热克斯玻璃或二氧化硅或熔融二氧化硅衬底。

34. 根据权利要求23所述的光学压力传感器,其中所述至少一个导光层由ARROW层包围,其中所述至少一个导光层具有比所述光限制层高的折射率。

35. 根据权利要求28所述的光学压力传感器,还包括:后室,位于和/或合并到所述壳体的壁中。

36. 根据权利要求16所述的光学压力传感器,其中所述至少一个核芯是中空的,并且其中所述传感器还包括:邻近空芯波导的两个实芯耦合波导。

37. 根据权利要求20所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导通过所述衬底中的一个上的至少三个实芯层来垂直地限定,其中中间层具有比上包层和下包层高的折射率。

38. 根据权利要求21所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导通过所述衬底中的一个上的与所述至少一个内偏转元件大体平行的至少三实芯层来限定,其中中间层具有比上包层和下包层高的折射率。

39. 一种压力传感器系统,包括:

- 根据前述权利要求中任一项的一个或更多个光学压力传感器;
- 至少一个光源;
- 至少一个发射光学波导,用于将来自所述至少一个光源的光引导到所述光学压力传感器的核芯中;
- 检测器,用于测量从布拉格反射器反射的光;以及
- 数据处理器,适用于分析所述反射光的一个或更多个布拉格波长的变化。

40. 根据权利要求39所述的压力传感器系统,其中所述数据处理器适用于分析所述反射信号的频率调制。

41. 根据前述权利要求39至40中任一项所述的压力传感器系统,其中所述至少一个光源是多模光源。

42. 根据前述权利要求39至40中任一项所述的压力传感器系统,还包括:耦合元件,用于将从所述布拉格反射器反射的光耦合入所述检测器中。

43. 根据前述权利要求39至40中任一项所述的压力传感器系统,其中所述至少一个光源是宽带光源。

44. 根据前述权利要求42所述的压力传感器系统,其中所述耦合元件为循环器。

45. 一种分布式压力传感器系统,包括根据前述权利要求1至38中任一项所述的多个光学压力传感器,其中所述光学压力传感器串联和/或并联复用。

全光压力传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种包括容纳分布式布拉格反射器的波导的全光压力传感器。通过利用波导的有效折射率调制以及对由布拉格反射器反射的光的波长移位的检测可以提供压力感测。还可以提供声音感测,因此有了全光学麦克风。

背景技术

[0002] 传感器是借助于将物理量转换成传感器特定输出信号的一个或多个检测机构来检测属于传感器环境的特定物理量的装置。通常使用的传感器的众所周知的示例包括温度计、速度计、电压表、雷达和地震仪。因为MEMS允许小规模传感器和廉价批量生产,所以使用微机电系统(MEMS)技术制造绝大多数现代机械传感器。随着MEMS技术的发展和微光学感测技术的出现,扩展的术语微光学机电系统(MOEMS)已被广泛接受。与先前技术相比,MOEMS允许更通用的传感器设计和在更难以接近环境中量的检测。

[0003] 全光学传感器具有使其在较宽应用范围引起人们关注的许多优点,诸如允许远程感测的光纤中的低传输损耗。全光学传感器的感测方法通常可分为幅度调制(AM)和频率调制(FM)感测。频率调制是指如下事实:将反射光的波长变化用于确定所测量的物理量,而不是确定如幅度调制中的反射光的幅度。虽然基于AM的传感器由于信号的通/断特性而可实现极其高的灵敏度,但是信号固有地容易受到传输损耗和噪声的影响,并且所述传感器不容易整合到较大的传感器阵列中,因为每个传感器需要它自己的传输线。另一方面,基于FM的传感器不具有与基于AM的传感器几乎相同的灵敏度,然而,所述基于FM的传感器相对于噪声更加稳固,并且容易整合到大的分布式传感器系统中,因为多个传感器可共享一条传输线。当今主要的全光学传感器是基于频率调制的光纤布拉格光栅(FBG)传感器,其中布拉格光栅的变形用于调制信号。

[0004] 光学传感器具有四大优点:它们对电磁干扰有免疫力,对恶劣环境有抵抗力,简化了测量分布式物理量(例如压力、温度和应力)的过程,以及可以复用。然而,与当今可利用的大量电传感器和光电传感器相比,全光学传感器目前代表小众市场,因为当涉及灵敏度、动态范围或价格时,大多数全光学传感器一般无法与其电对应物竞争。

发明内容

[0005] 本发明通常涉及一种全光压力传感器,具体地,本发明涉及一种全光学麦克风。声音是通过诸如固体、液体或气体的可压缩介质传输的压力振荡、或一系列压力波,并且由听觉范围内的频率构成的机械波。音频麦克风是声音传感器,因此音频麦克风通常适用于检测空气中的压力波。麦克风通常由膜(在麦克风术语中也被称为“隔膜”)和后室构成,该后室在声学上与周围环境隔离以避免声短路。后室的设置是麦克风所必需的功能,然而,通常不是压力传感器所必需的。

[0006] 全光学麦克风已经公知很多年。本发明人先前已经提出了使用MEMS技术制造的高灵敏度全光学麦克风。感测机制是基于改变合并有布拉格光栅的空芯反共振反射式光学波

导 (ARROW) 的有效折射率。通过改变有效折射率而不是光栅周期来获得高度改进的灵敏度。在卡斯帕·雷克 (Kasper Reck) 的博士论文: “MEMS 光学传感器系统 (MEMS Optical Sensor Systems)” (2011) 和克里斯蒂安·韦斯特加德 (Christian Østergaard) 的硕士论文: “基于具有整合的布拉格光栅的空芯波导的 MEMS 光学应变传感器 (MEMS Optical Strain Sensors Based on Hollow Core Waveguides with Integrated Bragg Gratings)” (2011) 中详细描述了这种全光学麦克风。在这些出版物中, 可以找到有关光学传感器波导的背景理论的细节、设计细节和制造细节, 所述出版物因此以全文引用的方式并入。

[0007] 为了获得用于全光学麦克风的压力传感器的所需灵敏度, 研发出高精度的 ARROW 波导设计, 其中麦克风后室被合并到波导中。然而, 即使在利用 MEMS 技术的情况下, 这些波导设计被证明是难以在实践中实现。在 2013 年 6 月 6 日提交的发明名称为 “MEMS 光学传感器 (MEMS optical sensor)” 的待批准专利申请 PCT/EP2013/061701 中, 本发明人放弃了全光学麦克风的概念, 而是引入了采用与光的高阶模传播和检测合并的新的和更简单的波导设计的光学传感器, 从而提高了 MEMS 光学传感器的灵敏度。PCT/EP2013/061701 因此以全文引用的方式并入。

[0008] 在 PCT/EP2013/061701 中公开的简单化波导设计提供了在允许空芯光学波导的低成本生产的制造过程中的主要优点。但是这些简单设计并没有对压力感测进行优化, 特别是没有对声音感测进行优化。因此, 本发明的一个目的在于设计一种可以在实践中实现的全光压力传感器。因此, 本发明的第一方面涉及一种光学压力传感器, 包括至少一个外膜和波导, 该波导包括: 至少一个核芯, 用于限制和引导光; 至少一个分布式布拉格反射器, 位于至少一个核芯中; 以及至少一个内偏转元件, 形成核芯的至少一部分, 其中压力传感器被配置使得至少一个核芯的几何结构和/或尺寸在至少一个外膜受压力作用 (诸如压力或压力波的改变或变化或振荡) 时改变。

[0009] 另一个实施例涉及一种光学压力传感器, 包括壳体、至少一个外膜以及附接在壳体内部的波导, 该波导包括: 至少一个核芯, 用于限制和引导光; 至少一个分布式布拉格反射器, 位于至少一个核芯中; 以及至少一个内偏转元件, 形成核芯的至少一部分, 其中压力传感器被配置使得所述至少一个内偏转元件连接到至少一个外膜, 使得至少一个核芯的几何结构和/或尺寸在至少一个外膜受压力作用时改变, 或者其中压力传感器被配置使得可以在所述至少一个内偏转元件与所述至少一个外膜之间建立连接, 使得至少一个核芯的几何结构和/或尺寸在至少一个外膜受预定等级压力作用时改变。

[0010] 内偏转元件可以连接到至少一个外膜。然而, 压力传感器可配置使得可以在所述至少一个内偏转元件与所述至少一个外膜之间建立连接。可能地, 压力传感器被配置使得当至少一个外膜受该外膜的预定量压力及以上作用时, 可以在所述至少一个内偏转元件与所述至少一个外膜之间建立连接。即, 压力传感器可配置使得当至少一个外膜受该外膜的预定量压力及以上作用时, 至少一个核芯的几何结构和/或尺寸可以被改变。因此, 压力传感器可配置使得存在极限压力, 其中传感器未提供低于该极限的信号, 而是提供高于该压力极限的信号。

[0011] 由于核芯尺寸和/或几何结构的变化, 核芯的有效折射率改变。内偏转元件可以采取呈膜形式, 从而具有两个膜, 即内膜和外膜。压力传感器可以是静态压力传感器。本发明还涉及一种光学麦克风, 包括后室、至少一个外膜和波导, 该波导包括: 至少一个核芯, 用于

限制和引导光；至少一个分布式布拉格反射器，位于至少一个核芯中；以及至少一个内偏转元件，连接到至少一个外膜且形成核芯的至少一部分，其中麦克风被配置使得至少一个核芯的几何结构和/或尺寸在至少一个外膜受声音作用时改变。波导可以例如被附接在后室内部。

[0012] 通过将光发送到波导核芯中并利用波导的有效折射率调制以及通过检测由布拉格反射器反射的光的波长移位可以提供压力感测（以及麦克风中的声音感测）。

[0013] 目前要求保护的具有包括分布式布拉格反射器的波导的折射率调制的压力传感器背后的感测原理不是新的。但现有技术的光学MEMS麦克风仅采用一个膜，即仅一个偏转元件。该膜形成波导的一侧并且在使用麦克风时直接受声压作用。本全光压力传感器的关键方面是提供额外的偏转元件-外膜。外膜与内偏转元件接触（或者可以使外膜与内偏转元件接触），该内偏转元件形成波导的一侧（或者所述侧的至少一部分）。在这种新的麦克风设计中，其为受声压作用的外膜。在现有技术的光学MEMS麦克风中，单个偏转元件必须满足麦克风的设计限制的数目以正确地进行压力感测。首先，单个偏转元件必须采取膜的形式以检测压力波（特别是声音）。此外，后室必须是波导芯片的一部分。通过具有两个偏转元件，压力传感器设计的自由度被大大扩展。可以在波导中对内偏转元件的功能进行优化，以及可以对外膜的功能进行优化作为后室中的压力波的接收器。随着外膜和后室，可能地，波导的外部的出现，与现有技术的MEMS麦克风相比，后室间隔已显著增加。增加的后室间隔可以提高灵敏度以及解决噪声问题，例如麦克风的失真。图3a和图3b公开了根据本发明的麦克风实施例，其中两个膜之间的连接由连接杆提供。

[0014] 在大多数情况下，核芯的几何结构和/或尺寸的变化是波导的几何结构和/或尺寸变化的结果。例如，内偏转元件形成波导的一部分，并且当内偏转元件移动时，波导的几何结构和/或尺寸改变。因此，波导或核芯的几何结构和/或尺寸的变化在本文中可以互换地使用。本文所提及的波导包括一个或多个核芯，通常包括一个核芯。通常在核芯中提供光在波导中的限制，因此光在波导中的传播隐含地意味着光在核芯中传播。因此，光在波导和核芯中的传播在本文中可以互换地使用。在波导核芯内部，光可具有主传播方向，通常沿波导的纵向方向。

附图说明

[0015] 现将参照附图进一步详细描述本发明，在附图中：

[0016] 图1a示出光纤布拉格光栅 (FBG) 的原理；

[0017] 图1b示出空芯波导中的布拉格光栅的原理；

[0018] 图1c示出布拉格波长由于图1b中的波导核芯的尺寸变化的移位；

[0019] 图1d是在空芯中容纳布拉格光栅的平板波导的透视图；

[0020] 图2a-d示出仅具有一个膜的现有技术的MEMS光学麦克风；

[0021] 图3a是根据本发明的光学麦克风的实施例的横截面侧视图；

[0022] 图3b是图3a中的光学麦克风的横截面透视图；

[0023] 图3c是根据本发明的光学麦克风的示例的照片；

[0024] 图4a到图4b分别示出正常和倒置的光栅设计；

[0025] 图4c示出波纹状偏转元件的示例；

- [0026] 图4d示出来自图3c的波导的横截面图；
- [0027] 图5a到图5d示出不同的示例性光栅设计；
- [0028] 图6示出具有光栅和偏转元件的简单平板波导的透视图；
- [0029] 图7a到图7b示出多个光学传感器的复用；
- [0030] 图8a示出在合并有布拉格光栅的波导中传播的基模和高阶模的空间限制的示例；
- [0031] 图8b示出多模光学传感器波导的反射光谱的示例；
- [0032] 图9a示出来自图3c的原型光学麦克风的灵敏度；
- [0033] 图9b示出来自图3c的原型麦克风的功率谱密度；
- [0034] 图10a到图10b示出借助于波导的弯曲底面获得的切趾 (apodized) 光栅；
- [0035] 图11是波导芯片的透视图，其中借助于折射率引导实芯波导提供与核芯的耦合；
- [0036] 图12是波导芯片的透视图，其中借助于实芯导光层提供与核芯的耦合；
- [0037] 图13a到图13b是具有在光的传播方向上延伸的布拉格光栅和中心实芯脊的波导核芯的透视图，其中脊位于与布拉格光栅相同的平面或相对的平面(膜)上方或者两者上方；
- [0038] 图14到图16是具有布拉格光栅和实芯脊的波导核芯的各实施例的示例性特写例示图；
- [0039] 图17示出本文公开的包括待合并到壳体中的波导芯片的压力传感器的一个实施例的可能组件，其中外膜被合并到壳体的盖中；
- [0040] 图18a到图18d示出待附接至例如合并有外膜的壳体的顶面的波导芯片的示例性透视图；
- [0041] 图19a到图19c示出本文公开的压力传感器的各实施例的横截面图，其中波导芯片被附接至壳体的顶部内表面且外膜被合并到顶面中；
- [0042] 图20a到图20c与图19类似，具有外膜及在内膜与外膜之间的连接的不同实施例；
- [0043] 图21a到图21c与图19和图20类似，但具有减小的外膜厚度及后室的不同设置，从而使压力传感器(即麦克风)适用于声压测量；
- [0044] 图22a与图20c类似，但具有稍微减小的在内膜与外膜之间的塔梁(pylon)连接的高度；
- [0045] 图22b与图19和图20类似，具有在内膜与外膜之间的连接的不同实施例，在这种情况下由不可压缩流体提供连接；以及
- [0046] 图22c与图22b类似，其中借助于不可压缩流体提供在内膜与外膜之间的连接，然而与图22b相比不可压缩流体的体积更大。

具体实施方式

[0047] 在本发明的优选实施例中，压力传感器是全光学的，即，光是检测压力所需的唯一物理参数(例如压力变化，例如声音)，因此，不需要电线、磁场、或者其它检测或信号读取装置。微机电系统(MEMS)技术可用于制造本全光压力传感器的波导，从而提供基于MEMS的光学压力传感器。在大多数光学波导中，光被限制核芯内，所述核芯具有比称作包层的周围介质高的折射率。这种限制光的方法表示全内反射。如果核芯具有比包层低的折射率，例如空芯波导的情况，则该波导称作“漏(leaky)”波导。

[0048] 优选地,本光学压力传感器的感测原理是基于感测有效折射率的变化,而不是感测布拉格周期的变化,所述布拉格周期的变化在常规FBG传感器中用于调制布拉格波长。由于有效折射率的变化,基本感测机制的灵敏度可定义为布拉格波长中的变化。通过理论证明,灵敏度仅取决于布拉格波长、波导核芯的总高度和核芯材料的折射率。

[0049] 当连接时,外膜和内偏转元件作为一种变换器一起工作,旨在准确地相互转换机械运动和例如由声音造成的压力变化。压力波的变化空气压力使外膜振动,然后这些振动经由它们之间的连接传送到内偏转元件,从而调制波导核芯的尺寸和/或几何结构。因此,通过在外膜上产生的振荡压力来调制波导的有效折射率。

[0050] 考虑两个区域,一个区域仅具有核芯材料并且一个区域具有核芯材料和布拉格反射器材料二者。在仅具有核芯材料的区域中,有效折射率是简单地通过改变波导核芯几何结构来调制。光的低空间限制(等效于大核芯)将增加有效折射率,而高空间限制(等效于小核芯)将减小有效折射率。在具有核芯和光栅材料的区域中,两种影响都会起作用;如前所述,由于较高或较低空间限制,核芯部分的折射率将改变,但是整个区域的有效折射率还将取决于波导模在区域的光栅部分中的一部分有多大以及波导模在核芯部分中的一部分有多大。如果整个波导模均处于核芯部分中,那么情况等效于不存在光栅材料的第一种情况。但是,如果模与光栅的不断增大的部分重叠,那么整个区域的有效折射率将会趋向于光栅部分的有效折射率。可沿一个或多个轴线进行有效折射率调制。

[0051] 波导核芯尺寸的变化受波导材料的顺从性限制。通过使用非实芯(non-solid core)(例如液体填充核芯或空芯)来获得高顺从性。然而,通过使用空芯波导可能获得最高可能的顺从性,即核芯基本上至少部分地包括气体,诸如空气。因此,在本发明的一个实施例中,核芯是非实芯的,优选地,核芯是中空的。本领域已知一些空芯波导设计,所述空芯波导设计包括光子晶体、分布式布拉格光栅和反共振反射光学波导(ARROW)。

[0052] 因为核芯的顺从性比核芯由液体或固体填充的顺从性高得多,所以空芯波导易于扩张/压缩。高顺从性意味着对物理变形力具有高灵敏度。当涉及制造和操作时,实芯比典型的空芯简单,因为实芯可利用用于限制光的全内反射。这对于空芯波导通常是不可能的,因为气体(例如空气)的折射率相对较低。液体核芯波导可具有比固体核芯波导高或低的顺从性,并且可利用用于限制光的全内反射。如果物质(例如颗粒或DNA)将要沿核芯输送,则液体核芯波导是有利的。用于在波导中以不同于全内反射的方式限制光的方法的示例包括光子晶体、ARROWS、槽波导、金属波导、分布式布拉格反射器波导和等离子体波导。

[0053] 在本发明的优选实施例中,分布式布拉格反射器位于波导的核芯中。

[0054] 图2b到图2d示出现有技术的全光学MEMS空芯麦克风,即现有技术的光学压力传感器的一个示例,具有图2b中的透视横截面图,图2c中的俯视图和图2d中的侧横截面图。这种现有技术的麦克风由接合在一起的底部晶片和顶部晶片构成。矩形ARROW波导位于底部晶片上,其连接到光纤槽耦合入口和出口的两端。由于波导核芯周围的ARROW结构,所以光被限制在波导核芯。然而,为了使ARROW传感器作为麦克风工作,其应当具有位于膜下方的空气室(即后室)以对系统中的粘性损耗进行补偿以及对有效膜硬度做出贡献。空气室因此布置在波导的每侧上。在顶部晶片上,蚀刻膜并将布拉格光栅布置在该膜上的中心处。当膜偏转时,位于膜下方的ARROW核芯的尺寸更改。顶部晶片包括光纤耦合。光穿过通过耦合连接到波导的光纤进入麦克风。图2a示出在麦克风中采用的另一种现有技术的波导设计,其中

后室是波导设计的一部分。当光穿过具有光栅的膜时,一些光将会被反射,如在示出感测原理的图1b的上面部分看到的那样。在图1b中,入射光从左向右进入波导,并且当入射光穿过布拉格光栅时,一些光从光栅被反射且从右向左传播。膜在受压力作用时将会偏转,这将波导的高度从W1变为W2。如在图1b的下面部分看到的那样,这种偏转改变了反射波长。通过分析反射信号,可以确定膜的偏转并由此确定压力。图1c示出当反射光变化(虚线到实线)时信号可能会如何变化。反射波长的变化同样可以被看到。

[0055] 本光学压力传感器的波导可以具有简单的平面或带状几何结构,从而使本文描述的光学压力传感器大大区别于现有技术的采用更复杂的波导设计的光学压力传感器。作为简单设计的示例,本波导可以具有单独的平面几何结构或单独的带状几何结构。根据本发明的光学压力传感器的另一个实施例,可提供具有肋(rib)或多肋几何结构的波导。

[0056] 当考虑到波导核芯中的几何结构和/或尺寸变化时,术语几何结构变化和尺寸变化包括几何结构的形状(例如,从圆形变为矩形)和缩放(例如,将矩形几何结构的大小增加到例如其初始大小的两倍)的变化。

[0057] 本波导可以是例如平板波导、带状波导(诸如矩形波导,圆形或半圆形波导)或者肋或多肋波导。核芯的横截面可以是矩形、多边形或圆形、半圆形、椭圆形、半椭圆形或其任意组合。类似地,核芯的限制可以是大致上矩形、多边形或圆形、半圆形、椭圆形、半椭圆形或其任意组合。

[0058] 平板波导易于实现,但是将仅在一个方向上限制光,因此传播和耦合损耗(尤其对于传输信号来说)可能较大。带状波导和肋波导在两个方向上限制光,并且允许较低的耦合损耗,因为光可以被引导至特定入/出耦合点。这对于复用能力可能是必要的,其中耦合损耗应当最小化。因为肋波导可以被视为是平板波导和矩形波导的组合,所以当从波导的平板/矩形部分到波导的矩形/平板部分挤压模时,可实现高有效折射率调制。这是由于这两种情况之间的限制(1维或2维)的较大差异而产生的。因此,相比在简单的平板波导几何结构中,在例如肋波导几何结构中可获得更大的有效折射率调制。

[0059] 在本发明的一个实施例中,波导的最大宽度是波导的最大高度的至少10倍,或波导的最大高度的至少20倍、或至少30倍、或至少40倍、或至少50倍、或至少60倍、或至少70倍、或至少80倍、或至少90倍、或至少100倍、或至少500倍、或至少1000倍、或至少1500倍、或至少2000倍、或至少2500倍、或至少3000倍、或至少5000倍、或至少10000倍。

[0060] 波导可以由两个粘结衬底制造,所述衬底如硅或派热克斯玻璃(pyrex)或二氧化硅或熔融二氧化硅衬底。此外,波导核芯可形成为硅衬底中的凹部,所述硅衬底如硅或派热克斯玻璃或二氧化硅或熔融二氧化硅衬底。衬底可以通过例如熔接来粘结以形成波导芯片。所述熔接如激光熔接、胶合、熔融粘结、阳极粘结或共晶粘结。

[0061] 可以使用MEMS技术制造例如呈波导芯片形式的波导。当处理光学传播时,最简单的材料是硅。然而,波导(芯片)还可以至少部分地由金属、聚合物、陶瓷或其任意组合,也包括硅来制造。

[0062] 内偏转元件和外膜

[0063] 本麦克风的感测能力与内偏转元件和外偏转元件(即外膜)的结构有关。偏转元件的材料以及几何结构、厚度和尺寸的选择会影响压力传感器的功能和特性,例如用软材料(即具有低杨氏模量的材料)可以获得较高的灵敏度,因此当杨氏模量较低时,灵敏度较高。

但是由于较低的共振,将获得较高的灵敏度,例如当压力传感器为麦克风时。因此,当设计偏转元件时,要在灵敏度与共振之间做出权衡。

[0064] 波导尺寸可以通过内偏转元件来调制,所述内偏转元件引起波导核芯的几何结构的变化,或者改变围绕核芯的材料分布。波导尺寸调制也可以通过压缩/扩张核芯来直接诱导。偏转元件之一或两者可以形成为悬臂、梁、膜、板或类似可偏转结构。偏转元件之一或两者的形状可以是圆形、椭圆形、多边形或组合。悬臂设计可能是本光学压力传感器的一个优点,因为其允许波导的有效通风。例如,内偏转元件形成波导的一侧,但是其仅附接在波导的一侧上,因此形成像游泳池中的跳板一样的悬臂。内偏转元件以悬臂形式被附接至波导的其余部分同时仍允许波导移动。波导的通风可以有助于防止当内偏转元件向下移动时在波导核芯中被压缩的空气导致的粘滞阻尼。这对于具有偏转元件的高频变化的声压应用是非常重要的。

[0065] 优选地,内偏转元件可以与外膜分离预定距离。另外,内偏转元件可以由不同于外膜的材料制成。此外,内偏转元件的柔性和/或刚性可以不同于外膜的柔性和/或刚性,例如,两者的杨氏模量可以是不同的。例如,如果内偏转元件的厚度不同于外膜的厚度。这样,内偏转元件的厚度可以小于外膜的厚度,例如小于外膜的厚度的90%、小于80%、小于70%、小于60%、小于50%、小于40%、小于30%、小于20%、小于10%、小于5%、小于3%、小于2%、或小于1%。例如,与内偏转元件相比,为了承受高压,外膜可设置为厚刚性板。因此,外膜可以比内偏转元件更具刚性,例如,刚性理解为不易偏转,例如外膜的较高杨氏模量。

[0066] 形成为具有均匀厚度的薄板的偏转元件(诸如膜)通常将以板中心具有最大偏转的方式来偏转。因此,在本发明的另一个实施例中,偏转元件之一或两者的厚度不是恒定的。例如,厚度在偏转元件之一或两者的厚度跨偏转元件的长度和/或宽度而变化。例如,偏转元件之一或两者可以包括一个或多个波纹部,例如以便在光栅位置处获得更均匀的偏转。

[0067] 例如,内偏转元件和/或外偏转元件可以由金属(优选地,例如铝或钛的轻金属)、或金属合金、或塑料、陶瓷或像橡胶一样的软材料制成。因此,偏转元件材料可以选自如下材料的组:纤维素纤维、聚丙烯(PP)、聚碳酸酯(PC)、聚酯薄膜(PET)、丝织物、玻璃纤维、碳纤维、钛、铝、铝镁合金、镍和铍。偏转元件可设置为箔(例如金属箔)。

[0068] 可以提供保护罩(例如某种网)来保护外膜,同时允许压力波穿透保护罩。优选地,后室可以由坚硬的轻质材料(例如诸如铝或钛的金属、或金属合金、或聚合物)制成或形成在外壳或壳体中。

[0069] 分布式布拉格反射器

[0070] 在本发明的优选实施例中,至少一个分布式布拉格反射器是光栅。布拉格反射器的高度影响光学压力传感器的灵敏度。这与部分地由于模/光栅重叠的变化的有效折射率调制有关。如果光栅高度等于或大于核芯高度,那么当核芯尺寸被调制时,核芯中的模/光栅重叠将没有变化(模总是与光栅完全重叠)。因此,由于模重叠的变化的有效折射率调制是可忽略的。如果光栅高度小于整个核芯高度,那么由于核芯尺寸调制的有效折射率调制不再是可忽略的。

[0071] 给定的光栅高度将以不同方式影响不同的波导模。这是由于波导模的不同空间分布。因此,在本发明的一个实施例中,分布式布拉格反射器的最大高度小于波导核芯的最大

高度的50%、或小于波导核芯的最大高度的40%、或小于30%、或小于25%、或小于20%、或小于15%、或小于10%、或小于5%。

[0072] 如果波导中的空间限制增加(例如,由于较小波导尺寸),那么仅核芯(only-core)区域的有效折射率将减小。然而,在具有核芯材料和光栅材料的区域中(其中模/光栅重叠是相关的),如果光栅的折射率大于核芯的折射率,则有效折射率可能增加。当由于模与高折射率光栅之间的较大重叠,核芯区域中的有效折射率的降低小于有效折射率的增加时,这种情况将会发生。因此,在确定最佳光栅高度时,应当考虑用于感测的实际模。因为非常高的光栅将引起反射峰带宽增加,并且同时限制偏转元件的运动,所以典型的光栅高度在小于整个波导核芯高度的25%的范围内。

[0073] 在本发明的一个实施例中,至少一个分布式布拉格反射器形成为波导表面上的多个结构。这些结构可以是突起或凹部或两者的组合。分布式布拉格反射器沿光栅的形状、高度和周期可能不是恒定的。改变单个光栅元件的高度和形状以及周期可用于产生特定反射光谱。对于低折射率调制来说,众所周知的是,反射光谱通过傅里叶变换(和逆傅里叶变换)与光栅折射率的空间分布有关。因此,在本发明的一个实施例中,周期性地改变所述结构的高度和/或宽度。另外,可以周期性地改变所述结构之间的距离。此外,所述结构可以是笔直或弯曲的,例如正弦弯曲或如弯曲为弧形或弯曲为抛物线形。一种设计可使用切趾布拉格反射器,以便例如抑制旁瓣。另一种可能性是使用啁啾(chirped)布拉格反射器。

[0074] 切趾也可以通过在非平面表面上布置分布式布拉格反射器来获得。例如,波导核芯的底面可以是凸的,即向外弯曲(图10a);或者波导核芯的底面可以是凹的,即向内弯曲(图10b)。因此,布拉格光栅的突起可以是相等的高度,但是当分布在弯曲表面上时,结果是布拉格光栅的高度沿波导核芯的长度变化,即布拉格光栅的高度沿光的传播方向变化,从而使折射率沿波导核芯的长度变化。图10示出示例。

[0075] 在本发明的一个实施例中,压力传感器包括两个或更多个分布式布拉格反射器。这些分布式布拉格反射器可以是相同或不同的。包括两个不同布拉格反射器的光学压力传感器可用于感测不同的“事件”,因为来自每个布拉格反射器的反射通常将是可区分的。

[0076] 存在将(多个)布拉格反射器放置在波导中的众多可能性。例如,分布式布拉格反射器可位于内偏转元件上。另一种可能性是,分布式布拉格反射器位于波导的与内偏转元件相对的表面上。

[0077] 内偏转元件与外膜之间的连接

[0078] 内偏转元件与外膜之间的连接对于本光学压力传感器的功能是重要的。可以借助至少一个连接杆(诸如多于一个的连接杆)来提供这种连接。杆可以是刚性的,使得即将发生在外膜上的压力波被直接“传输”到内偏转元件。因此,优选地,连接杆具有低重量,并且优选地,连接杆由刚性轻质材料制成,例如金属(诸如铝或钛)、或聚合物(诸如塑料)、或碳复合材料。连接杆可以是中空的(例如可以是中空管)以减轻杆的重量。如果目标是减轻杆的重量,优选地,杆的长度应当尽可能短(例如对于光学麦克风的给定设计),因为这将有助于减轻杆的重量。然而,较长的杆也可能是一个优点,因为较长的杆可以设计为在高压下弯曲,例如以便保护波导免受损害。为了分布在连接杆与偏转元件之间传递的力,连接杆与内偏转元件和/或外膜之间的接口可以大于杆的横截面积,即杆可以在一端或两端设置有基座。在某些情况下,连接杆是柔性的和/或可弯曲的可能是一个优点。在这些情况下,连接杆

可以具有频率滤波器(例如低通滤波器、高通滤波器或带通滤波器)的功能。如果连接杆是柔性的、有弹性的(例如呈非线性弹性形式)、和/或粘弹性的,那么可以提供这种频率滤波器。连接杆通常被附接至偏转元件之一或两者,例如通过粘合或熔接。连接杆还可以通过所述膜中的孔或孔隙被附接至偏转元件之一或两者。

[0079] 核芯中的实芯脊

[0080] 在本文所公开的压力传感器的另一个实施例中,波导核芯包括沿光的传播方向延伸的至少一个实芯脊。优选地,(多个)实芯脊由导光材料制成。可以提供(多个)实芯脊以减小波导的损耗和/或增加压力传感器的灵敏度。可以提供压力传感器的灵敏度,因为光学压力传感器和/或(多个)实芯脊可以被配置使得在波导核芯中传播的光被限制在所述(多个)实芯脊内和周围。如果实芯脊由导光材料制成,那么在核芯中传播的光将趋向于脊内和周围,即光将与脊重叠,例如在脊的周围将产生倏逝场(evanescent field)。实芯脊的示例在图13到图16中示出。

[0081] 在另一个实施例中,(多个)实芯脊位于波导核芯的中心,例如如图13到图16所示。中心脊可有助于将光限制到波导核芯的中心部分。还如图13到图16所示,(多个)实芯脊可以设置为一个或多个笔直的实芯脊。例如如图13a和图16所示,其示出两个笔直的实芯脊,其中一个实芯脊在所述(多个)分布式布拉格偏转器的每一侧邻接(多个)分布式布拉格偏转器。

[0082] (多个)实芯脊可以在(多个)分布式布拉格偏转器上方延伸核芯的长度,例如如图13b所示。(多个)实芯脊可以可选择地通过(多个)分布式布拉格偏转器延伸核芯的长度,例如如图14b、图15a和图15b所示。(多个)实芯脊的高度可以小于或等于(多个)分布式布拉格偏转器的高度,例如如图13a、图14a、图14b和图15a所示。可选择地,(多个)实芯脊的高度可以大于(多个)分布式布拉格偏转器的高度,例如如图15b和图16所示。

[0083] 如图11到图13所示,(多个)实芯脊的宽度可以小于或等于(多个)分布式布拉格偏转器的宽度。可选择地,(多个)实芯脊的宽度可以大于(多个)分布式布拉格偏转器的宽度。

[0084] 在另一个实施例中,(多个)实芯脊的最大高度小于波导核芯的最大高度的50%,或小于波导芯的最大高度的40%、或小于30%、或小于25%、或小于20%、或小于15%、或小于10%、或小于5%。

[0085] 在另一个实施例中,(多个)实芯脊的最大宽度小于波导核芯的最大宽度的50%,或小于波导芯的最大宽度的40%、或小于30%、或小于25%、或小于20%、或小于15%、或小于10%、或小于5%、或小于3%、或小于2%、或小于1%。

[0086] 在另一个实施例中,(多个)实芯脊的最大高度小于分布式布拉格反射器的最大高度的90%,或小于分布式布拉格反射器的最大高度的80%、或小于70%、或小于60%、或小于50%、或小于40%、或小于40%、或小于30%、或小于25%、或小于20%、或小于15%、或小于10%、或小于5%。

[0087] 在另一个实施例中,(多个)实芯脊的最大高度为分布式布拉格反射器的最大高度的至少105%,或大于分布式布拉格反射器的最大高度的110%、或大于120%、或大于130%、或大于140%、或大于150%、或大于200%、或大于250%、或大于300%、或大于400%、或大于500%。

[0088] 在另一个实施例中,(多个)实芯脊的最大宽度小于分布式布拉格反射器的最大宽

度的90%，或小于分布式布拉格反射器的最大宽度的80%、或小于70%、或小于60%、或小于50%、或小于40%、或小于40%、或小于30%、或小于25%、或小于20%、或小于15%、或小于10%、或小于5%。

[0089] 壳体

[0090] 压力传感器可以设置在壳体中，例如用于保护波导。本公开的光学压力传感器可设计并用于测量数千巴的压力（例如在油井中），且本公开的光学压力传感器可用于感测声压，该声压可对应于 10^{-3} 巴或者甚至 10^{-6} 巴。频率可以适用于几乎恒定的压力（即压力变化处于低频率），高达kHz或MHz范围内的压力变化频率。压力传感器适用于不同的应用在一定程度上由波导的性质和尺寸来确定。然而，本公开的大范围应用主要是由于用于压力传感器的壳体的类型。波导可以被配置为提供纳米级，也许高达微米级的内膜的变化。通过选择壳体、外膜以及外膜与内膜之间的连接尺寸、材料和厚度，壳体和外膜可以被配置为提供内膜的这些特定变化/公差。即对于被配置为测量并承受几十巴、几百巴或几千巴高压的压力传感器，壳体可以由稳固设计提供，例如用具有几毫米（例如4mm到6mm）的外表面厚度的不锈钢（或类似），且（不锈钢）外膜的厚度约为0.4mm到1mm。而对于麦克风（如示例1所示），外膜可以是非常薄的金属箔，使得小声压差可以被检测。

[0091] 图17到图21示出用于本公开的压力传感器的壳体方案的不同实施例。因此，本文公开的压力传感器可包括其中合并有波导的壳体。壳体可具有合并有外膜的表面。壳体可以由坚硬的轻质材料（例如金属（诸如铝或钛）、金属合金、不锈钢、陶瓷材料、氧化铝或聚合物）制成。

[0092] 在一个实施例中，外膜和/或外膜与内膜之间的连接被合并到壳体的一个表面。外膜可以是壳体的一个表面的一部分，例如外膜和/或外膜与内膜之间的连接可以在壳体的一个表面设置为一个或多个凹部。优选地，波导被附接至合并有外膜的壳体的表面。波导可以被附接至壳体的内表面并且其中所述内表面的至少一部分被抛光。

[0093] 图17到图21示出不同的壳体方案。图17中示出简单外壳，其具有合并有在表面形成圆形凹部的外膜的顶面（盖子）。波导被附接至盖子的内表面，使得波导的内膜邻接盖子的顶部内表面，如图18a和18b所示。在图18a中，盖子的外表面是可见的，其示出圆形凹部。图18b示出盖子的内表面，其中标记了圆形外膜的内表面/下表面，外膜的形状可适用于波导芯片的内膜的圆形。

[0094] 图18c示出另一种方案，其示出波导芯片和盖子的内表面，其中波导的外围被标记为矩形且其中外膜从盖子的内表面形成为凹部，从而可能提供壳体的平坦和光滑的外表面。外膜因此为盖子的外表面的一部分，并通过连接杆/塔梁（其直接形成为壳体表面/盖子的凹部的一部分）提供波导芯片的内膜与外膜之间的连接。图18d对应于图18c，然而壳体表面/盖子的内表面被抛光，以提供完全平坦的表面用于与波导芯片连接。

[0095] 图19a示出壳体的横截面，其中波导芯片即将被附接至壳体的顶部内表面。外膜在壳体表面形成为凹部且波导芯片被直接安装在外膜下方，使得内膜和外膜彼此邻接。在图19c中，示出外膜受提供偏转的“压力”作用，该偏转被传送给内膜，这可以经由连接伸出壳体左侧的波导芯片的光导被检测为反射光学信号的变化。

[0096] 图20示出对应的方案，其中外膜从壳体的内表面形成为凹部，使得壳体的外表面是平坦的。内膜与外膜之间的连接通过连接杆/塔梁（其形成为凹部的一部分）提供。图20c

示出波导芯片可借助于粘合剂被附接至壳体表面。壳体的其余部分(即“空隙”空间)仅仅是为了保护波导/芯片,并且其可以更小,例如减小空隙体积。可以在高度上减小连接杆/支柱/塔梁,如图22a所示,其中在连接杆与波导的内偏转元件之间存在间隙。即在低压力和低压力变化的稳态条件期间,在波导中不进行检测。因此,减小连接杆的高度使能指定传感器的期望动态范围的可能性。减小连接杆/支柱的高度将使传感器的范围的下限达到更高的压力(即上限),因为外膜的小偏转将不再被包含内膜的波导检测到。当外膜上的杆/支柱接触内膜并使内膜偏转(即外膜受某一预定压力及以上作用)时,才由波导芯片进行压力检测。这可能在恒定高压下采用压力传感器时是有利的,然后可以仅检测该高压的变化。

[0097] 图21与图19和图20对应,然而,图21被配置用于压力低得多的情况。图19到图21中的波导芯片相同,但图21中的外膜的厚度要小得多。另外,图21中的连接杆的厚度更小。在图21a中,壳体上表面的厚度也小于图19和图20中所看到的厚度。外膜的减小的厚度使得外膜缺乏刚性,即外膜对于特定压力更容易偏转,因此对于压力更为敏感。图21中还设置有后室,从而使图21中的压力传感器适合作为麦克风。后室由外膜与内膜之间的体积形成,即后室位于壳体的壁中和/或合并到壳体的壁中。在图21c中,其示出后室的体积可通过壳体的壁中的另外的凹陷而增加。还提供了从外膜下面的体积到壳体的更大体积的连接通道,使得更大体积可作为后室的一部分。

[0098] 在本公开的压力传感器的另一个实施例中,外膜与内偏转元件之间的连接借助于流体来提供,例如不可压缩流体(诸如不可压缩液体(诸如油))。优选地,液体是不可压缩的,因此适用于将压力从外膜传递到内膜。外膜和内偏转元件可以分离,并且该分离可能形成体积,优选封闭容积。该体积可由不可压缩流体(诸如不可压缩液体(诸如油))填充。压力传感器可以因此被配置使得外膜受到的压力变化通过不可压缩流体或不可压缩液体(诸如油)传递到内偏转元件,从而将外膜和内偏转元件分离。优选地,该液体应当是惰性的。壳体例如可以填充有不可压缩流体,并且其中该不可压缩流体被配置为将外膜的移动传递到内偏转元件。图22b和图22c示出示例。在图22b中,形成在壳体的壁中的位于外膜与内膜之间的体积填充有不可压缩液体,该不可压缩液体将提供到外膜的压力变化传递到安装在壳体内部的波导芯片。在图22c中,波导芯片安装在壳体的底部,并且壳体的整个体积填充有不可压缩液体。然后,外膜可以由壳体的整个上表面构成,从而可能增加外膜的面积。然后,压力传感器的灵敏度可以取决于液体的粘度。

[0099] 后室

[0100] 如前所述,麦克风通常由膜和后室构成,后室在声音上与周围环境隔离,从而避免了声短路。由于后室的体积随着膜偏转而变化,所以后室的压力也随着膜偏转而变化。因此,后室产生的顺从性影响压力传感器的灵敏度。例如,由当外膜向下移动时在后室中被压缩的空气引起的粘滞阻尼可影响压力传感器的响应。在某些情况下,这种影响可能是消极的,然而,在其它情况下,如果目标是增加频带,粘滞阻尼的影响可能是积极的,这是因为粘滞阻尼可以有助于减小压力传感器的共振。

[0101] 耦合

[0102] 在本发明的一个实施例中,压力传感器还包括耦合元件,该耦合元件用于将光耦合入和/或耦合出波导。耦合的优化对于使耦合损耗最小化是重要的。可通过改进光纤模与波导模之间的模重叠来减小将光耦合入波导中的功率损耗。在多模波导的情况下,外部光

源与波导之间的耦合可能更加重要。例如,可通过调整呈光纤形式的光输入与波导之间的角度和光纤对波导的定位来增加高阶模布拉格反射峰的幅度。这是一个优点,因为它使得更容易测量高阶模的信号。在零角度(即光纤平行于波导)处,基模通常将具有最高幅度。当角度从零变化时,二阶模的幅度将增加,而一阶模的幅度将减小。在更大角度处,较高阶模的幅度将增加并且是以较低阶模的幅度为代价的。类似地,光纤相对于波导的定位将改变单个峰的幅度以及峰的数目。如果光纤与波导的中心对齐,基模通常将具有最大幅度。在离轴位置处,较高阶模幅度将增加。因此,在本发明的一个实施例中,耦合元件被适用使得光被同轴地/相对于核芯对称地耦合入波导中。在另一个实施例中,耦合元件被适用使得光离轴地/相对于核芯不对称地耦合入波导中。此外,耦合元件可以被适用使得光以相对于核芯的非零角度耦合入波导中。

[0103] 通常,在布拉格光栅位置处调制波导的尺寸。因此,直接与这种区域的引入耦合将会引起耦合损耗的变化。因此,可在实际感测位置的前方定位具有不变尺寸的引入波导区段。另外,波导与光纤之间的锥形区段或类似耦合结构可用于增加模重叠并减小耦合损耗。

[0104] 可以通过使一个或多个实芯结构作为波导芯片的一部分来提供耦合结构。例如,空芯波导可以整合在芯片中并且一个或多个实芯结构在空芯波导中和/或外提供光学连接。这种实芯结构可以是锥形的,以使一端处的尺寸适用于光纤而另一端的尺寸适用于空芯。此外,实芯结构中的光学传输可以是折射率引导的或借助于光子晶体引导的,等等。图10a、图10b、图11和图12示出示例。在图10a和图10b中,在空(空气)芯波导的每一侧处设置实芯波导。呈膜形式的内偏转元件被附接至实芯结构。

[0105] 图11中的波导传感器芯片包括:空芯波导,该空芯波导具有呈膜形式的圆形偏转元件;以及在空芯中处于膜下方的布拉格光栅。经由在空芯的每一侧上呈两个折射率引导波导形式的两个实芯结构将光耦合入并耦合出空芯波导。因此,实芯波导适于用作耦合元件,该耦合元件用于将光耦合入和/或耦合出非实芯波导的非实芯。折射率引导波导在每一端处呈漏斗形,以朝向耦合到例如光纤的输出端逐渐变细而且朝向空芯逐渐变细。光被通过如下方式限制在这些实芯折射率引导波导中:在垂直方向上使由包层包围的芯片中具有导光水平层,所述导光水平层具有比包层高的折射率,并且在水平方向上使芯片中具有四个凹陷/孔,如图11中可见,其中凹陷/孔中空气的较低的折射率提供光在实芯折射率引导波导的核芯中的限制。这些凹陷/孔的形状形成实芯折射率引导波导区段的锥形区段。图11所示的传感器芯片可在芯片的每一侧处提供与光纤的低损耗耦合,因为可在传感器芯片的两端处将光纤的实芯耦合到实芯结构。术语“垂直地”和“水平地”应当参照附图理解,因为在操作中,本公开的压力传感器不需要定向在某个方向上作用。

[0106] 图11所示的整体原理可以被简化,如图12所示,其示出波导传感器芯片,包括:空芯波导,该空芯波导具有呈膜形式的圆形偏转元件;以及在空芯中处于膜下方的布拉格光栅。与图11所示的原理的共同之处在于实芯结构包围非实芯且这些实芯结构用作耦合元件,该耦合元件用于将光耦合入和耦合出非实芯波导。但在图12的原理中,省略了用于限制在垂直方向上的光的包层以及用于限制在水平方向上的光的凹陷。用于包含光的单层可经历(suffer)以提供用于将光耦合入和耦合出核芯的有效耦合,该层由例如呈ARROW层形式的光限制层包围(例如垂直夹在其间,如图12中可见)。

[0107] 波长

[0108] 本光学压力传感器可适用于传播具有大约1550nm电信光谱(例如从1500nm到1620nm)的波长的光,从而使得可能使用标准低损耗和低成本电信光学部件。在另一个实施例中,为了利用低成本询问监视器系统,光学麦克风可适用于传播具有大约850nm的波长的光。

[0109] 压力传感器系统

[0110] 本发明的另一方面涉及一种压力传感器系统,该压力传感器系统合并有一个或多个本文公开的光学压力传感器,此外还包括:至少一个光源(诸如宽带光源);至少一个发射光学波导,用于将来自所述至少一个光源的光引导到光学压力传感器(的核芯)中;检测器,用于测量从布拉格反射器反射的光;以及数据处理器,适用于分析反射光的一个或多个布拉格波长的变化。所述至少一个发射光学波导通常还用作来自波导以及到检测器的反射信号的光学路径。因此,本发明还涉及包括一个或多个本文公开的光学麦克风的麦克风系统。

[0111] 在另一个实施例中,压力传感器系统还包括一个或多个耦合元件,所述耦合元件用于将来自所述至少一个发射光学波导的光耦合入光学麦克风的波导中。数据处理器可适用于反射信号的频率调制。光源可以是宽带光源和/或多模光源和/或单模光源。

[0112] 根据本发明的压力传感器系统可包括多个复用光学压力传感器,从而可能形成分布式压力传感器系统。这些光学压力传感器可以串联、并联或串联/并联配置复用。每个压力传感器之间的连接可通过光纤或芯片上的波导进行。可以采用反射信号的时间复用,从而避免了对来自每个压力传感器的唯一反射的需要。

[0113] 相应地,根据本发明的麦克风系统可包括多个复用光学麦克风,从而可能形成分布式麦克风系统。这些光学麦克风可以串联、并联或串联/并联配置复用。每个麦克风之间的连接可通过光纤波导或芯片上波导进行。可以采用反射信号的时间复用,从而避免了对来自每个麦克风的唯一反射的需要。

[0114] 在本发明的一个实施例中,所述至少一个发射光学波导是光纤。可以控制光的偏振可为有利的,在本发明的另一个实施例中,至少一个发射光学波导是偏振维持光纤,诸如Panda(熊猫)型PM光纤。反射信号通常将通过携带光源的相同光纤往回传播。因此,可以提供环形器来将反射光耦合入检测器中。

[0115] 如前所述,所述一个或多个传感器光学波导可以是适合于引导光的多个模(包括基模)的多模波导。因此,数据处理器可以适用于分析反射光的多个模(包括基模)的布拉格波长的变化。

[0116] 可以利用本公开的压力传感器以监视流体(例如流体流动)的特性。例如,这可以通过监视在例如管道中流动的流体的声响应(例如通过在管道的外部安装压力传感器来监视该声响应)来提供。通过分析流体流动的声响应的变化,流体(如油、水等)中的异物(如泥沙、铁锈、泥土等)的存在和/或成分可因此被监视。

[0117] 利用本公开的光学压力传感器还可以在陆地和水中进行地震测量。传感器可配置为用于声波(地震波)的接收器,声波(地震波)在从发射器被发射之后从地面或海底中的不同层被反射。

[0118] 附图的详细说明

[0119] 图1a示出FBG的原理,所述FBG具有通过光纤的核芯从左到右传播的宽带光。通过周期性地改变波导核芯(在这种情况下是光纤核芯)的折射率来制造具有恒定周期 Λ 的呈

光栅形式的分布式布拉格反射器。在图1b中,示出空芯波导中的原理。折射率的变化充当对特定波长具有选择性的反射镜。在折射率的每一次移位时,将会发生向前传播的波的反射。因此,对于特定波长来说,在每一次反射与下一次反射同相时,反射将在构成性地相加,从而在反射光谱中,在根据以下的布拉格波长 λ_B 处提供峰

$$[0120] \quad \lambda_B = 2n_{\text{eff}} \Lambda$$

[0121] 其中, n_{eff} 是平均折射率且 Λ 是光栅周期。如果拉伸图1a中的光纤并改变布拉格光栅的周期 Λ ,则布拉格波长将会改变。这个简式也表明:可通过改变波导的有效折射率 n_{eff} 来改变布拉格波长,如图1b和图1c所示。

[0122] 图1d是根据本光学压力传感器的波导的示例性实施例的透视图。该带状波导被形成成为衬底中的凹部并合并有分布式布拉格反射器。通过上覆在凹部的顶部上的另一个衬底来形成偏转元件,从而形成波导的一侧。当合并到光学压力传感器中时,该偏转元件变为内偏转元件。当偏转元件的顶部受到力作用时,偏转元件将偏转并且从而改变波导的尺寸,并且从而改变波导的有效折射率,因为有效折射率 n_{eff} 通过如下公式确定

$$[0123] \quad n_{\text{eff}} = n_c \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_B}{2n_c d_c} \right)^2}$$

[0124] 其中, n_c 是核芯折射率,而 d_c 是核芯高度。

[0125] 图3示出呈光学麦克风形式的本光学压力传感器的示例性实施例。图3a示出横截面侧视图,其具有包括下基板4的波导1、内偏转元件5以及位于下基板上的布拉格光栅3。波导空芯2由内偏转元件5与下基板4之间的空间形成由此包含布拉格光栅3。波导1位于具有外膜7的后室8内部。波导1借助于连接封装9被附接至后室8的底部。内偏转元件5借助于连接杆6被连接到外膜7。波导1是通风的,使得在内偏转元件向下移动时被压缩的空气可以漏出。借助于箭头10来示出这种通风。

[0126] 图3b中提供了图3a中的麦克风的透视图。波导芯片1在位于外壳中的后室8的底部是可见的。提供波导芯片1中的内偏转元件5与圆外膜7之间的连接的连接杆6是可见的。通过外壳的光纤入口提供光到波导核芯2中的耦合。这种光学麦克风已经实现,并且图片在图3c中示出-参见示例1。

[0127] 图6示出具有悬臂结构(即偏转元件(内偏转元件)形成为悬臂)的简单平板波导。布拉格光栅位于波导的下部上。悬臂设计可能是本光学麦克风的一个优点,因为其允许波导的有效通风。

[0128] 为了确保内偏转元件的更均匀的偏转,所述内偏转元件的可以设置有如图4c所示的波纹部。

[0129] 例如,就波导和核芯的几何结构以及光栅的设计、类型、位置和数目而言,存在许多方式来设计本光学麦克风的波导。在下文中,将提出设计的数目。

[0130] 光栅可以实现为“正常”光栅,所述光栅形成为从如图4a所示的表面的突起或形成成为如图4b所示的表面中的凹部。就波长光谱、灵敏度等而言,可以许多方式设计光栅以适应特定的需要。图5a和图5b中以侧视图分别示出具有变化高度和间隔的光栅。图5d(笔直光栅)和图5c(弯曲光栅)中以透视图示出具有不同曲率的光栅。

[0131] 图7b示出多个光学传感器(例如光学压力传感器)可以如何沿相同的传输线进行

(频率)复用,以形成分布式光学压力传感器系统。图7a示出相同的原理,该原理具有为分布式压力传感器的不同的波导芯片供电的宽带光源。每个波导被设计为反射特定布拉格波长,并且解释器(例如光谱分析器)可以单独分析来自每个压力传感器的信号,因为波导的布拉格波长被光谱分离,如附图中插入件所示。

[0132] 本发明人已经意识到,对于感测应用而言,高阶模可以是可取的。这在PCT/EP2013/061701中被进一步详细描述。通常,高阶模具有比低阶模高的空间变化,特别是高于基模。在合并有布拉格光栅的多模波导中,多模光被传播,由于每个模的反射以及这些模之间的耦合,一些不同的峰将从光栅被反射。由于各个模形状在其空间分布上不同,它们与光栅的重叠通常也将不同。当波导尺寸被改变时,在各个模的布拉格波长的变化中可见不同模的模-光栅重叠的差异,即对于波导尺寸的波长灵敏度为模相关。在已经意识到高阶模可以有利地用于感测应用,发明人还发现仅利用简单波导设计就可以获得高灵敏度。由于感测可以基于高阶模传播和反射,波导可以具有简单的平面或带状几何结构,从而将这种光学传感器与已知的更复杂设计大大地区分离。

[0133] 因此,在本发明的另一个实施例中,波导适合于和/或适用于引导光的至少一个高阶模。因此,波导可以是多模波导,其中光的基模与多个高阶模一起被引导。来自这种多模波导的反射光谱因此将包含多个峰,每个峰通常代表模。从一个或多个反射峰或整个反射信号(即光谱指纹)可以推断来自压力传感器的信号。可选择地,波导适合于和/或适用于引导单模光。因此,波导可以是单模波导,其中光的基模被引导。可选择地,波导可以是多模波导,然而在使用中,仅有光的基模被引导和使用。

[0134] 图8a示出多模波导的基本原理。图示示出了核芯的横截面,其中光从左边传播。还示出基模和高阶模的空间限制。底部处的突起是布拉格光栅。在仅具有核芯材料的区域(如A所示出)与具有核芯材料和光栅材料的区域(如B所示出)之间的波导移位中存在不同的区域。区域A与区域B之间的模的空间限制的变化改变波导的有效折射率。模-光栅重叠的变化改变几何平均折射率,该几何平均折射率随模阶数改变。

[0135] 图8b示出多模光学传感器波导的反射光谱的示例。可容易识别来自至少两种模的峰(基模(1.)和高阶模(2.))。在波导中传播的每个模通常将在反射光谱中提供峰。然而,由于不同模之间的混合,其它峰可以出现在反射光谱中。

[0136] 示例1

[0137] 已经基于图3a和图3b所示的结构实现了呈光学麦克风形式的原型光学压力传感器。图3c示出原型的图片。麦克风的外壳是铝制的且麦克风测量大约 $6 \times 6 \times 1.2$ cm,具有直径大约为3.2cm的圆形外膜。外膜为金属箔,该金属箔被压装到外壳的匹配圆形开口中。平板波导芯片为大约4cm宽以及大约为6mm长(即沿光的传播方向长6mm)。核芯的高度为大约10微米。包围核芯的包层分别为360nm SiO_2 和220nm Si_3N_4 。呈膜形式的内偏转元件为2.5cm宽(因此形成4cm宽度的2.5cm),6mm长且具有大约95微米的厚度并且位于波导中心且形成核芯的一部分。光栅由具有圆形/弧形突起的 SiO_2 制成,且具有1.1微米的高度,800nm的周期。光栅高度因此构成核芯的高度的大约10%。整个光栅的长度为4mm,即沿波导的深度。连接杆为不锈钢圆筒,具有0.3mm的直径以及大约2mm的长度。光纤入口作为从外壳的边缘延伸的电缆是可见的,并且这是麦克风仅有的输入和输出。保护罩网保护外膜,同时允许声音贯穿网。这种类型的麦克风可以利用 $2 \times 2 \times 0.5$ cm的外壳的减小尺寸及大约1cm的相应

外膜容易地实现。

[0138] 还产生了悬臂版,该悬臂版具有附接6mm长和95微米厚的内偏转元件,悬臂具有2cm的宽度,其中大约1.25cm为自由悬挂,而剩余0.75cm被附接至波导侧。光栅具有相同的尺寸,即1.1微米的高度,4mm长及800nm周期。然而,突起是笔直的。

[0139] 图3c所示的原型特征如图9a和图9b所示。图9a示出这种原型的频率响应。绘制了当麦克风被粉红噪声激励时的灵敏度 pm/Pa 与频率。具有粉红噪声的四种不同测量和具有粉红噪声+3dB的两种不同测量几乎一致,而具有粉红噪声-10dB的两种不同测量被上覆在其它六个曲线上方。在“完美的”麦克风中,频率响应是恒定的;然而,当麦克风包括经由连接杆连接的类似两个膜的机械元件时,一些频率变化是不可避免的。图9b示出当施加1kHz的94dB时在整个光谱上测量的原型光学麦克风的 $\text{pm}/\sqrt{\text{Hz}}$ 的功率谱密度(测量1)且两种测量示出噪声本底(noise floor),从而展示出不想要的噪声不会来自麦克风本身。

[0140] 本发明的其它细节

[0141] 现在将参考以下编号的项目来进一步描述本发明:

[0142] 1、一种光学压力传感器,包括至少一个外膜和波导,所述波导包括:

[0143] -至少一个核芯,用于限制和引导光;

[0144] -至少一个分布式布拉格反射器,位于所述至少一个核芯中;以及

[0145] -至少一个内偏转元件,形成所述核芯的至少一部分,

[0146] 其中所述压力传感器被配置使得所述至少一个核芯的几何结构和/或尺寸在所述至少一个外膜受压力作用时改变。

[0147] 2、根据项目1所述的光学压力传感器,还包括后室。

[0148] 3、根据项目2所述的光学压力传感器,其中所述波导被附接在所述后室内部。

[0149] 4、一种光学压力传感器,包括壳体、至少一个外膜和被附接在所述壳体内部的波导,所述波导包括:

[0150] -至少一个核芯,用于限制和引导光;

[0151] -至少一个分布式布拉格反射器,位于所述至少一个核芯中;以及

[0152] -至少一个内偏转元件,形成所述核芯的至少一部分,

[0153] 其中所述压力传感器被配置使得所述至少一个内偏转元件连接到所述至少一个外膜,使得所述至少一个核芯的几何结构和/或尺寸在所述至少一个外膜受压力作用时改变,或者

[0154] 其中所述压力传感器被配置使得可以在所述至少一个内偏转元件与所述至少一个外膜之间建立连接,使得所述至少一个核芯的所述几何结构和/或尺寸在所述至少一个外膜受预定等级压力作用时改变。

[0155] 5、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述至少一个内偏转元件被连接到所述至少一个外膜。

[0156] 6、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,被配置使得可以在所述至少一个内偏转元件与所述至少一个外膜之间建立连接。

[0157] 7、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,被配置使得在所述外膜受预定量压力及以上作用时,可以在所述至少一个内偏转元件与所述至少一个外膜之间建立连接。

[0158] 8、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,被配置使得当所述至少一个外膜受所述外膜的预定量压力及以上作用时,所述至少一个核芯的所述几何结构和/或尺寸被改变。

[0159] 9、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述波导和/或所述核芯具有平面几何结构。

[0160] 10、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述波导和/或所述核芯具有带状几何结构。

[0161] 11、据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述波导和/或所述核芯具有肋几何结构。

[0162] 12、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述核芯是非实芯的。

[0163] 13、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述核芯是中空的。

[0164] 14、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述核芯的至少一部分是非实芯的,诸如中空的。

[0165] 15、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述核芯的至少一部分是实芯的。

[0166] 16、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述核芯的一部分是实芯的,而所述核芯的一部分是非实芯的,诸如中空的。

[0167] 17、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述分布式布拉格反射器至少部分位于所述波导的所述核芯中。

[0168] 18、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中后室由将所述外膜和所述内偏转元件分离的体积形成。

[0169] 19、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述内偏转元件由与所述外膜的材料不同的材料制成。

[0170] 20、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述内偏转元件与所述外膜优选地分离预定距离。

[0171] 21、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述内偏转元件的厚度不同于所述外膜的厚度。

[0172] 22、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述内偏转元件的所述厚度小于所述外膜的所述厚度,例如小于所述外膜的所述厚度的90%、小于80%、小于70%、小于60%、小于50%、小于40%、小于30%、小于20%、小于10%、小于5%、小于3%、小于2%、或小于1%。

[0173] 23、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述内偏转元件的柔性和/或刚性不同于所述外膜的柔性和/或刚性。

[0174] 24、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述内偏转元件借助于至少一个连接杆被连接到所述外膜。

[0175] 25、根据前述项目24的任一项所述的光学压力传感器,其中所述连接杆是刚性的。

[0176] 26、根据前述项目24的任一项所述的光学压力传感器,其中所述连接杆是柔性的和/或可弯曲的。

[0177] 27、根据前述项目24的任一所述的光学压力传感器,其中所述连接杆是粘弹性的。

[0178] 28、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,被配置使得仅在所述外膜受预定压力及以上作用时在所述外膜与所述内偏转元件之间建立连接。

[0179] 29、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述内偏转元件形成所述核芯的一侧。

[0180] 30、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述内偏转元件形成为悬臂。

[0181] 31、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述内偏转元件形成为平板或膜。

[0182] 32、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述内偏转元件形成为梁。

[0183] 33、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述至少一个分布式布拉格反射器是光栅。

[0184] 34、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,包括两个或更多个分布式布拉格反射器。

[0185] 35、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述至少一个分布式布拉格反射器的形状是切趾形。

[0186] 36、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述至少一个分布式布拉格反射器的所述形状是啾啾形。

[0187] 37、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述至少一个分布式布拉格反射器形成为所述波导的表面上的多个结构。

[0188] 38、根据项目37所述的光学压力传感器,其中所述结构是突起或凹部或两者的组合。

[0189] 39、根据前述项目37至38中任一项所述的光学压力传感器,其中所述结构的高度和/或宽度周期性地改变。

[0190] 40、根据前述项目37至39中任一项所述的光学压力传感器,其中所述结构之间的距离周期性地改变。

[0191] 41、根据前述项目37至40中任一项所述的光学压力传感器,其中所述结构是笔直或弯曲的,例如正弦弯曲或弯曲为弧形或弯曲为抛物线形。

[0192] 42、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述分布式布拉格反射器的最大高度小于波导核芯的最大高度的50%、或小于所述波导核芯的所述最大高度的40%、或小于30%、或小于25%、或小于20%、或小于15%、或小于10%、或小于5%。

[0193] 43、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述至少一个分布式布拉格反射器位于所述内偏转元件上。

[0194] 44、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述至少一个分布式布拉格反射器位于所述波导的与所述内偏转元件相对的表面上。

[0195] 45、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述波导的最大宽度是所述波导的最大高度的至少10倍,或所述波导的所述最大高度的至少20倍、或至少30倍、或至少40倍、或至少50倍、或至少60倍、或至少70倍、或至少80倍、或至少90倍、或至少100倍。

[0196] 46、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述核芯的最大宽度是

所述核芯的最大高度的至少10倍,或所述核芯的所述最大高度的至少20倍、或至少30倍、或至少40倍、或至少50倍、或至少60倍、或至少70倍、或至少80倍、或至少90倍、或至少100倍。

[0197] 47、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述波导的所述最大宽度是所述波导的最大深度的至少1.5倍,或是所述波导的所述最大深度的至少2倍、或至少3倍、或至少4倍、或至少5倍、或至少6倍、或至少7倍、或至少8倍、或至少9倍,或至少10倍,其中所述波导的深度沿光的传播方向。

[0198] 48、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述波导核芯的所述最大宽度是所述波导核芯的最大深度的至少1.5倍,或是所述波导核芯的所述最大深度的至少2倍、或至少3倍、或至少4倍、或至少5倍、或至少6倍、或至少7倍、或至少8倍、或至少9倍,或至少10倍,其中所述波导核芯的深度沿光的传播方向。

[0199] 49、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,还包括用于将光耦合入所述核芯中的一个或更多个耦合元件。

[0200] 50、根据前述项目的任一所述的光学压力传感器,其中所述核芯的横截面是矩形、多边形或圆形或椭圆形或其任何组合。

[0201] 51、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述核芯的限制是大致上矩形、多边形或圆形或椭圆形。

[0202] 52、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述核芯仅具有平面几何结构。

[0203] 53、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述核芯仅具有带状几何结构。

[0204] 54、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述分布式布拉格反射器的所述最大高度小于所述核芯的所述最大高度的10%。

[0205] 55、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述核芯的所述最大宽度是所述核芯的所述最大高度的至少100倍。

[0206] 56、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,还包括:邻近所述非实芯波的一个或更多个,优选两个,实芯耦合波导。

[0207] 57、根据项目56所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导是折射率引导实芯耦合波导。

[0208] 58、根据项目56所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导是光子晶体或光子带隙波导。

[0209] 59、根据前述项目56至58中任一项所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导适于用作耦合元件,所述耦合元件用于将光耦合入和/或耦合出所述非实芯波导的所述非实芯。

[0210] 60、根据前述项目56至59中任一项所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导的所述实芯的一端的尺寸适用于所述非实芯波导的所述非实芯的尺寸。

[0211] 61、根据前述项目56至60中任一项所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导的所述实芯的一端的所述尺寸适用于传输波导的尺寸,诸如光纤的尺寸。

[0212] 62、根据前述项目56至61中任一项所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导的所述实芯的一端的模场适用于所述非实芯波导的模场。

[0213] 63、根据前述项目56至62中任一项所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导的所述实芯的一端所述模场适用于传输波导的模场,诸如光纤的模场。

[0214] 64、根据前述项目56至63中任一项所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导在所述耦合波导的一端或两端处逐渐变细。

[0215] 65、根据前述项目56至64中任一项所述的光学压力传感器,其中所述非实芯波导和所述一个或更多个实芯耦合波导由两个粘结衬底制成,所述衬底诸如硅或派热克斯玻璃或二氧化硅或熔融二氧化硅衬底。

[0216] 66、根据前述项目65的任一项所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导通过所述衬底中的一个上的至少三个水平层,优选实芯层来垂直地限定,其中所述中间层具有比上包层和下包层高的折射率。

[0217] 67、根据前述项目65的任一项所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导通过所述衬底中的一个上的与所述内偏转元件大体平行的至少三个层,优选实芯层来限定,其中所述中间层具有比上包层和下包层高的折射率。

[0218] 68、根据前述项目65至67中任一项所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导通过所述衬底中的至少一个中的垂直凹陷或贯穿所述衬底中的至少一个的孔来水平地限定。

[0219] 69、根据前述项目65至67中任一项所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导通过所述衬底中的至少一个中的凹陷或贯穿所述衬底中的至少一个的孔来大体垂直延伸限定。

[0220] 70、根据前述项目56至69中任一项所述的光学压力传感器,其中所述一个或更多个实芯耦合波导由大体平行于所述内偏转元件且位于所述内偏转元件下方设置的至少一个导光层来限定。

[0221] 71、根据前述项目70的任一项所述的光学压力传感器,其中所述至少一个导光层由光限制层包围,诸如由ARROW层包围,其中所述导光层具有比所述光限制层高的折射率。

[0222] 72、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述核芯包括沿所述光的传播方向延伸的至少一个实芯脊。

[0223] 73、根据前述项目72的任一项所述的光学压力传感器,其中所述(多个)实芯脊由导光材料制成。

[0224] 74、根据前述项目72至73中任一项所述的光学压力传感器,其中所述光学压力传感器和/或所述(多个)实芯脊被配置使得在所述波导核芯中传播的光被限制在所述实芯脊内及所述(多个)实芯脊周围。

[0225] 75、根据前述项目72至74中任一项所述的光学压力传感器,其中所述(多个)实芯脊位于所述波导核芯的中心。

[0226] 76、根据前述项目72至75中任一项所述的光学压力传感器,其中所述(多个)实芯脊是一个或更多个笔直的实芯脊。

[0227] 77、根据前述项目72至76中任一项所述的光学压力传感器,其中所述(多个)实芯脊在所述(多个)分布式布拉格偏转器上方延伸所述核芯的长度。

[0228] 78、根据前述项目72至77中任一项所述的光学压力传感器,其中所述(多个)实芯脊穿过所述(多个)分布式布拉格偏转器延伸所述核芯的所述长度。

[0229] 79、根据前述项目72至78中任一项所述的光学压力传感器,其中实芯脊在所述(多个)分布式布拉格偏转器的每一侧邻接所述(多个)分布式布拉格偏转器。

[0230] 80、根据前述项目72至79中任一项所述的光学压力传感器,其中所述(多个)实芯脊的高度小于或等于所述(多个)分布式布拉格偏转器的高度。

[0231] 81、根据前述项目72至80中任一项所述的光学压力传感器,其中所述(多个)实芯脊的所述高度大于所述(多个)分布式布拉格偏转器的所述高度。

[0232] 82、根据前述项目72至81中任一项所述的光学压力传感器,其中所述(多个)实芯脊的宽度小于或等于所述(多个)分布式布拉格偏转器的宽度。

[0233] 83、根据前述项目72至82中任一项所述的光学压力传感器,其中所述(多个)实芯脊的所述宽度大于所述(多个)分布式布拉格偏转器的所述宽度。

[0234] 84、根据前述项目72至83中任一项所述的光学压力传感器,其中所述(多个)实芯脊的最大高度小于所述波导核芯的所述最大高度的50%、或小于所述波导核芯的所述最大高度的40%、或小于30%、或小于25%、或小于20%、或小于15%、或小于10%、或小于5%。

[0235] 85、根据前述项目72至84中任一项所述的光学压力传感器,其中所述(多个)实芯脊的最大宽度小于所述波导核芯的所述最大宽度的50%、或小于所述波导核芯的所述最大宽度的40%、或小于30%、或小于25%、或小于20%、或小于15%、或小于10%、或小于5%、或小于3%、或小于2%、或小于1%。

[0236] 86、根据前述项目72至85中任一项所述的光学压力传感器,其中所述(多个)实芯脊的所述最大高度小于所述分布式布拉格反射器的所述最大高度的90%、或小于所述分布式布拉格反射器的所述最大高度的80%、或小于70%、或小于60%、或小于50%、或小于40%、或小于30%、或小于25%、或小于20%、或小于15%、或小于10%、或小于5%。

[0237] 87、根据前述项目72至86中任一项所述的光学压力传感器,其中所述(多个)实芯脊的所述最大高度是所述分布式布拉格反射器的所述最大高度的至少105%,或大于所述分布式布拉格反射器的所述最大高度的110%、或大于120%、或大于130%、或大于140%、或大于150%、或大于200%、或大于250%、或大于300%、或大于400%、或大于500%。

[0238] 88、根据前述项目72至87中任一项所述的光学压力传感器,其中所述(多个)实芯脊的最大宽度小于所述分布式布拉格反射器的所述最大宽度的90%、或小于所述分布式布拉格反射器的所述最大宽度的80%、或小于70%、或小于60%、或小于50%、或小于40%、或小于30%、或小于25%、或小于20%、或小于15%、或小于10%、或小于5%。

[0239] 89、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,还包括:壳体,其中包括所述波导(芯片)。

[0240] 90、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,还包括:壳体,其中包括所述波导,所述壳体具有包括所述外膜的顶面。

[0241] 91、根据前述项目89至90中任一项所述的光学压力传感器,其中所述外膜和/或所述外膜与所述内偏转元件之间的连接被合并到所述壳体的一个表面。

[0242] 92、根据前述项目89至91中任一项所述的光学压力传感器,其中所述外膜是所述壳体的一个表面的一部分。

[0243] 93、根据前述项目89至92中任一项所述的光学压力传感器,其中所述外膜和/或所

述外膜与所述内偏转元件之间的所述连接在所述壳体的一个表面设置为一个或更多个凹部。

[0244] 94、根据前述项目89至93中任一项所述的光学压力传感器,其中波导被附接至所述壳体的包括所述外膜的表面。

[0245] 95、根据前述项目89至94中任一项所述的光学压力传感器,还包括:后室,位于和/或合并到所述壳体中,诸如位于和/或合并到所述壳体的壁中。

[0246] 96、根据前述项目89至95中任一项所述的光学压力传感器,其中所述波导被附接至所述壳体的内表面,并且其中所述内表面的至少一部分被抛光。

[0247] 97、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述外膜与所述内偏转元件之间的所述连接借助于流体提供,例如不可压缩流体,诸如不可压缩液体,诸如油。

[0248] 98、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述外膜和所述内偏转元件分离,并且该分离形成体积,优选封闭容积。

[0249] 99、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述外膜和所述内偏转元件分离,其中该分离形成体积,并且其中该体积由不可压缩流体(诸如不可压缩液体(诸如油))填充。

[0250] 100、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述压力传感器被配置使得所述外膜受到的压力变化通过不可压缩流体或不可压缩液体(诸如油)传递到所述内偏转元件,从而将所述外膜和所述内偏转元件分离。

[0251] 101、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述壳体填充有不可压缩流体或不可压缩液体(诸如油),并且其中该不可压缩流体或不可压缩液体被配置为将所述外膜的移动传递到所述内偏转元件。

[0252] 102、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述压力传感器配置为使得所述至少一个核芯的所述几何结构和/或尺寸在所述至少一个外膜受声音作用时改变,使得所述光学压力传感器是光学麦克风。

[0253] 103、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述波导由两个粘结衬底制成,所述衬底诸如硅或派热克斯玻璃或二氧化硅或熔融二氧化硅衬底,并且其中所述核芯在所述硅衬底中的一个中形成为凹部。

[0254] 104、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述波导适合于和/或适用于引导光的至少一个高阶模,诸如多模波导。

[0255] 105、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述波导适合于和/或适用于引导光的基模。

[0256] 106、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述波导被附接至所述后室的底部。

[0257] 107、根据前述项目中任一项所述的光学压力传感器,其中所述波导被附接至所述后室的顶部和/或盖子。

[0258] 108、一种压力传感器系统,包括:

[0259] -根据前述项目中任一项的一个或更多个光学压力传感器;

[0260] -至少一个光源,诸如宽带光源;

[0261] -至少一个发射光学波导,用于将来自所述至少一个光源的光引导到所述光学压

力传感器(的核芯)中;

[0262] -检测器,用于测量从布拉格反射器反射的光;以及

[0263] -数据处理器,适用于分析所述反射光的一个或更多个布拉格波长的变化。

[0264] 109、根据前述项目108的任一项所述的光学压力传感器,其中所述数据处理器适用于分析所述反射信号的频率调制。

[0265] 110、根据前述项目108至109中任一项所述的光学压力传感器,其中所述光源是多模光源。

[0266] 111、根据前述项目108至110中任一项所述的光学压力传感器,还包括:耦合元件,诸如循环器,用于将从所述布拉格反射器反射的光耦合入所述检测器中。

[0267] 112、根据前述项目108至111中任一项所述的光学压力传感器,其中所述光源是宽带光源。

[0268] 113、一种分布式压力传感器系统,包括根据前述项目1至105中任一项所述的多个光学压力传感器,其中所述光学压力传感器串联和/或并联复用。

[0269] 114、一种麦克风系统,包括:

[0270] -根据前述项目1至105中任一项的一个或更多个光学压力传感器,适用于检测声音;

[0271] -至少一个光源,诸如宽带光源;

[0272] -至少一个发射光学波导,用于将来自所述至少一个光源的光引导到所述光学压力传感器(的核芯)中;

[0273] -检测器,用于测量从布拉格反射器反射的光;以及

[0274] -数据处理器,适用于分析所述反射光的一个或更多个布拉格波长的变化。

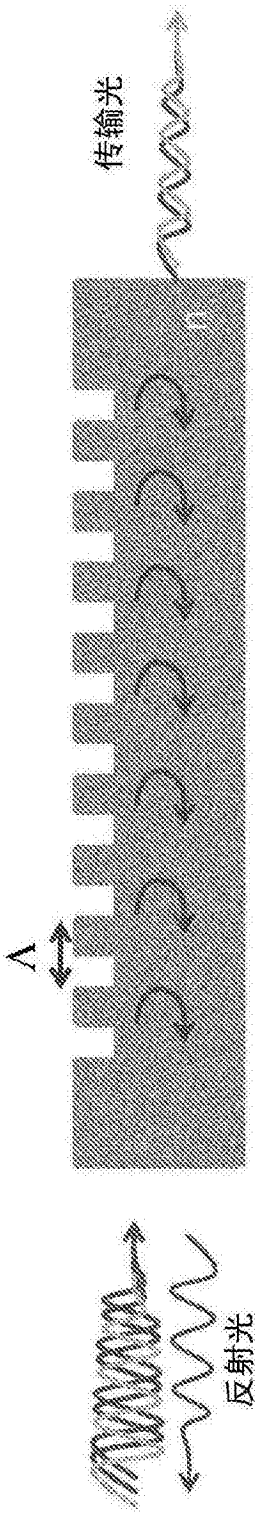


图1a

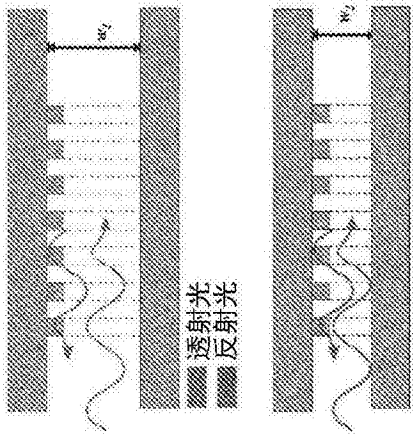


图1b

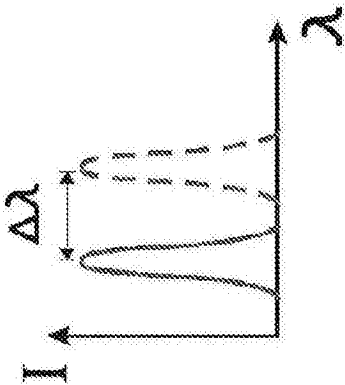


图1c

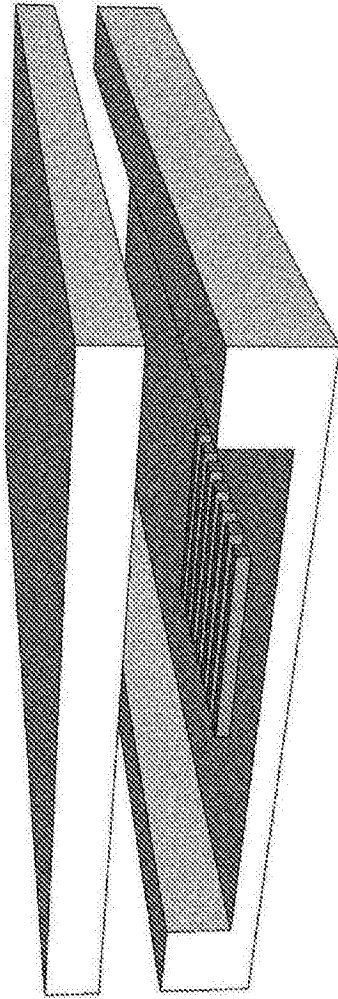


图1d

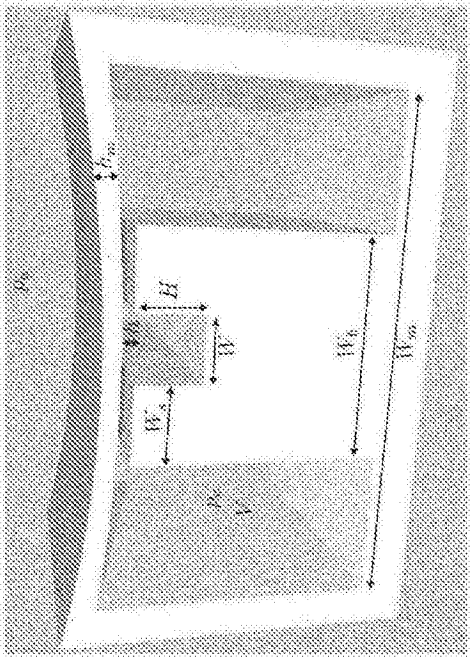


图2a

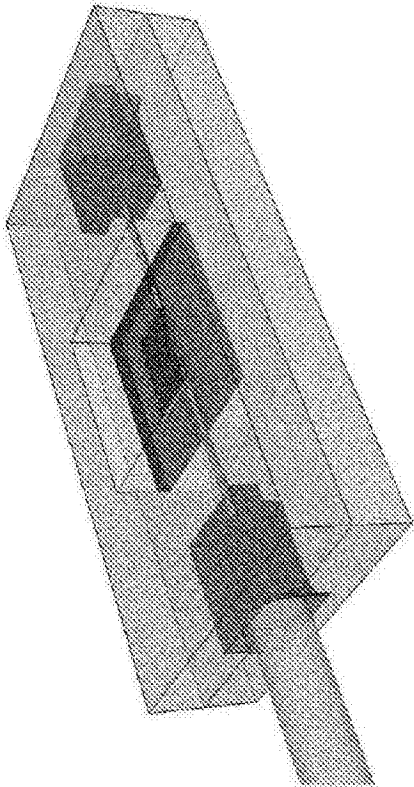


图2b

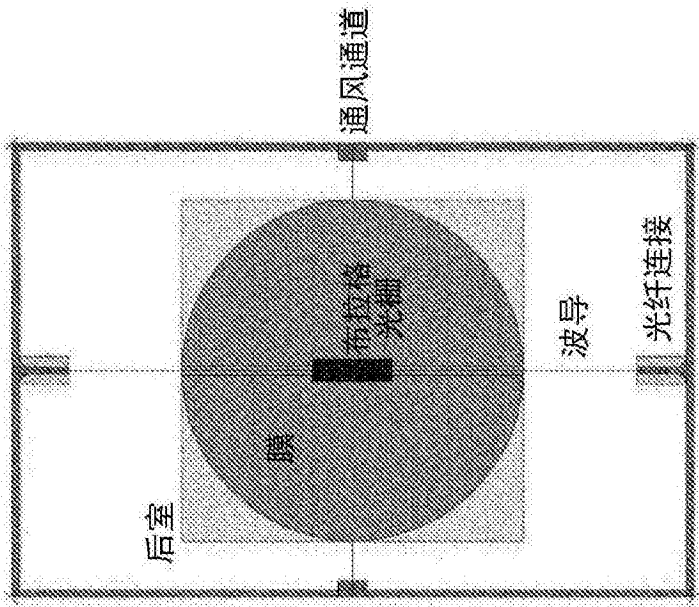


图2c

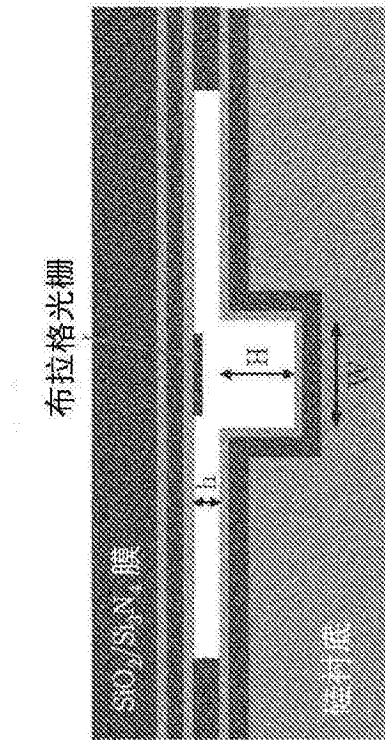


图2d

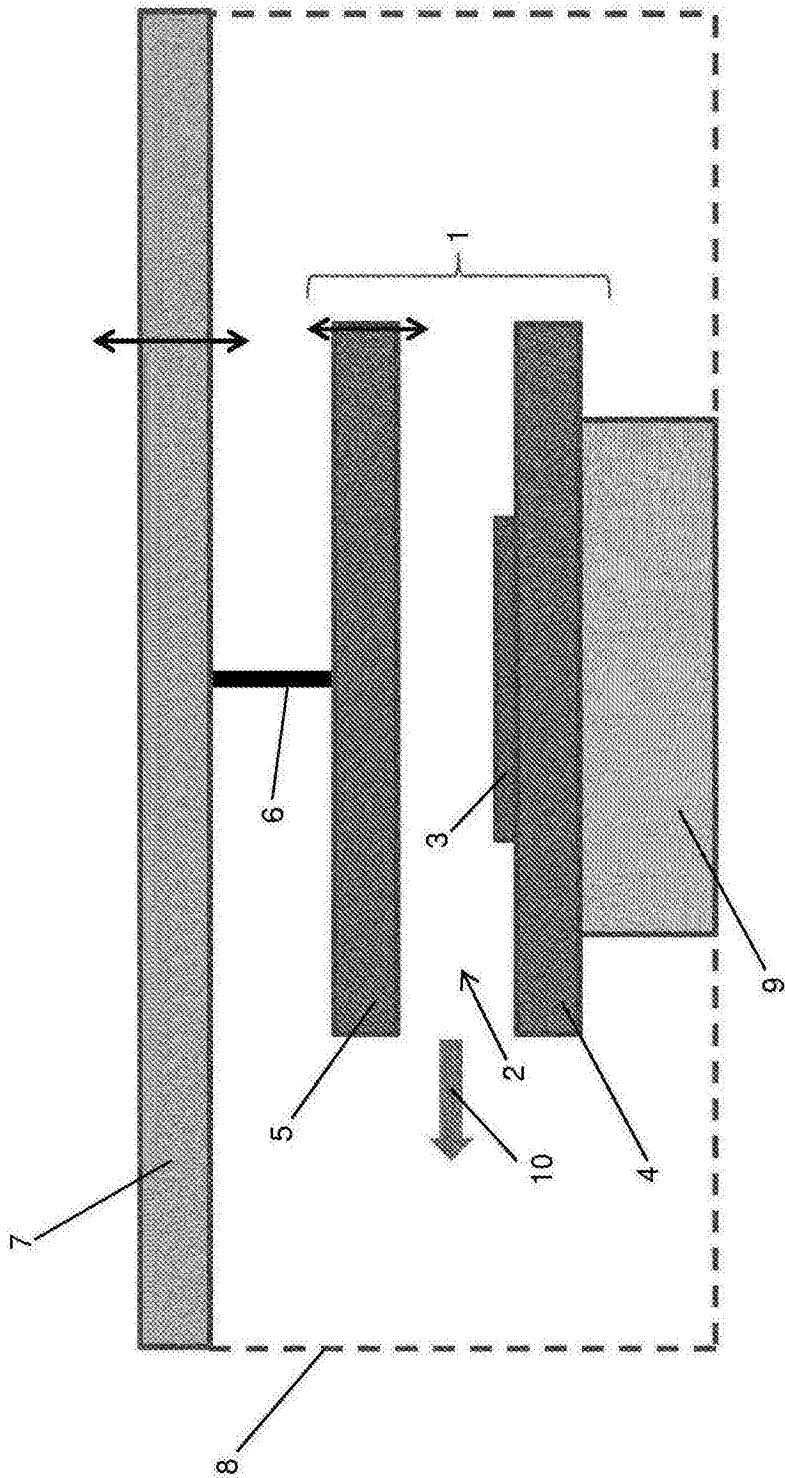


图3a

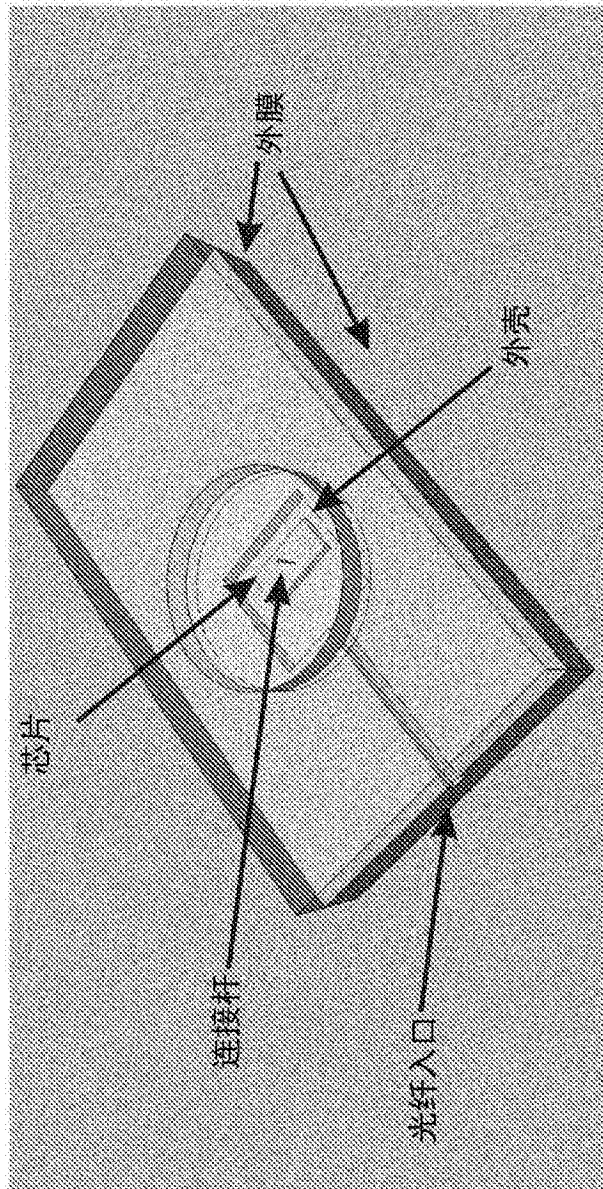


图3b

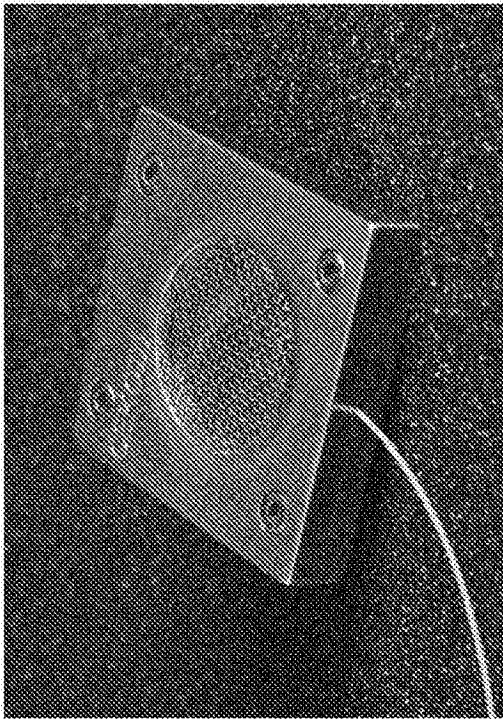


图3c

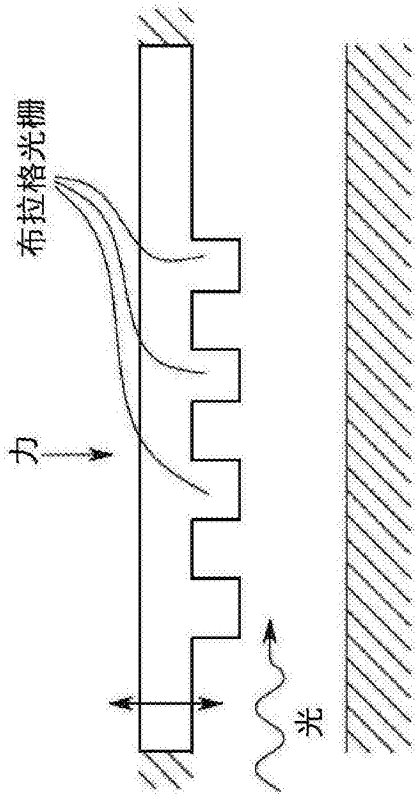


图4a

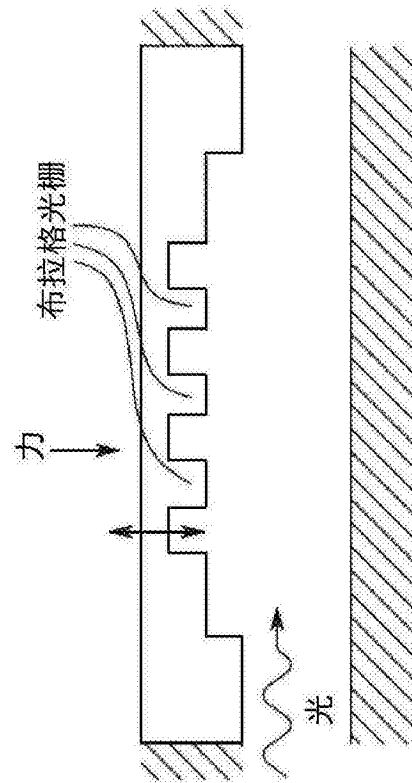


图4b

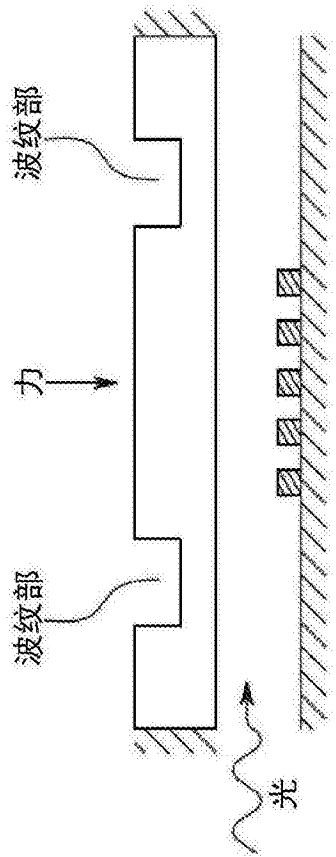


图4c

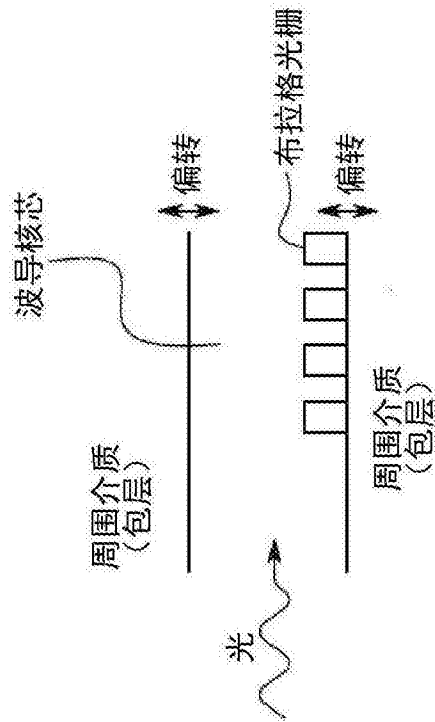


图4d

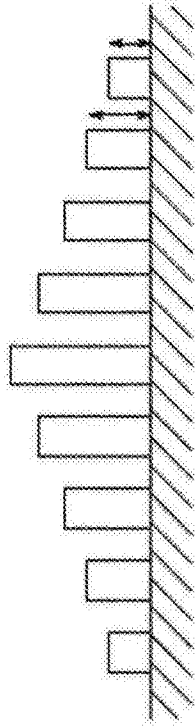


图5a

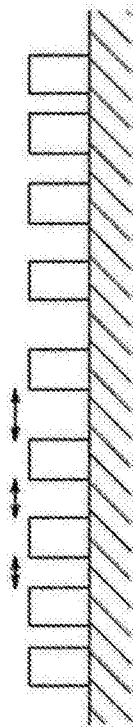


图5b

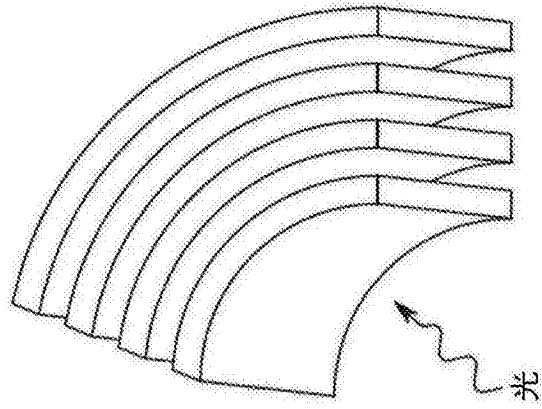


图5c

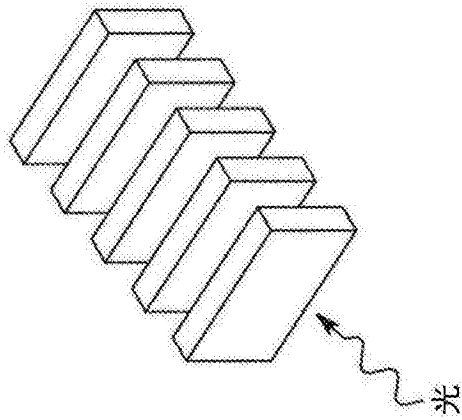


图5d

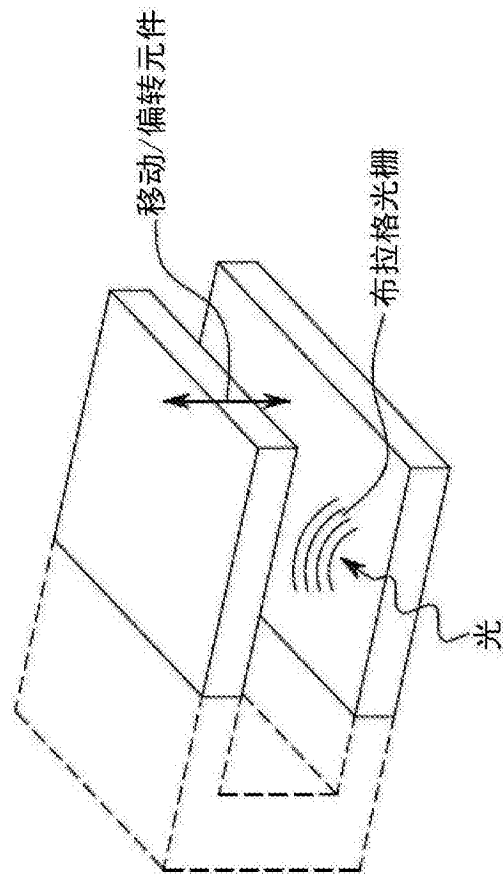


图6

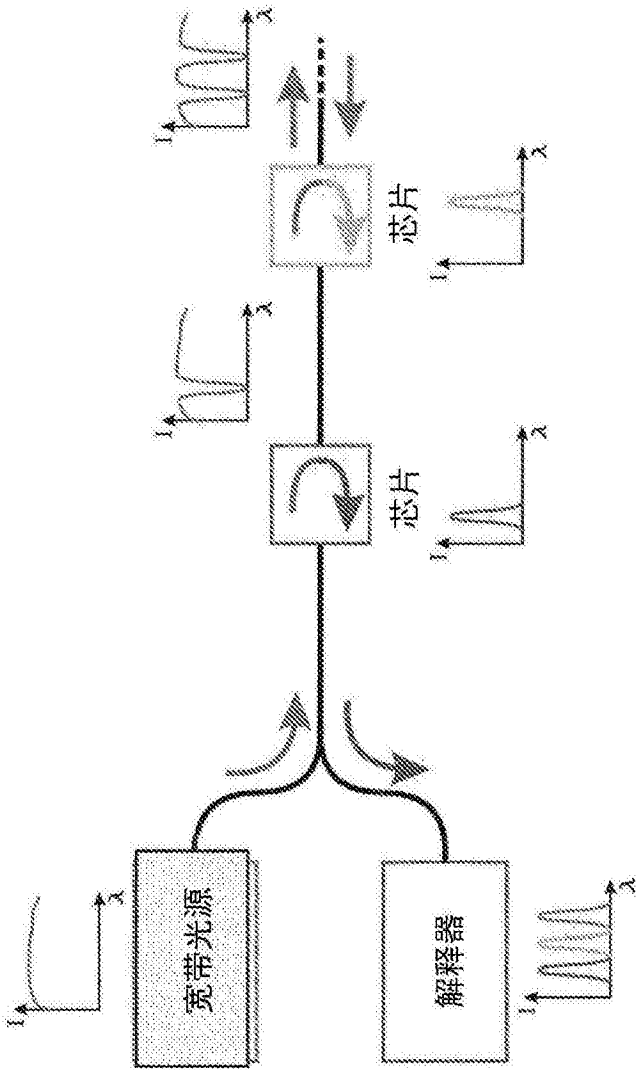


图7a

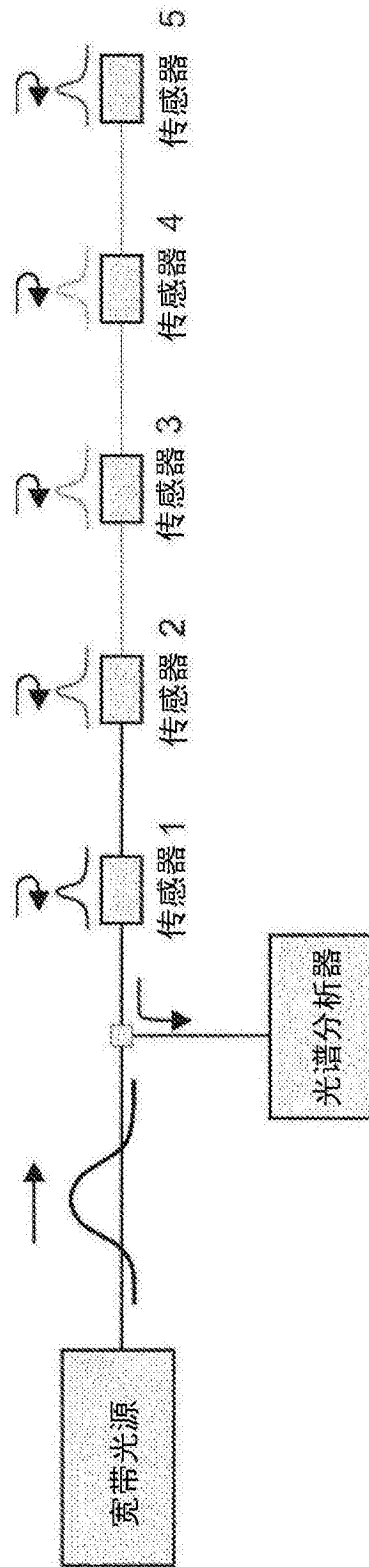


图7b

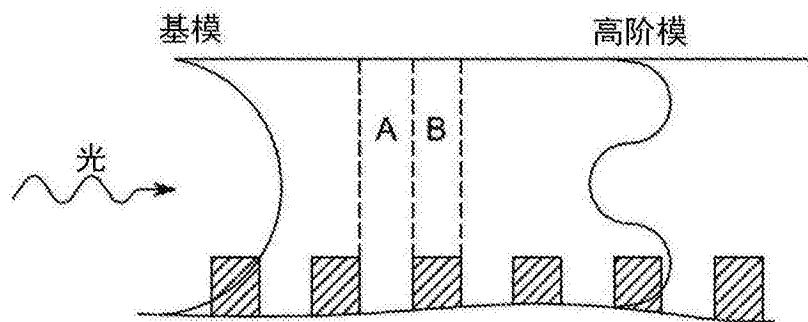


图8a

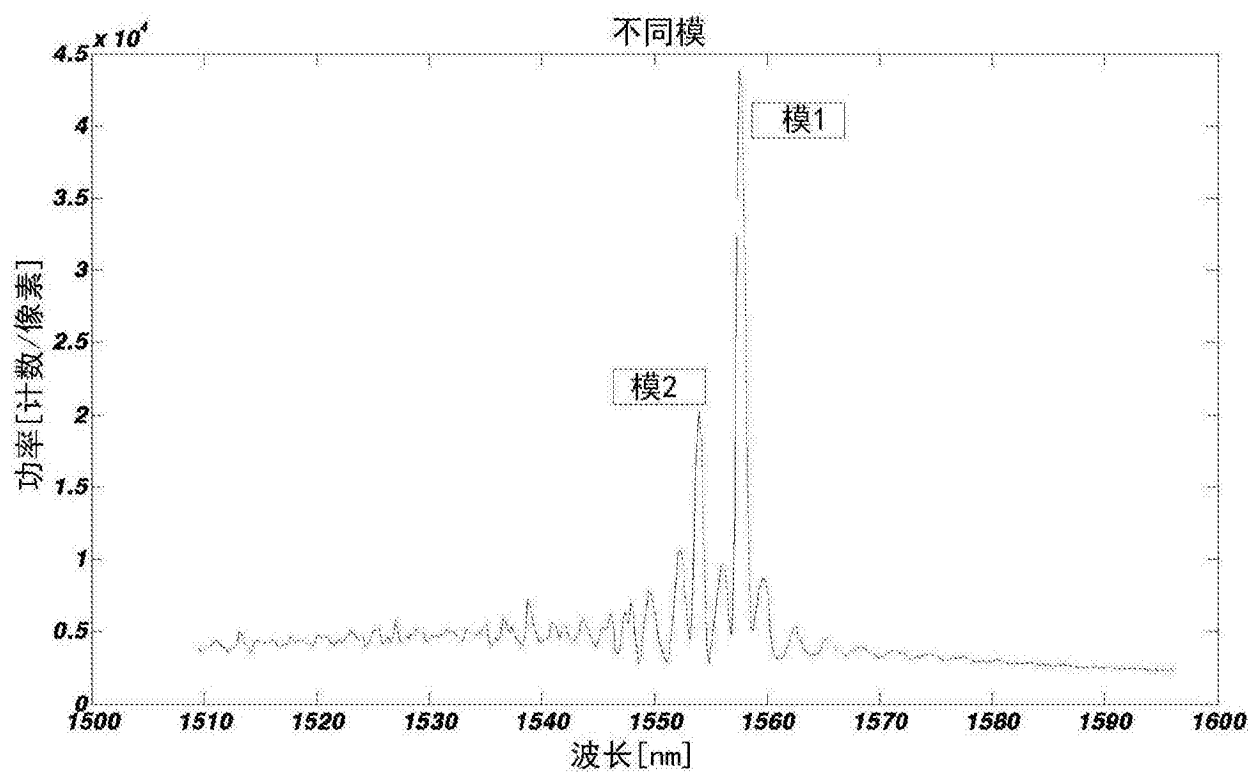


图8b

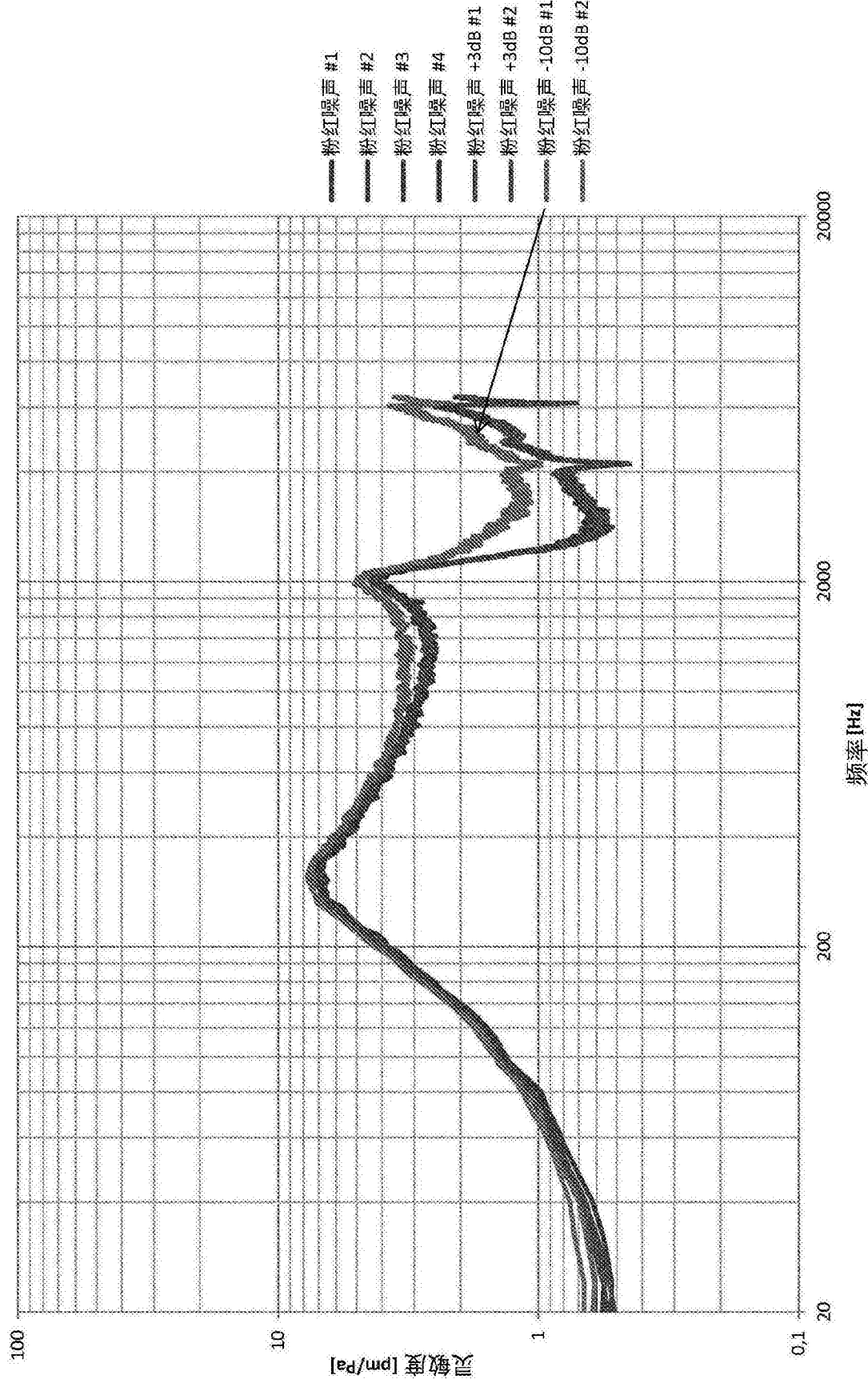


图9a

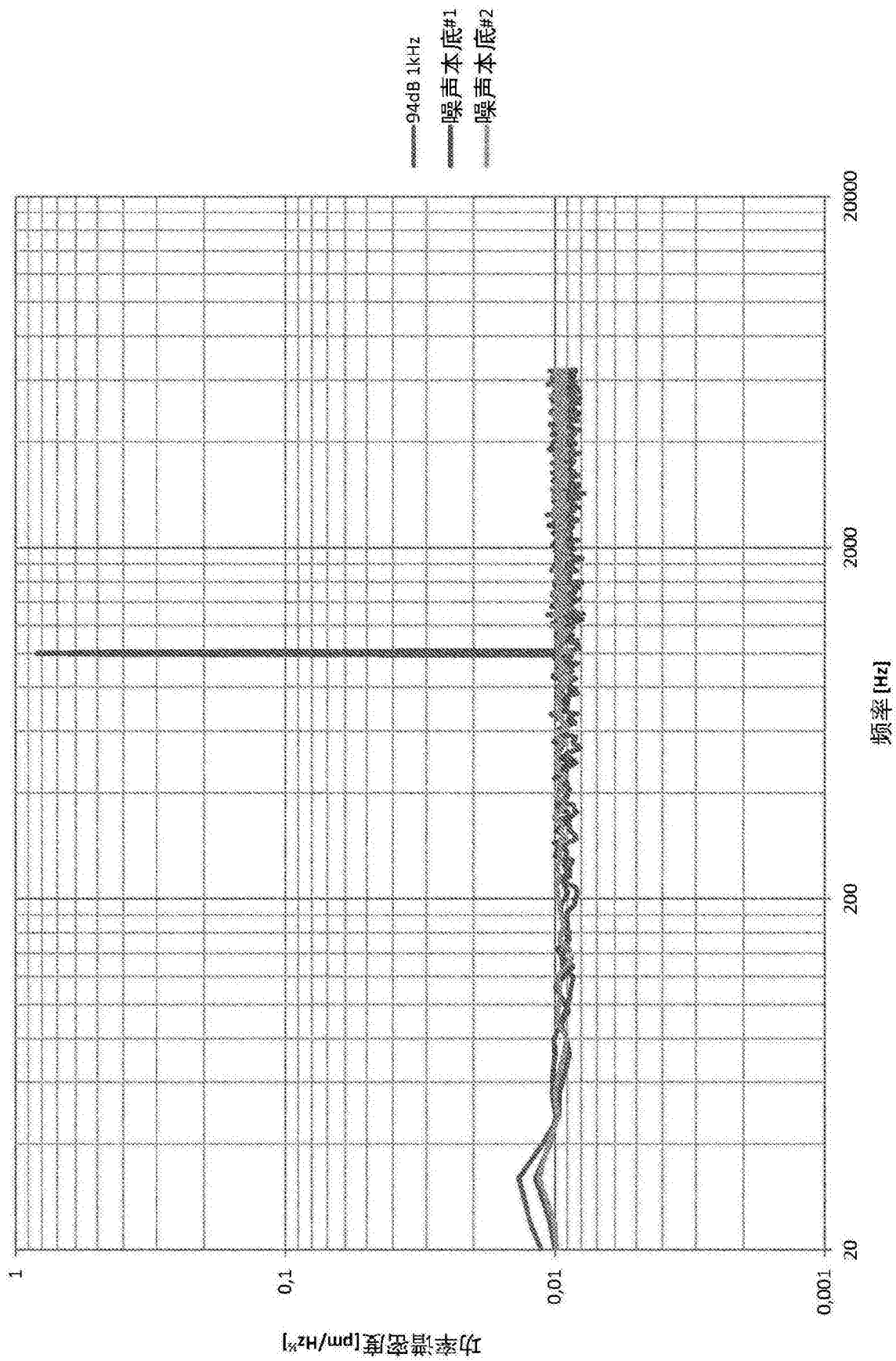
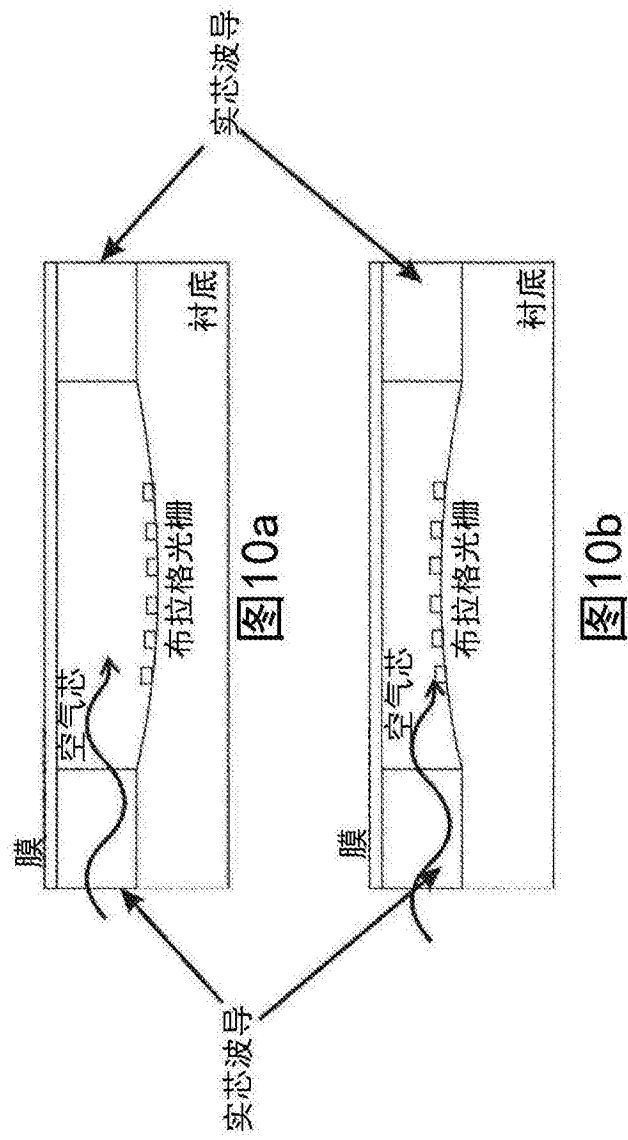


图9b



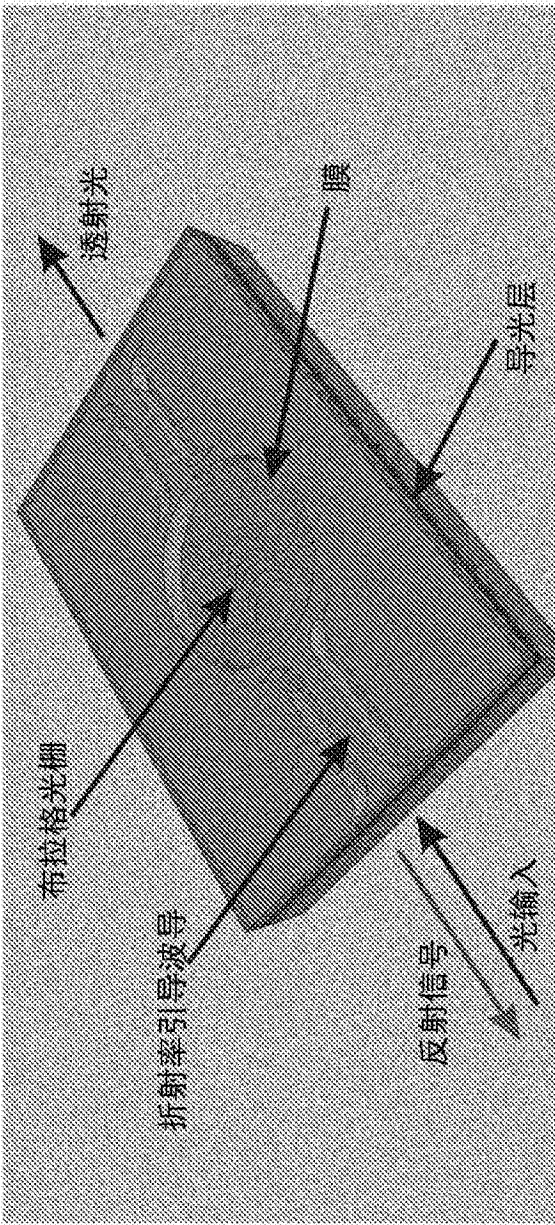


图11

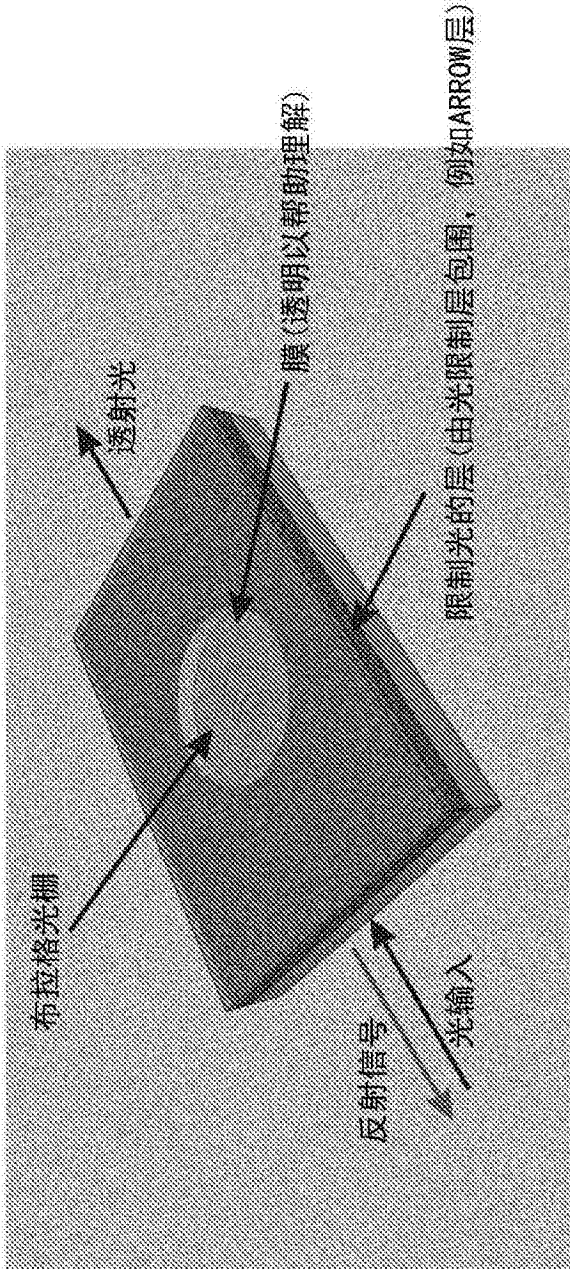


图12

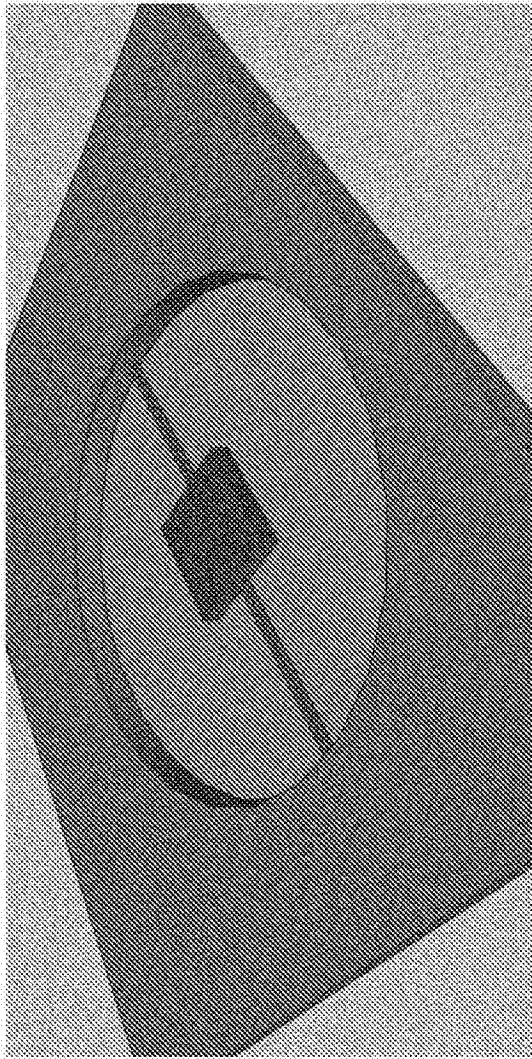


图13a

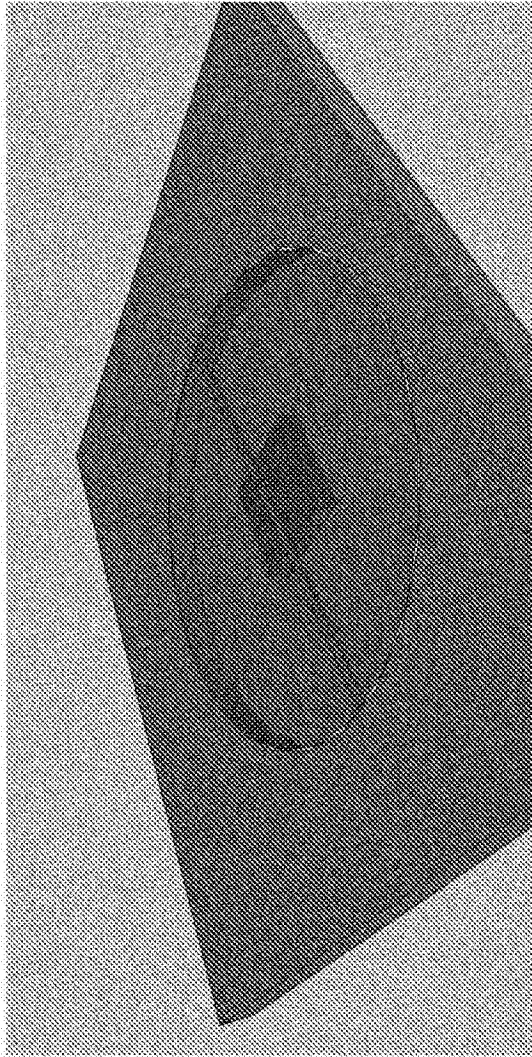


图13b

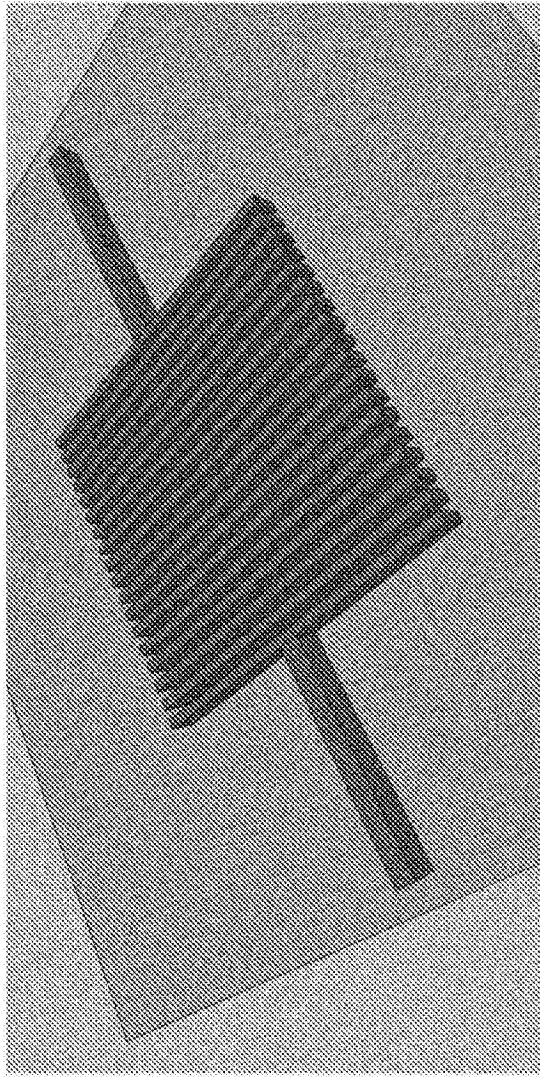


图14a

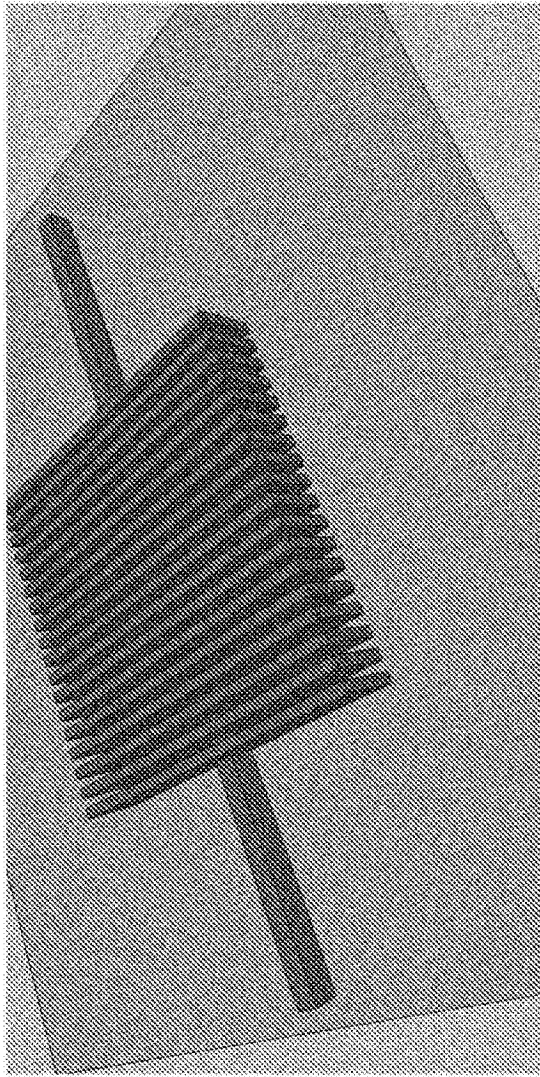


图14b

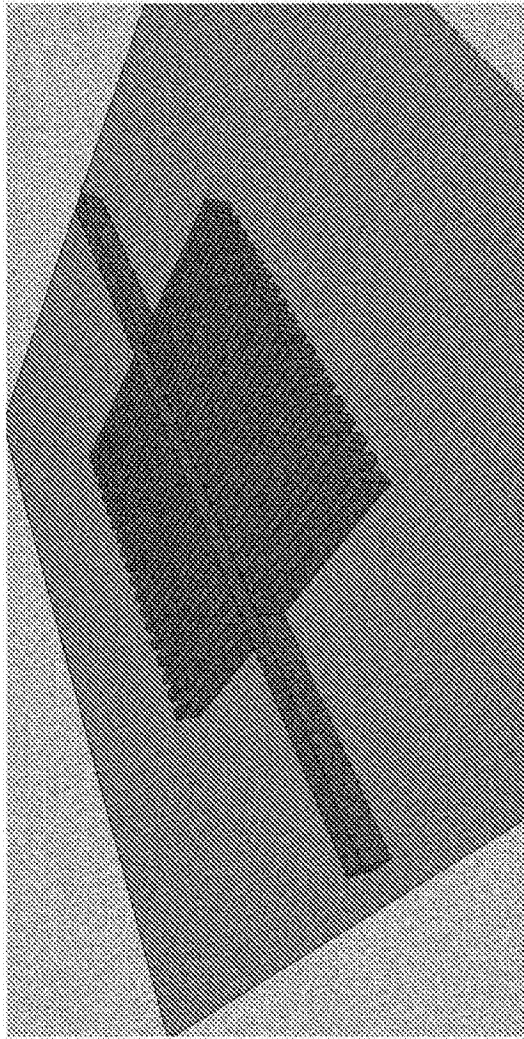


图15a

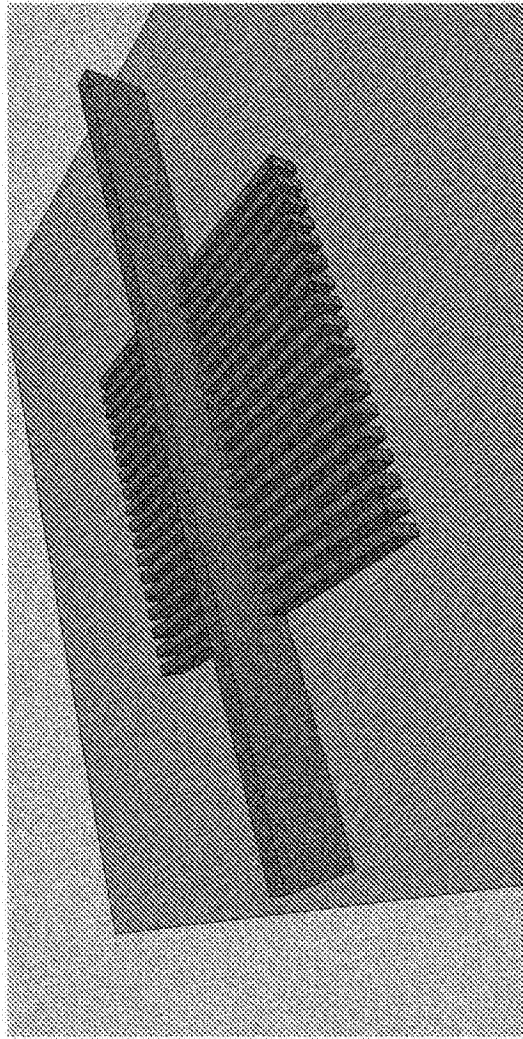


图15b

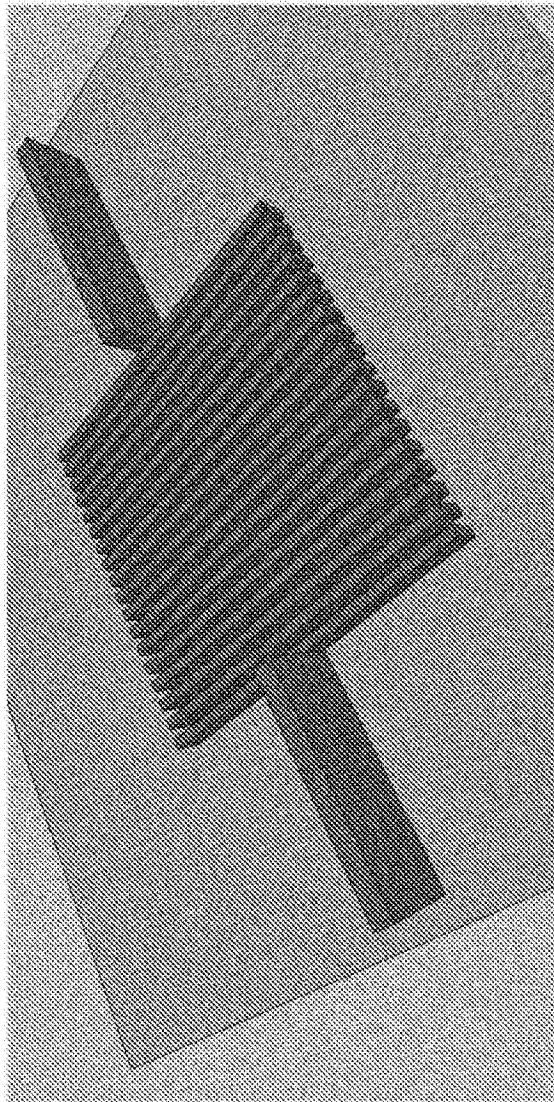


图16

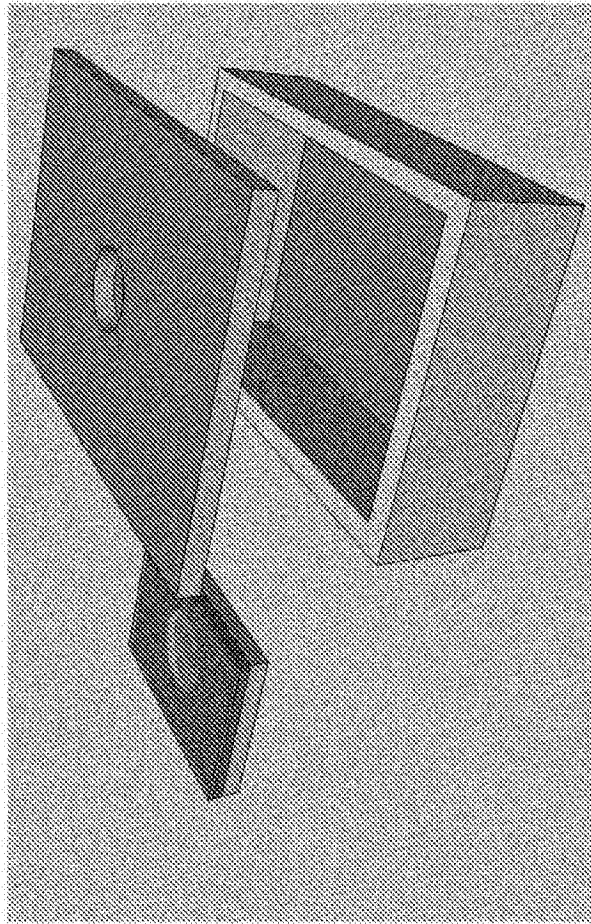


图17

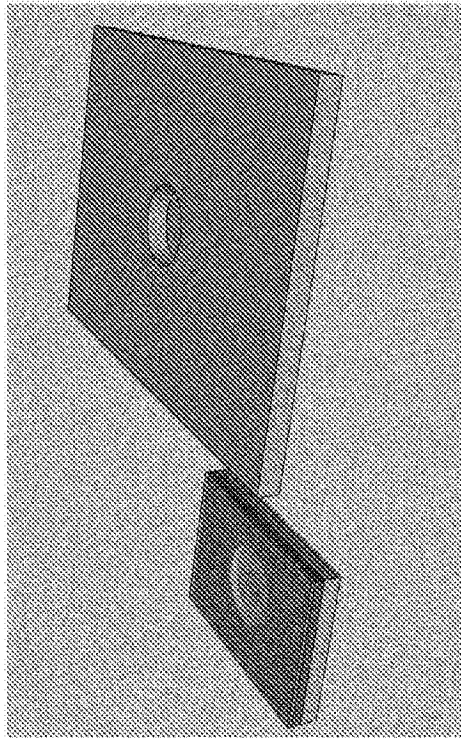


图18a

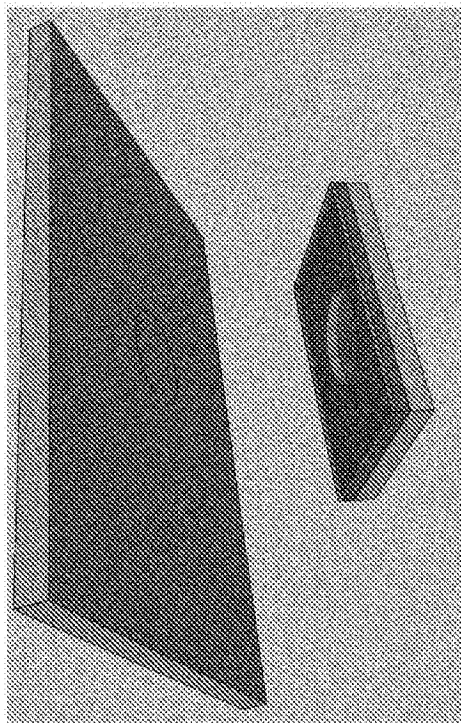


图18b

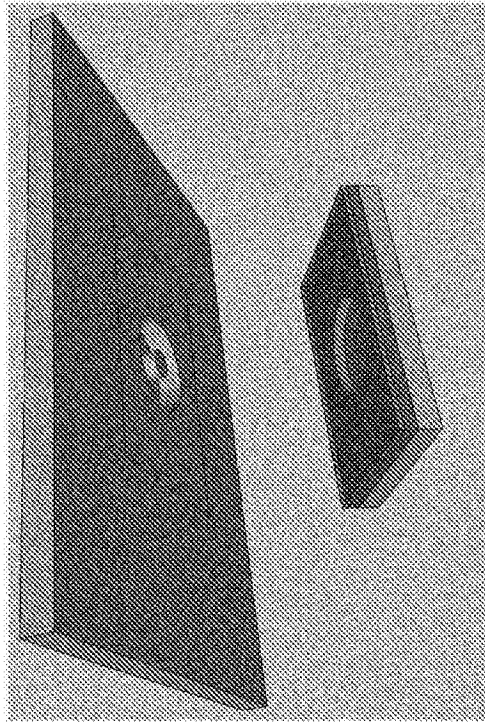


图18c

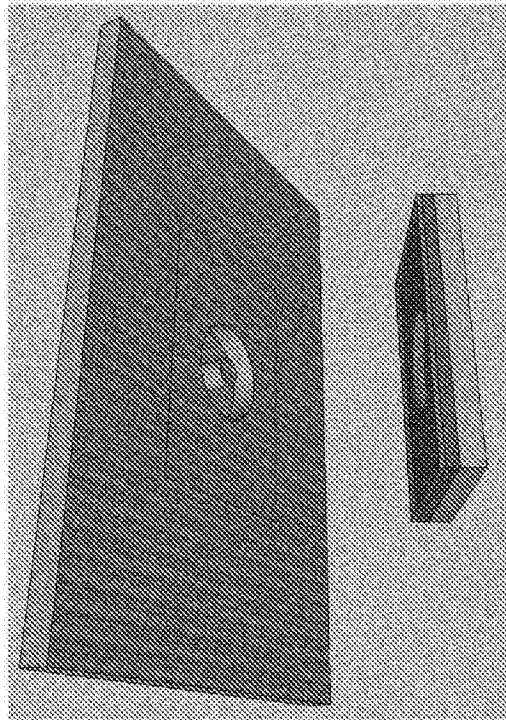


图18d

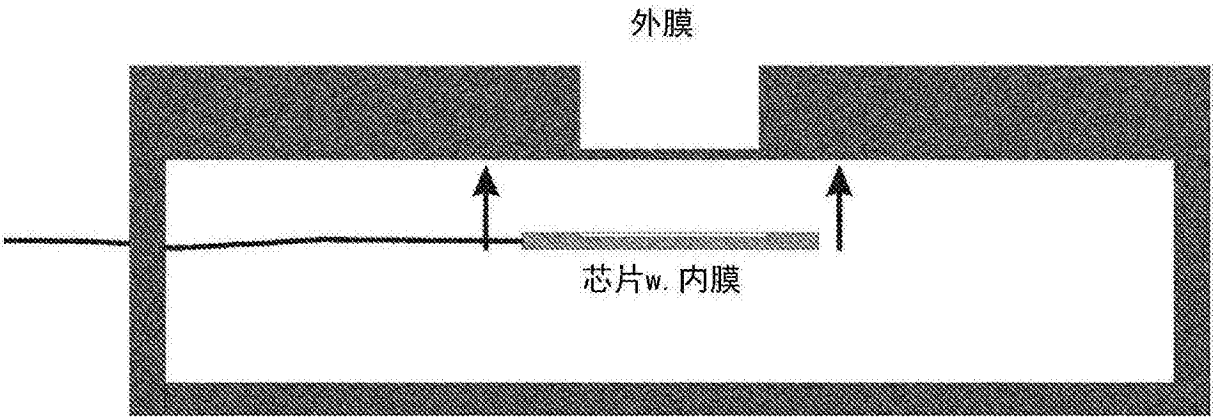


图19a

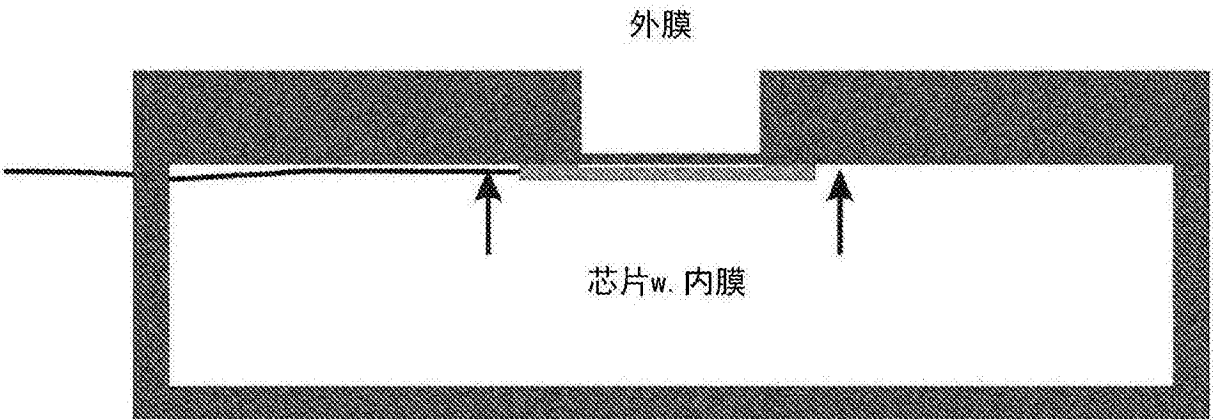


图19b

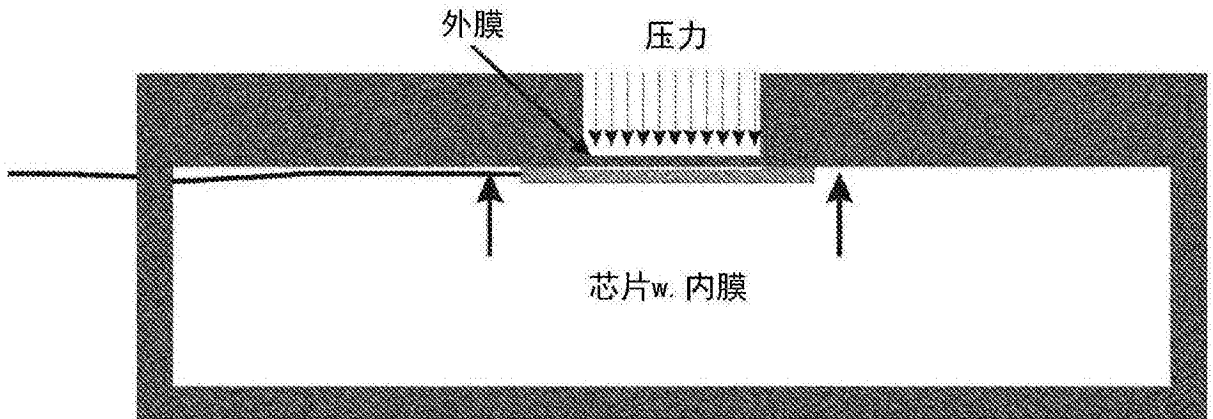


图19c

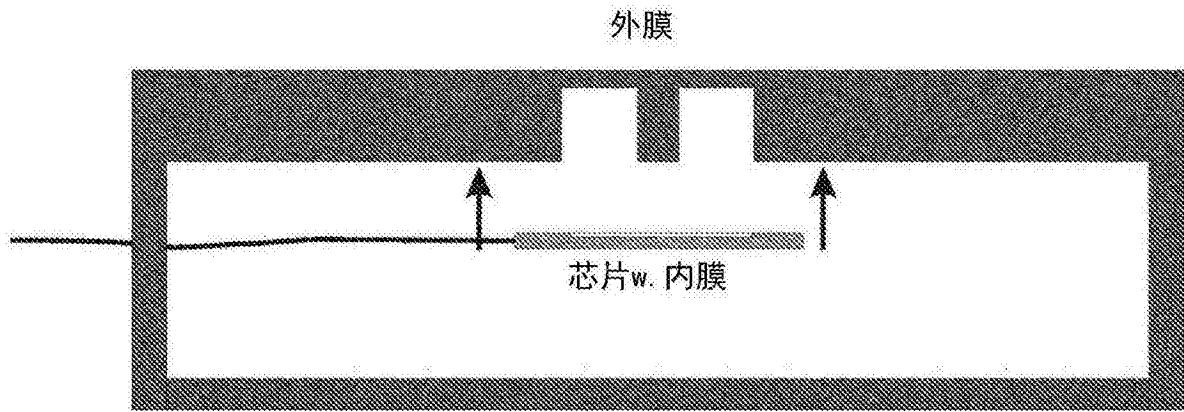


图20a

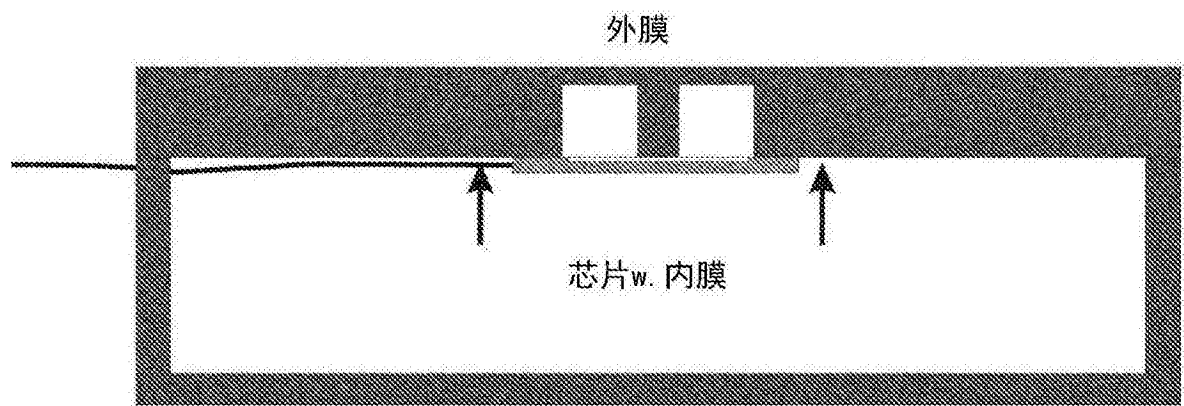


图20b

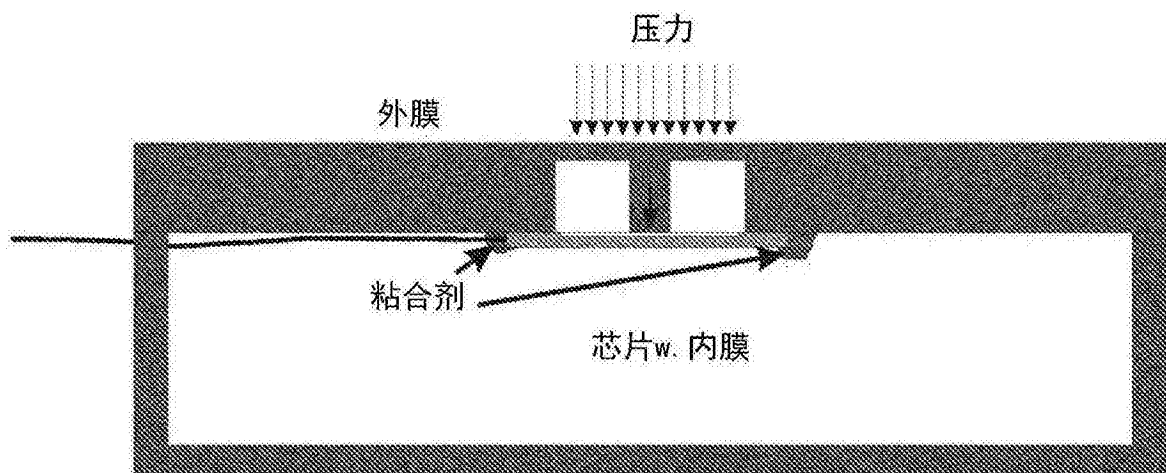


图20c

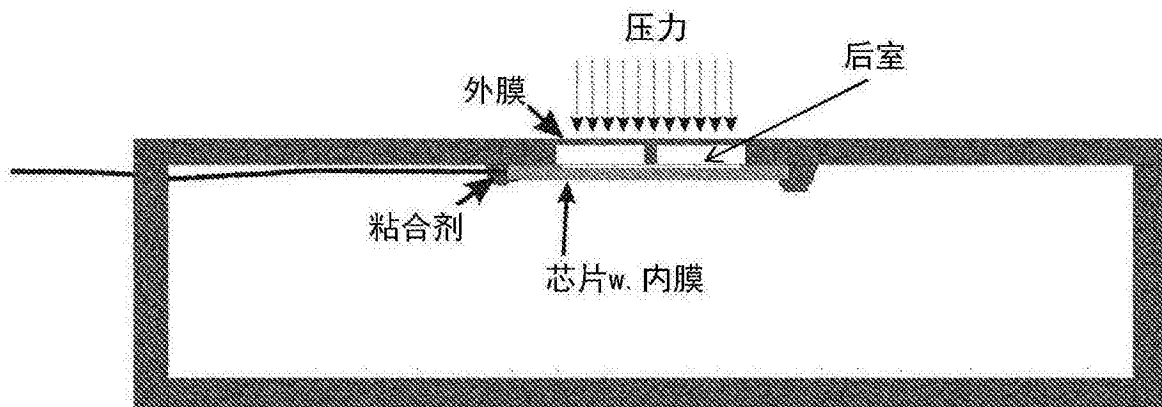


图21a

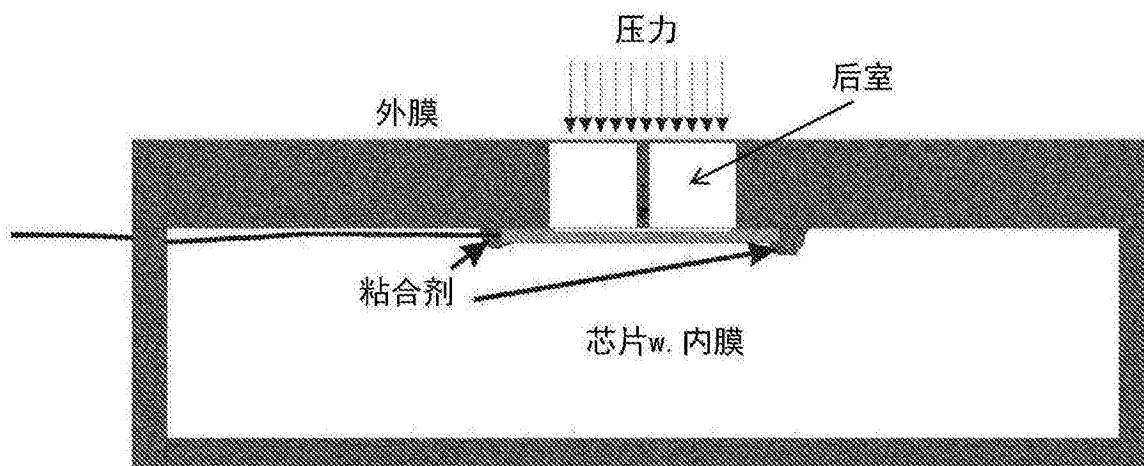


图21b

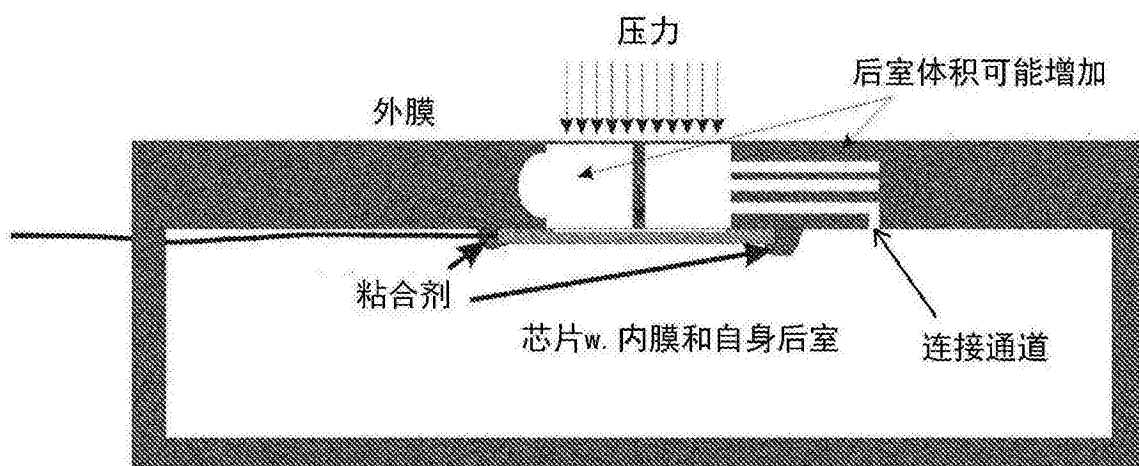


图21c

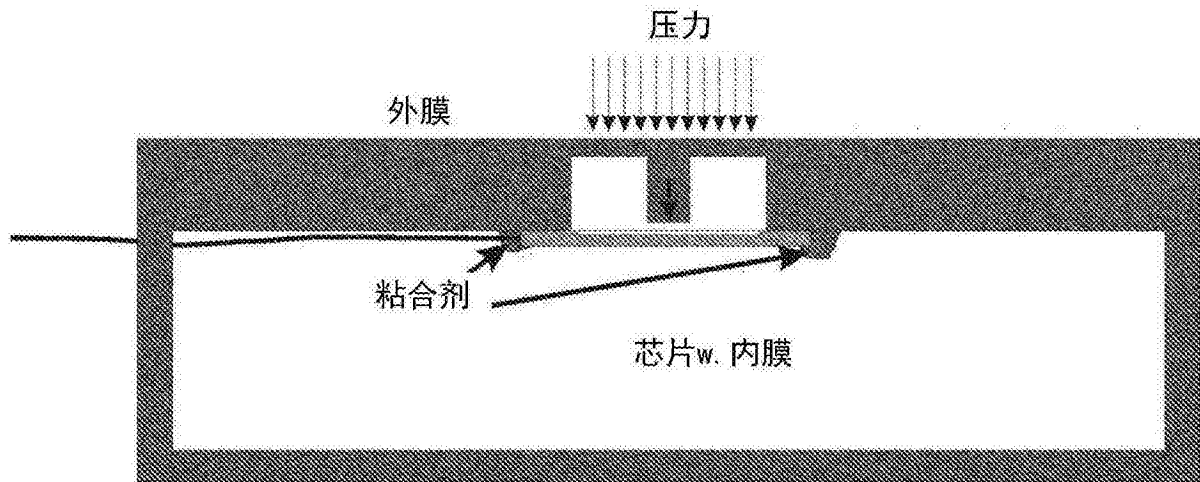


图22a

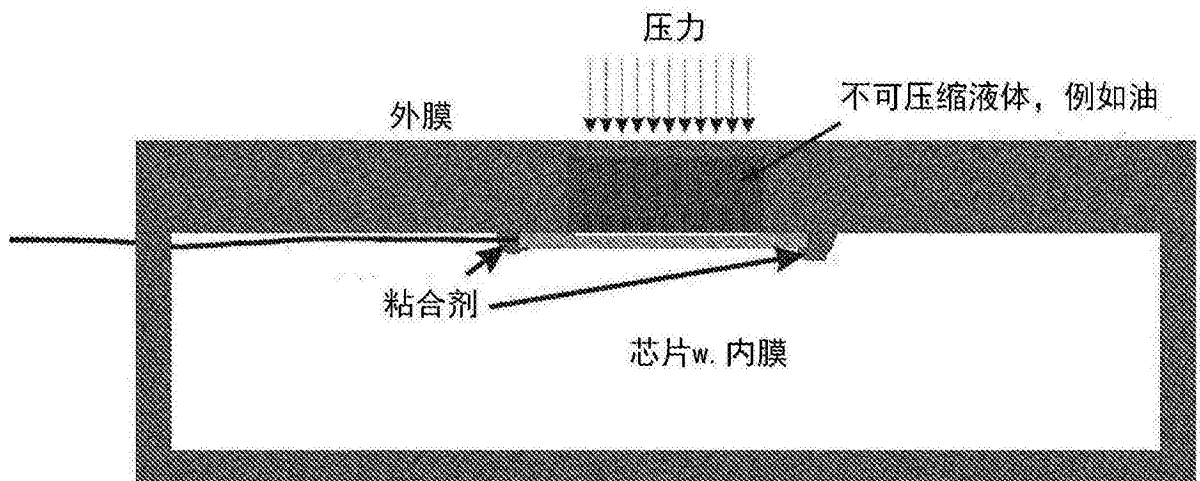


图22b

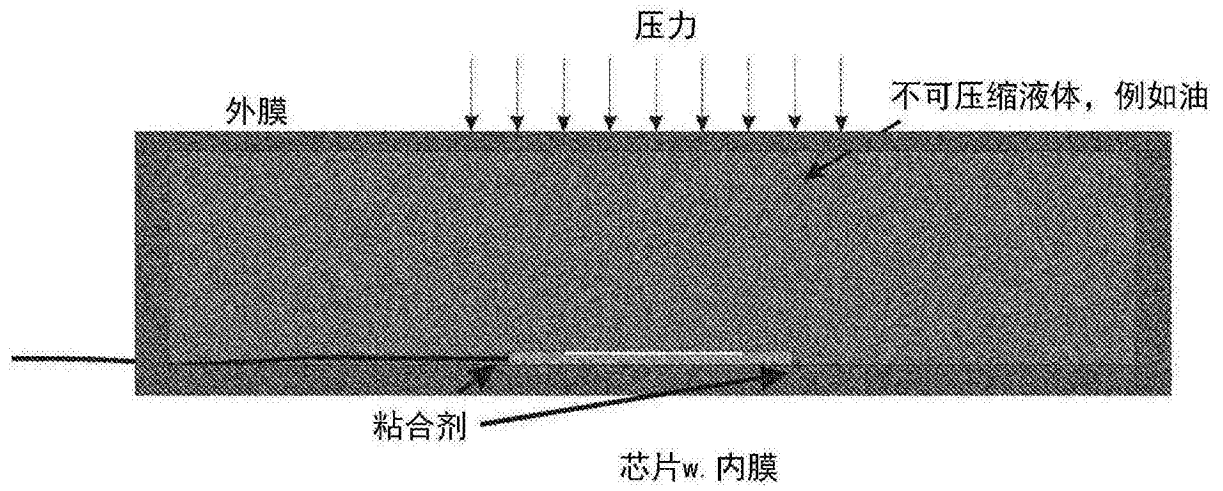


图22c