



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103392136 B

(45)授权公告日 2018.02.02

(21)申请号 201180066713.2

(22)申请日 2011.12.02

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 103392136 A

(43)申请公布日 2013.11.13

(30)优先权数据  
61/419,247 2010.12.02 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2013.08.01

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2011/063194 2011.12.02

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02012/075474 EN 2012.06.07

(73)专利权人 OFS飞泰尔公司  
地址 美国佐治亚州

(72)发明人 卡兹·S·阿布丁  
保罗·S·韦斯布鲁克

(74)专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司 11243  
代理人 曾贤伟 杨继平

(51)Int.Cl.  
G02B 6/00(2006.01)

(56)对比文件  
US 5513913 A,1996.05.07,  
US 2004/0083808 A1,2004.05.06,  
US 2004/0093950 A1,2004.05.20,  
US 2009/0180730 A1,2009.07.16,  
US 5513913 A,1996.05.07,

审查员 张中青

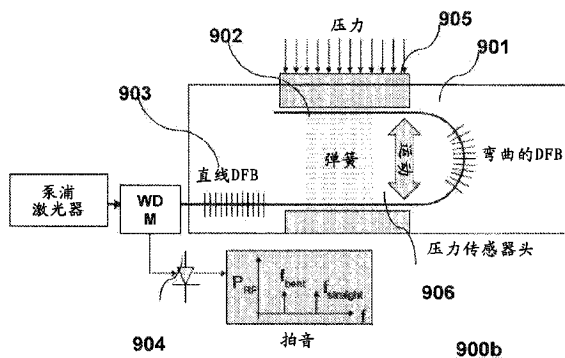
权利要求书1页 说明书11页 附图11页

(54)发明名称

DFB光纤激光弯曲传感器和光外差麦克风

(57)摘要

公开了使用一个或多个分布式反馈(DFB)激光器来捕获激光环境中的变化的方法和系统,尤其是用于测量被测物理量,例如压力或温度,或被测物理量中的变化的传感器,包括具有至少一条纤芯的光纤,在纤芯中由单光纤光栅形成的至少一个光纤激光器腔,其中该激光器沿着其长度的至少一部分运行在至少两种模式下。该DFB激光器包括弯曲成非线性形状的一部分和连接到光纤激光器腔上的至少一个泵浦激光器。当DFB激光器经历改变了模态间隔的微扰或被测物理量的变化时,就会产生RF拍音的改变。这个拍音能够被测量并且关联到被测物理量的改变。



1. 一种用于检测被测物理量的传感器,所述传感器包括:  
包括光纤芯的光纤;

在所述光纤芯中由单光纤光栅形成的光纤激光器腔,所述光纤激光器腔具有沿着其长度的至少一部分的至少两种模态,所述光纤激光器腔包括弯曲成非线性形状的第一部分,所述非线性形状具有曲率半径 $R$ ,被测物理量的变化导致RF拍音的偏移 $\Delta v$ ,并且 $\Delta v = C_1 + C_2(1/R)^2$ ,其中 $C_1$ 和 $C_2$ 都是常数;和

连接到所述光纤激光器腔上的至少一个泵浦激光器。

2. 根据权利要求1所述的传感器,还包括连接到所述光纤上的结构,该结构用于将被测物理量的变化转换为光纤激光器腔的第一部分的非线性形状的变化。

3. 根据权利要求1所述的传感器,其中,所述传感器包括连接到光纤激光器腔上用于检测所生成的RF拍音的RF检测器。

4. 根据权利要求1所述的传感器,其中,单光纤光栅是分布式反馈光纤激光器。

5. 根据权利要求1所述的传感器,其中,光纤激光器腔具有呈各向异性压力特性的光纤横截面,该特性会使光纤的应变呈径向不对称,这使得光纤自身由于压力或振动的改变而发生弯曲。

6. 根据权利要求4所述的传感器,进一步包括连接到所述分布式反馈光纤激光器上的光检测器。

7. 根据权利要求1所述的传感器,其中,所述光纤激光器腔沿着其长度的至少一部分具有双折射的慢轴和快轴。

8. 根据权利要求1所述的传感器,其中,所述被测物理量是压力或温度或振动或化学反应。

9. 根据权利要求6所述的传感器,进一步包括连接到光检测器上的频率解调器。

10. 根据权利要求1所述的传感器,其中,所述传感器是光外差麦克风的一部分。

## DFB光纤激光弯曲传感器和光外差麦克风

[0001] 相关申请的交叉参考

[0002] 本发明要求在2010年12月2日申请的第61/419,247号美国临时专利申请的优先权,上述申请通过参考完整地包含在此。

### 背景技术

[0003] 光纤布拉格光栅通常被用作如压力和温度等被测物理量的传感器。这种传感器典型地使用机械排列将外部压力与光纤的压缩和拉伸应变关联起来。因此,光栅的布拉格波长可与外部压力建立联系。为了消除对温度的依赖,没有应变的第二光栅也典型地包含在内。该第二光栅对温度敏感,但对应变不敏感。对两个光栅波长的反卷积于是会产生压力和温度的测量值。检测温度、压力、应力和其他类似外部微扰的另一种已知方法是使用单频光纤激光器。单频光纤激光器由增益很小的光纤和一对充当分布式布拉格反射镜(DBR)的布拉格光栅,或刻在增益光纤上的相移分布式反馈(DFB)激光器组成。由于通过使用连在激光器上的合适的机械变换器,外部微扰可以使激光的振荡频率产生变化,因此通过精确测量波长的变化,就可以测出外部微扰的范围。

[0004] 这种传感器有两个影响性能的缺陷。首先,它们需要高性能的连接和机械固定装置,这样光纤可以在承受张力时以可靠的方式被放置。第二,它们需要光源和对波长敏感的读出模块以获得压力和温度的数据。

[0005] 现有技术的第二个缺陷是需要波长依赖型检测器和/或源来提取被测物理量。在要求高敏感度的例子中,或者检测器必须有高精度度,或者源必须有窄线宽。这种源和检测器价格高昂并在恶劣的环境下难以维护。其他的缺点还包括将压力等不同的被测物理量与光纤的弯曲联系在一起的装置,用一个光栅和RF检测以鲁棒的方式检测光纤弯曲的装置、以及测量例如由声音变动产生的很小的光纤弯曲的装置。

[0006] 因此,需要能克服现有技术中以上限制的新的改善的感应方法和装置。

### 发明内容

[0007] 根据本发明的一方面,提供了感应被测物理量的传感器。特别地,用于测量温度和压力等被测物理量或被测物理量的变化的传感器包括含有至少一条纤芯的光纤、由该纤芯内的单光纤光栅形成的至少一个光纤激光器腔,其中激光器在沿着其长度的至少一部分以至至少两种模态运行。DFB激光器包括弯曲成非线性形状的一部分和连接到光纤激光器腔上的至少一个泵浦激光器。当DFB激光器经历到改变了模态间隔的微扰或被测物理量的变化,RF拍音就会产生变化。这一拍音随后就可以被测出并且与被测物理量变化相关。

[0008] 传感器可能进一步包括连接到光纤上的结构,该结构将被测物理量的变化转换为光纤激光器腔的第一部分的非线性形状的变化。根据本发明的一个方面,被测物理量的变化会使光纤激光器腔的模态发生切换,从而导致RF拍音的变化。传感器可能进一步包含检测所生成的RF拍音的连接在光纤激光器腔上的RF检测器。单光纤光栅可以是分布式反馈激光器。

[0009] 根据本发明的其他方面, 光纤激光器腔具有呈各向异性压力特性的光纤横截面, 这种特性会使光纤的应变呈径向不对称, 从而使光纤由于压力或声音振动等被测物理量改变而产生弯曲。用于光纤的一层或多层涂层或者光纤中适当的多孔结构会产生上述特性。

[0010] 传感器也可以包括与分布式反馈激光器相连接的光检测器。此外, 传感器也可以包括与光检测器相连接的频率解调器。根据本发明的一个实施例, 光纤激光器腔在其至少一段长度上具有双折射的慢轴和快轴。被测物理量可以是压力、温度、振动或化学反应。根据本发明的另一个实施例, 传感器是光外差麦克风的一部分。

[0011] 相应的方法也在考虑之内。根据其中一种方法, 利用泵浦激光器来激发光纤激光器腔。该方法包括将传感器暴露在微扰之下, 该传感器包括具有至少一条纤芯的光纤, 由在至少一条纤芯中的单光纤光栅形成的至少一个光纤激光器腔, 光纤纤芯包括具有沿着其长度的至少一部分传播的至少两种模态的光纤激光器腔, 至少一个光纤激光器腔包括弯曲成非线性形状的第一部分和连接在光纤激光器腔上的至少一个泵浦激光器。微扰可以施加在连接到传感器上的结构上。该方法同样包括利用连接到光纤激光器腔上的RF检测器来检测由微扰生成的RF拍音。

[0012] 在该方法中, 光纤激光器腔具有呈各向异性压力特性的光纤横截面, 这种特性使光纤的应变呈径向不对称, 从而使光纤由于压力或振动的改变而产生弯曲。同样, 光纤激光器腔在沿着腔的至少一段长度上具有双折射的慢轴和快轴。

[0013] 根据本发明的另一个实施例, 传感器可以包括具有超过一条纤芯的至少一个单光纤, 例如有两条纤芯, 每条纤芯上具有分布式反馈激光器。分布式反馈激光器易于受到微扰的影响, 在这里纤芯可能以多个模态运行, 每一个模态具有传播常数, 因此每一个DFB产生自己的拍音, 而微扰导致传播常数的切换, 从而改变了纤芯内每一个DFB的RF拍音。(注意即使没有任何微扰也存在差拍噪音)。传感器也可以包括与分布式反馈激光器相连接的能检测所产生的RF拍音的RF检测器。根据本发明的又一个实施例, 提供了多个分布式反馈激光器。根据再一个实施例, 每一个分布式反馈激光器以单一模态运行, 而激光器的传播常数的不同产生了可以被检测器检测到的拍频。

## 附图说明

[0014] 图1阐明了根据本发明的一个方面的实验装置;

[0015] 图2阐明了有偏振双折射的快轴和慢轴的光纤, 并显示了这些轴在光纤弯曲时的定向 $r$ 。

[0016] 图3-图8的每一幅图都提供了依照本发明的一个方面的DFB光纤激光弯曲传感器的特性的图表;

[0017] 图9a和图9b阐明了依照本发明的一个方面的变换器;

[0018] 图10-图15阐明了依照本发明的一个或多个方面的光纤;

[0019] 图16阐明了依照本发明的一个方面的装置;

[0020] 图17阐明了依照本发明的一个方面的光纤;

[0021] 图18阐明了依照本发明的一个方面的系统; 以及

[0022] 图19显示了光外差麦克风。

## 具体实施方式

[0023] 光纤激光器包含,除了其他东西之外,光纤激光器腔和泵浦源或能使光纤激光器腔发射激光的泵浦激光器。光纤激光器腔的一个例子就是分布式反馈激光器(“DFB”)腔。在这种情况下,光纤激光器腔可能是由刻在纤芯上的单纤布拉格光栅形成的。光纤激光器腔的其他例子包括分布式布拉格反射器(DBR)腔,环形腔和由大量光学镜片配上光纤形成的腔。

[0024] 本发明的一个方面是用如DFB光纤激光器或DFB平面波导激光器这样沿腔的至少一部分产生双折射的波导激光器来形成用于测量压力和温度的激光器。通常来说,DFB激光器拥有在中心区域有离散相移(名为 $\pi$ )的周期性光栅的一部分,典型地从光栅中心偏移光栅长度的百分之几。可以通过适当的UV曝光将这一光栅刻在光纤DFB激光器上,且在DFB平面波导激光器的例子中通过光刻技术来达到。在光栅区域掺杂有适当的增益介质,例如稀土元素如铒、镱、铥/镱、铥,这样当使用具有适用于增益介质的波长的泵浦源来通电时,介质可以提供光放大(增益)。激光输出可以使用光循环器或合适的波分复用(WDM)耦合器在前方提取(泵浦波传播的方向)或在后方提取。当相移中的偏离方向远离泵浦时,输出主要在前方获得,反之亦然。在本发明的一个实施例中,这可以被配置为弯曲的DFB光纤激光器。将DFB光纤弯曲会引起双折射,这是传播光的两个偏振模态间传播常数差的度量。引发的双折射改变了激光器的激光特点,并且可以与改变双折射或DFB光纤支持的模态的传播常数的任意微扰或者包括压力、位移和声音干扰的很多被测物理量相关联。

[0025] 根据本发明的一个实施例,激光频率与被测物理量相关。根据本发明的另一个实施例,激光器在至少两种模态上运行,其可能是两种偏振模态,至少一种对被测物理量敏感。在更普遍的意义,针对光纤或波导的改变激光模态(空间或偏振)的传播常数的任何微扰将改变激光器的激光特点。一个大到足以支持LP<sub>01</sub>基本模态和如LP<sub>11</sub>、LP<sub>02</sub>、LP<sub>21</sub>的一个或多个高阶模态等的具有纤芯的DFB光纤可以在基本模态和一个或多个这种高阶模态上运行。由于这些空间模态的有效折射率(等同于传播常数)是不同的,因此它们的激光波长也会是非退化的。至少两个模态的传播常数的不同会在这些模态之间产生拍频,且与被测物理量相关,这被配置为受到腔的弯曲或微扰状态的影响。根据本发明的又一个实施例,被测物理量与光频测量和拍频测量都相关。

[0026] 当不同光频(即波长)的两个相干光波叠加时就会产生强度调制或差拍。这种现象可以用光探测器检测出来。因此,差拍可以由具有非零双折射的DFB激光器这样的单激光器腔的两个偏振模态(有合适的偏振镜或提供偏振相关损耗(PDL))引起。类似地,可在单DFB腔中振荡的各种光纤模态之间也会产生差拍,这个腔就是为了这样的振荡而设置的。差拍也可以在激光器的输出之间观察到,这些激光器在空间上或物理上是隔离的,例如使用了双纤芯或两个(或多个)多芯光纤形成的DFB或DBR激光器。

[0027] 拍频 $\Delta v$ 可以表示为 $\Delta v = cB / (n\lambda)$ ,其中 $c$ 是传播光的速度, $B$ 是光的两个振荡模态的有效折射率间的差, $n$ 是一个公称有效折射率,而 $\lambda$ 是两个模态的平均波长。根据折射率的分布图,纤芯/包层的形状,光纤的物理轴到纤芯的距离,双折射以及外部微扰(如弯曲、应力、温度的变化)对双折射的影响都会大有不同。例如,偏振模态间的折射率差可以低至 $\sim 10^{-5}$ (非pm光纤的残余双折射),可以高至阶跃型少模光纤中高阶模态的 $10^{-3}$ 。这将导致拍频

的范围从几百MHz到100GHz甚至更多。为了RF检测的方便,技术人员一般选择拍频最好不超过100GHz。对于更高的频率,技术人员使用一个光谱分析仪或采用法布里-珀罗(Fabry-Perot)干涉仪的光学方法来测量激光部分的波长会更容易。技术人员也可以用含有抛物线形的阶跃纤芯的光纤,光纤周围是高折射率环形圈或类似的结构,可以将RF拍音的微扰量值保持在方便使用者测量的范围内,同时为有效折射率错配提供适当的补偿。

[0028] 根据本发明的又一个实施例,DFB光纤激光器是扭曲的,且其扭曲程度由拍音决定。在本发明的另外一个实施例中,拍音是射频(RF)信号。根据本发明的另一个实施例,DFB光纤受横向应力的影响。这可以通过将DFB光纤置于两块板之间实现。当板被推到一起时,相关的双折射率就会发生变化,从而改变拍音频率。

[0029] 在本发明的另一个实施例中,对DFB光纤激光器的泵浦进行了时间上的调制。如果关联了不止一个DFB激光器,那么来自每一个激光器的拍音会在不同的时隙内产生。因此,即使拍音都有相似的频率,传播信号的时域分析可用于将来自不同激光器的差拍信号分开。在本发明的又一个实施例中,光纤有不止一根纤芯,不止一根纤芯包括激光器腔。当光纤由于声音振动、纵向或横向应力、外部压力或其他微扰产生弯曲或扭曲时,每一个腔就会根据微扰状态的不同而产生不同频率的光。

[0030] 弯曲传感器是适合或设置为测量弯曲量的传感器。在本发明的一个优选实施例中,弯曲传感器包含以两种偏振运行的光纤DFB激光器,而在本发明的另一个实施例中,激光器在如横向模态或多重纵向模态这样的多重空间模态上运行。在这样的例子中,模态传播常数之间的细微不同就会产生拍音。DFB激光器由远程泵浦源提供的泵浦辐射来提供能量。两种偏振的运行会在读出模块里的光检测器中产生拍音。该拍音可以与DFB腔的弯曲或扭曲状态相关,或与可能导致激光器腔的双折射改变的任意其他微扰相关。可选地,或除了光纤的弯曲或扭曲之外,该光纤可能沿着其横截面不对称地产生应变,而在本发明的另一个实施例中,这样的应变光纤有非圆形的或不对称的形状,会促使被测物理量场引发腔内的双折射。

[0031] 为了测量温度,本发明的另一个实施例包括传感器中的第二DFB腔。来自这个第二激光器的拍音或响应可以设置为不受外部微扰的影响(如不附在任何变换器上),因此变得主要对周围的温度敏感。尽管拍音可以用于测量,使用光波长来确定周围环境的温度也是可能的。

[0032] 在本发明的又一个实施例中,光纤将会被限制在某个平面上弯曲,这一平面将确保双折射轴相对弯曲平面的固定的倾斜角度。当弯曲传感器的平面是沿着双折射轴(慢轴或快轴)的任意一条轴时,拍频的变化达到最大值。然而,当弯曲传感器的平面相对双折射轴呈45度时,拍频变化在公称上将为零。

#### [0033] 实验设置

[0034] 实验使用图1所示的实验装置进行。这里,由泵浦激光器102以976nm泵浦的Er掺杂分布式反馈(DFB)光纤激光器101被用作弯曲传感器。任何增益介质如掺杂有Yd、Nd、Tm、Cr或类似物的光纤都可以使用。DFB激光器使用两个可旋转的光纤固定器103和104固定,通过使用一个机械平移台,两个固定器间的间距可以调整。此外,两个波分复用器(WDM)105和106被用作耦合器将输出信号与泵浦信号分开。仅仅使用平移台将光纤固定器移得更近,从而DFB激光器就会弯曲。这一装置也可以使得1)消除DFB激光器的任何扭曲或2)通过相对一

个固定器旋转另一个固定器有意地产生扭曲。此外,通过使用一个狭窄的平面波导(图1中未显示)将没有扭曲的DFB激光器的弯曲平面限制在特定的取向上(如水平面),偏振轴(慢轴或快轴)相对弯曲平面的倾斜角度 $\theta_s$ 是不同的。光纤的正交双折射轴相对于弯曲平面的取向在图2中有所阐明。

[0035] 使用电控炉时DFB传感器的温度可以在25°C到50°C的范围里变化。激光器输出(约90%来自一端而10%来自另一端,这是由于离散相移相对中点的位置发生了偏移)用于使用波长计监测来测量激光波长,并且通过使用光电二极管和RF频谱分析仪来测量RF拍音。

[0036] 图3和图4是图表300和图表400,阐明了在不同倾斜角度 $\theta_s$ 和不同的弯曲程度(R:图1所示的曲率半径)下测得的RF拍音。没有扭曲的激光器容易产生带双偏振的振荡,在1545nm时产生约2.4mW的输出功率。当DFB激光器设定在直的、没有弯曲的位置时,其拍频 $\Delta v$ 在室温下测得为964MHz。利用 $\Delta v = cB_0 / (n\lambda)$ ,光纤的内部双折射 $B_0$ 估计约为 $7.25 \times 10^{-6}$ 。两个偏振模态的有效折射率之间的不同可能使 $B_0$ 接近两个模态的平均波长: $B_0 = n_{slow} - n_{fast}$ 。

[0037] 可以清楚地看到RF拍音和拍强同时在 $\theta_s = 0$ 时达到最大值,这与弯曲平面上的慢轴相对应。此外,RF拍音随着曲率半径的减少而增加(对绷得更紧的弯曲而言)。为了获得最强的差拍信号,使DFB激光器在沿着轴的方向(如图5中的图表500所示)没有任何扭曲也很重要。保持DFB没有扭曲的好处是,因DFB的不同部分的弯曲带来的双折射的变化是有累加性的,因此由于弯曲会产生最大的拍频变化。

[0038] 图6中的图表600显示了在五种不同的温度下‘频率’相对‘1/R’的曲线中测得的RF拍音。这里,慢轴位于弯曲平面上,这确保光纤弯曲时RF拍音的最大改变。在本发明的一个实施例中,拍音相对‘1/R’的曲线完全是抛物线,这表达为 $\Delta v = C_1 + C_2 (1/R)^2$ 。这里的 $C_1$ 和 $C_2$ 是两个常数,其由温度、光纤的双折射、包层半径、弯曲半径、波长、光纤的机械和光机性质所决定。

[0039] 下表提供了作为光纤DFB激光器的温度的函数的系数 $C_1$ 和 $C_2$ 的数值。随着增益光纤的特性改变,这些参数会有不同的数值。

[0040]

温度, °C	$C_1$ , MHz	$C_2$ , MHz*cm <sup>2</sup>
29.8	963.44	583.94
34.8	962.10	595.10
39.8	961.41	591.02
44.8	960.38	589.66
49.8	959.39	599.65

[0041] 图7的图表700中标出了在四个不同的弯曲条件下不同运行温度时的RF拍音。很容易看出拍音对温度有线性的依赖。

[0042] 图8的图表800中显示了在四个不同的弯曲条件下波长随温度而变化。尽管波长看起来是随温度而变化的,但它几乎是独立于弯曲半径的。

[0043] 从这些实验结果中可以得出系数矩阵,从而将拍音变化 $\delta(\Delta v)$ 、波长变化( $\delta\lambda$ )与两个被测物理量的温度变化 $\delta T$ 和弯曲半径的变化以下列方式关联起来。

$$[0044] \quad \begin{vmatrix} \delta(\Delta v) \\ \delta\lambda \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \delta(1/R^2) \\ \delta T \end{vmatrix},$$

$$\begin{vmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 591.4 \text{ (Mhz*cm}^2\text{)} & 0.186\text{(MHz/}^\circ\text{C)} \\ 0 & 9.11\text{(pm/}^\circ\text{C)} \end{vmatrix}$$

[0045] 波长和RF拍音也可以与温度和弯曲半径通过以下方程式联系起来。

$$[0046] \quad \Delta v = 969.8 - 0.214T + 591.4 * (1/R)^2$$

$$[0047] \quad \lambda = 1545.6 + 9.11 * 10^{-3}T$$

[0048] 通过测量 $\delta v$ 和 $\lambda$ ,这些方程式还可以确定温度 $T$ 和弯曲半径 $R$ 。

[0049] 如果有两个DFB激光器,其中一个激光器被固定在笔直或持续弯曲的位置,那么仅通过RF测量来确定 $R$ 和 $T$ 也是可能的。在本发明的一个实施例中提供了DFB光纤激光弯曲传感器和参照的DFB激光器。在本发明的另一个实施例中,参照DFB激光器是直线DFB激光器而第二个DFB会经历弯曲。这个参照物的拍音可以设置为没有外部微扰的(例如,不附在任何变换器上),

[0050] 因此变得主要对四周的温度敏感。第二个激光器和参照激光器的拍音可以分别表示为 $\Delta v_1 = C_{01} + C_{02} \cdot T + C_{03}/R^2$ 和 $\Delta v_2 = C_{01} + C_{02} \cdot T$ 。从 $\Delta v_1$ 和 $\Delta v_2$ 中可以确定被测物理量 $T$ 和 $R$ 。在这些方程式中,假定压力导致DFB激光器弯曲成一个完美的圆形。当偏离了完美圆形时,可以用一个多项式来表示或近似得出 $\delta v$ 和 $R$ 的依赖关系。在本发明的一个实施例中, $\Delta v$ 表示为或近似为 $C_{01} + C_{02} \cdot T + C_{03}/R^2 + C_{04}/R + C_{05}/R^3$ ,这依赖于预想的弯曲形状。对于暴露在指定环境中的指定的变换器,激光器的光纤也许会变形成一个确定的形状,而在这种情况下,这一系数可以预先校准。在本发明的另一个实施例中,用查找表将 $\Delta v$ 描述为 $R$ 和 $T$ 的函数,即 $\Delta v = f(R, T)$ 。

[0051] 为了测量周围媒介的压力,光纤DFB激光器可与位移和压力成比例的变换器相连接。一般地,这一位移会与DFB激光器的可变弯曲有关。

[0052] 一个这样的变换器在图9a中作了图解。变换器900a含有具有至少一个光栅912的DFB光纤910。变换器有可移动的固定器918,其固定了光纤910的端部。固定器918附在横杆或导向装置920上并可以移动。物理变化使固定器918沿着导向装置920移动。这样的物理变化可以是温度、压力、加速度或能转换成位移的任何其他的物理现象的变化。光纤910通过固定在变换器上的导向装置914,例如开管,获得引导。通过移动固定器918,光栅912会经历弯曲的变化。为了使弯曲更容易,光纤910也许会被悬挂在支撑物或滑轮924上。当固定器918位于导向装置920的左边时,光栅912也许几乎是直的,因此不会经历任何大的弯曲。固定器918的移动被限制在恰好位于滑轮924的上方的位置和使912放置于滑轮上的点的右边之间。当固定器918由于物理现象或微扰的改变而向右移动时,光纤912受力变弯,随着固定器918沿着导向装置920进一步向右移动变得越来越弯。这种弯曲的效果可以测量,例如使用上述的差拍信号。此外,也可以给光纤910提供直光栅922,这个光栅可以用于校正温度对光纤的影响。使该结构一部分的平移转化为DFB光纤激光器的弯曲半径的变化的其他结构性排列都在本发明的范围之内。

[0053] 用于测量压力的光纤变换器的另一个实施例如图9b所示。在这个图解的实施例



中,提供了装置900b,它包括了在对该装置施加压力时DFB光纤激光器会相应地产生弯曲。如图9b所示,DFB光纤激光器901位于光纤固定器905和光纤固定器906之间。根据本发明的一个方面,光纤固定器905、906可能是平板,例如可能将光纤激光器901的至少一个或多个线性部件固定住。在一个可替换的配置中,允许光纤激光器901沿着固定器905、906中的至少一个或两个自由滑动而不会被扭曲。扭曲可以改变弯曲影响DFB激光器的双折射的方式,从而影响测量的准确性。因此,在这种情况下,优选的避免任何失真扭曲。

[0054] 在一个实施例中,固定器905是压力板或膜,随着装置900b承受的外部压力的增加或减少而移动,例如声音信号。在图9b中,这种压力导致固定器905振动膜相对机械弹簧902产生位移。这种压力导致弹簧的位移和光纤DFB激光器901的弯曲半径的变化。弹簧902起到偏压装置的作用,其迫使固定器905和光纤激光器901到达预先校准的中性位置。这样弹簧902和固定器905的位移就与DFB激光器901的弯曲变化相耦合。当压力增加时,固定器905和906彼此移动得更近,由此压缩弹簧902并缩小了激光器901的弯曲半径,从而改变了将用于捕捉压力变化的相关的双折射和拍音。注意许多其他的弹簧和偏压布置也是可能的,图9b中的设置900b仅是一个图解的例子。其他弹簧布置和偏压设置是可能的,并且都认为是落在本发明范围之内。例如,固定器905可以是金属板而组件902是将板推到中性位置的磁铁。

[0055] 图9a和图9b都图解了变换器,其利用DFB光纤激光器的非线性形状的变化来捕捉或计算如温度或压力等被测物理量的变化。非线性的形状可以是圆形或者近似圆形的形状,可以通过如DFB光纤激光器的圆形或近似圆形的半径来描述上述形状。非线性形状也可以是由一个或多个参数来表示的抛物线或任何其他圆锥截面。根据本发明的一个方面,决定DFB光纤的非线性形状的参数值可以通过变换器与被测物理量的值关联起来,当被测物理量数值改变时变换器会改变光纤的形状。

[0056] 这些变换器可以重复操作,因此可以重复地将被测物理量值变为DFB光纤的可测量的变化(可以通过拍音来测量)。技术人员可以通过将拍音与被测物理量值直接关联的方式,例如通过使用校准的查找表的方式,校准变换器和因拍音产生的形状参数(例如光纤半径)。

[0057] 除了弯曲DFB光纤激光器901之外,图9b还显示了直线DFB激光器903。这个激光器903不会弯曲或置于张力或应力之下,因此可以用于测量如温度等不同被测物理量的变化。由于DFB光纤903是以不受压力作用的方式所附接的,拍音的任何变化就完全是温度的变化导致。弯曲DFB激光器901经历了来自温度和压力的双重作用。比较两个DFB的拍频变化的性质,因此将温度和压力区分开是可能的。这一过程被用于本发明的一个实施例中来调整弯曲DFB激光器901的温度依赖。通常,通过设置n个DFB激光器可以测得n个被测物理量,这样每一个激光器都会对被测物理量的影响有不同的响应。

[0058] 也如图9b所示,检测器904用来检测光纤激光器901和903的拍频以及由于如压力、温度或同时这两种被测物理量产生的拍频变化。如果901(也可以是903)的两个偏振模态在经过连接激光器与检测器的光纤后与接收器呈完全正交的状态,为了确保在检测器904出现拍音,则有必要运用偏振差异检测。这样的检测测量两个偏振投影中的功率,从而确保如果第一投影没有显示拍音,则第二投影也会显示。这是因为取决于两个偏振态在偏振镜输入时的相对取向,一个投影的输出可以接近为零,因此拍音信号将会难以检测。在本发明的另一个实施例中,图9b中的检测器904伴随着光谱测量。显示弯曲和直线DFB激光器特征的

拍音的典型输出光谱如图9b所示。在这种情况下,RF和光谱测量可以都用于获得变换装置900b的弯曲和温度状态(或压力和温度状态)。

[0059] 在本发明的另一个优选实施例中,在整个系统中光纤是双折射光纤,包括DFB激光器之间的部分和将其与WDM和光检测器连接起来的部分。为了确保如检测器904这样的检测器上有强拍音,在检测器的通路上置入了与双折射光纤的两个轴呈45度取向的偏振镜。在本发明的又一个实施例中,存在很多DFB光纤激光器,其中每一个DFB的双折射都适用于以不同的RF频率产生RF拍音。从上述有关偏振拍音的讨论中可以看出,光纤双折射控制了RF偏差。因此,在同一根光纤上的许多DFB传感器可以读出组合激光输出的RF光谱的测量结果。

[0060] 在本发明的一个实施例中,DFB弯曲传感器被用作井中的压力传感器,如天然气井或油井。在这个传感器中,拍频被确定为弯曲变量(如半径)的函数。

[0061] 在本发明的另一个实施例中,DFB激光器的光栅嵌入有不同的压缩性的材料。因此,当压力改变时,内嵌的材料会变形,从而使光栅弯曲。图10用横截面的图表1000阐明了这一实施例,该图表显示了具有直线配置的光栅1002的光纤,该直线配置在正常条件下,也就是说,在已知的压力环境下,例如周围的压力下,放置在高压缩性的材料1001和低压缩性的材料1003之间。图表1005显示了这一压力的变化。图10所示的配置是可以实现的,例如,在一段光纤内将双涂层用于一个或多个光栅,其中一个涂层是高压缩性的材料而第二涂层是低压缩性的材料。当应用于对弯曲敏感的光栅时,这样的配置可以用作光纤压力传感器。

[0062] 根据本发明的一个方面,图10可以描述为显示了具有光栅1002的光纤,如DFB光纤,该光纤至少在一个部分上用第一涂层1001封装,在第二部分上用第二涂层1003封装。这两个涂层1001和1003有不同的总体变形系数,因此在对温度或压力这样的被测物理量作出响应时,彼此的变形是不同的。与环境中的材料发生化学反应也可能导致涂层变形。每一个涂层响应这一反应的变形可能不同。这个实施例中的另一个方面包括,受被测物理量的影响一个涂层会变形而另一个涂层却不会变形。作为本发明的又一个方面,DFB光纤激光器或具有激光器材料的光栅被嵌在光导或传感器中,该光导或传感器的横截面实质上为矩形,如条带形,或至少不是圆形。这样的条带形增强了条带的不同面上的不同涂层的效果。

[0063] 在本发明的另一个实施例中,涂层1001和1003是相同的材料但是每一种涂层相对彼此来说厚度不同。在本发明的又一个实施例中,涂层1001、1003或两种涂层都包含了多个涂层,即使用一个以上的涂层来在光栅1002的一面或两面上生成了一个总的涂层。在本发明的另外一个实施例中,DFB光纤激光器只有一个涂层,例如涂层1001或1003,其附在DFB光纤激光器的一面。

[0064] 由于在光纤或条带的不同面上应用的每一个涂层的变形系数不同,因此光纤或条带的形状会经历变形,光纤或条带会随着涂层的形状发生最大程度的变形,这导致光纤或条带弯曲。如上所释,这一弯曲会通过取决于光纤或条带弯曲程度的拍频转换成信号。

[0065] 根据本发明的另一个实施例,DFB光纤激光器附接到因被测物理量改变而改变了形状的表面。例如,DFB光纤激光器可以附接到如弹性聚合物等挠性材料的表面,例如气球。当气球内部的压力改变时,气球扩张或收缩,从而改变DFB光纤激光器的弯曲。举例来说,由温度变化带来的形状变化的物体的其他表面(例如由合金或聚合物这样的形状记忆材料组成)也可以用作基于参数的弯曲DFB传感器的载体或变换器。

[0066] 在本发明的另一个实施例中,传感器在初始位置就已经弯曲。被测物理量的增减会改变传感器的弯曲量,这可以通过源于DFB光纤激光器的差拍信号检测出来。

[0067] 在本发明的另一个实施例中,DFB光纤被具有多个纤芯的光纤所替代。在这个实施例中,DFB光栅被刻在了不止一个纤芯上。这样弯曲就会在一个或多个纤芯上产生应力状态的变化。激光器频率的被测物理量或是通过与光有关的方式或是通过测量RF拍音就会引发弯曲状态,并且可以用于最终计算被测物理量的变化。拍音可来源于在以多个模态运行的每一个纤芯中的DFB激光器,或通过利用来自每个DFB激光器的响应来产生拍音。

[0068] 在本发明的另一个实施例中,带有偏振相关损耗(PDL)的元件被包括在DFB光纤激光器和检测器之间的路径中。PDL可以如在偏振镜中一般大,或稍小。它也可以是集中的或分布的。它也可以放置得离光栅足够近,这样就可以在装配中调整它的取向,因此这个PDL的取向就总是与DFB的两个本征偏振态不重合。例如,DFB可能在线性的0-90度发射激光,而PDL元件的取向可能呈45度以确保两个模态的差拍。作为另一选择,偏振分集光学元件可以放置在检测器前。例如其可以包括一个分束器,随后在其一臂上有0度的偏振镜,另一臂上有45度的偏振镜。这两个RF信号可以相加,例如使用加法放大器。RF或光领域的相移可以相加以确保RF拍音,不管偏振的输入态如何。作为另一种选择,检测器可以用偏振光学头来替代,这个光学头测量在多个偏振态上输入信号的投影。这些信号在RF领域的加法放大器中相加。RF或光领域的相移可以相加以确保RF拍音,不管偏振的输入态如何。

[0069] 在本发明的另一个实施例中,RF频率由锁相环(PLL)电路测得。从锁相环的读出结果随后给出RF信号。

[0070] 需要两个DFB激光器(弯曲DFB激光器和直线DFB激光器)以确定温度和压力的这个必要条件也可以通过设计合适地双纤芯DFB光纤激光器来实现,其中两个单独的DFB光纤激光器都置于单个光纤之中。例如,通过在双纤芯的PM光纤中设置DFB腔,其纤芯(纤芯A和光纤B)的慢轴如图11所示互相垂直或大致垂直,技术人员可以通过以下方程式获得两个DFB激光器的拍音: $\Delta v_A = C_{0A} + C_{1A} \cdot T + C_{2A}/R^2$ 以及 $\Delta v_B = C_{0B} + C_{1B} \cdot T - C_{2B}/R^2$ 。通过测量这样的双纤芯弯曲DFB激光器的拍音,T(温度)和R(弯曲半径)可以被确定。大致垂直这里指两个慢轴之间的角度在90度的基础上最多偏离10度。

[0071] 可选地,图12所示的光纤的慢轴可以相对另一个光纤呈45度或大致45度,因此当激光器向所示方向弯曲时,纤芯B中的DFB激光器的拍频不会改变。大致45度这里是指角度在45度的基础上不会偏离超过5度。对应纤芯A和B的每一个DFB激光器的拍音可以分别写成 $\Delta v_A = C_{0A} + C_{1A} \cdot T + C_{2A}/R^2$ 以及 $\Delta v_B = C_{0B} + C_{1B} \cdot T$ 。测量 $\Delta v_A$ 和 $\Delta v_B$ 可以确定T和R。

[0072] 此外,如图13中的1301所示,通过使光纤的一小部分逐渐变细成锥形,可以使泵浦光进入双纤芯并从纤芯中提取信号光,这样光(泵浦和/或信号)可以从一根纤芯耦合到另一根纤芯上。在图13中,大致远离光栅部分(灰色区域所示)的双纤芯的一个或多个部分是逐渐变细成锥形,因此使两根纤芯彼此靠得更近。这一逐渐变细的形状可以使得用于纤芯中的任意一根的泵浦分成两个以激发两个激光器。同样,当设计合适时,相同的锥形可以使得泵浦信号和激光输出都在锥形区域1301混合,并且在两根纤芯的任意一根中都能被检测到。使光纤的相对两端逐渐变细成锥形可以在任意一端应用泵浦,并从另一端提取激光输出。这可以通过使用单个输出端口从两个DFB激光器中提取光。使用公知的光纤耦合器,如3dB熔合型光纤耦合器,可以实现相似的功能。

[0073] 在本发明的另一个实施例中,纤芯A和B每一根中的光栅显示出彼此的中心波长略有不同,这样使用滤光器可以将总的输出分离开,而每一个激光器的RF拍音也可以被轻易检测到。

[0074] 在本发明的另一个实施例中,提供的光纤具有沿着光纤纵向延伸的中空腔或密封空间,其位置相对一根纤芯是不对称的,如图14所示的纤芯A。在图14的典型实施例中,密封空间内部的压力 $P_{in}$ 处于大气压力的水平。当光纤的中空腔和外部( $P_{out}$ )之间有压力差时,光纤相对纤芯的两个偏振轴会以不对称的方式变形,并且会弯曲或引起双折射。因此,技术人员不需要任何机械装置就可以直接测量光纤经受的压力差。

[0075] 在本发明的另一个实施例中,在其纤芯两边都具有中空结构的光纤被用作压力传感器元件。如图15所示,压力传感器元件包含光纤1500,该光纤1500具有至少一根DFB激光器纤芯1501和至少两个腔或空间1502和1503,每一个腔或空间的内部压力与另一个相同。与图14类似,当光纤1500的外部压力相对于腔1502和1503的内部压力改变时,光纤上的应变呈径向不对称,从而导致双折射和拍音的改变,如图15所示。例如,当1504和1505的变形的外部压力更高时,这一差异会导致在1506和1507的方向上的外部变形,因而导致纤芯1501的应变以及双折射的改变。

[0076] 图10、图14和图15每一幅都显示了分布式激光器的光纤构造,其横截面的各向异性压力特性使光纤的应变呈径向不对称,使光纤由于变化的压力而弯曲。如上所释,弯曲会促使双折射改变,这可以通过拍频的变化测得。因此,不需要任何光纤固定器通过改变外部压力的方式来使光纤有不同的弯曲状态。然而,至少有一个光纤固定器可能用来固定住径向各向异性压力敏感性光纤。

[0077] 图9a和图9b中图解的弹簧设置被描述为对声音振动敏感。因此,当声波撞击装置时,弹簧的运动会导致弯曲DFB光纤激光器振动。注意虽然可以使用弹簧,但不是必需具有弹簧。只需具有声音的敏感性即可,即声音振动可以转换为DFB激光器弯曲的变化。接着DFB激光器的运动会在DFB RF拍音上强加频率调制。在本发明的另一个实施例中,外差解调方案用于解调这个信号以产生可以再现原始声波的基带信号。一个这样的外差方案运用了锁相环。电压控制的压控RF就会包含声音信号。因此,弯曲DFB激光器当作带外差检测的全光麦克风。技术人员可以沿着在图16中所示的慢轴和第一轴中任意一个轴的方向将应力作用在光纤上,而不是用压力变化引发光纤的弯曲变化。这引发了双折射的变化并产生了拍音。因此,使用这样的结构测量DFB激光器的拍音就可以测量由于所施加的应力所造成的压力并且测量由于双折射的变化所造成的温度。

[0078] 在本发明的又一个实施例中,许多传感器如图17所示串联成一串。这可以通过普通的泵浦辐射从一端提供能量,而来自每一个DFB传感器元件的光(优选具有不同的中心波长,这样不会彼此干涉)可以从一端被输出并且被查询以提取单个元件的拍音信息。

[0079] 根据本发明的一个实施例,如光纤DFB激光器产生的信号和相关数据可以通过图18所示的系统来处理。该系统具有从光纤DFB激光器获取的数据并包含数据存储设备或存储器介质1801、存在存储介质1802上的一组可执行指令、以及处理器1803。提供的数据也许来自多个输入,如接收的数据1806来自传感器。数据,如测量数据也许是由输入装置1805提供,在一个实施例中,这一装置是锁相环(PPL)电路。例如,这样的数据也许在连续的基础上提供。含有用于执行本发明方法的至少一组指令的程序被存储在存储器1802上,并被提

供给处理器1803,这个处理器能执行1802的指令以处理数据1801。来源于处理器的例如代表温度、半径或声音信号或任何其他信号的数据可以在输出装置1804上输出,举例来说,这个装置可以是显示器或提供声音信号的扬声器。该处理器可能有通信信道1807来接收来自通信装置的其他数据并将数据传输到外部装置。处理器可以是专用硬件。然而,处理器1803也可以是CPU或者可以执行1802的指令的任何其他计算装置。因此,图18所阐明的系统提供了用于数据处理的系统,处理这里提供的传感器和设备产生的上述数据,从而能够执行作为本发明的一个方面而在这里提供的方法的步骤。

[0080] 图19阐明了根据本发明的一个方面的声音传感器,例如麦克风。声音/光学变换器1901由弯曲光纤DFB激光器构成,激光器的位置与图9a和9b中所示的DFB激光器类似。本发明的一个实施例中位于中立位置的光纤形状已经呈现一个圆形的弯曲形状。在本发明的另一个实施例中,弯曲光纤的形状是一个圆锥截面,并且至少部分形状为圆、椭圆、抛物线或双曲线。在本发明的又一个实施例中,弯曲光纤的形状是一个光滑的拱形或曲线,其接近一个圆锥截面。有着特别光滑形状的DFB激光器产生的拍音的特点在于,它当前的形状或形状参数以及当前的形状或形状参数的变化或变形。利用一个圆形和半径作为它的形状参数仅仅是光纤DFB激光器的形状依赖型双折射的一个例子。

[0081] 回到图19,在变换器1901上接收到声音信号。该声音信号使光纤的形状产生变化。尽管图19中没有显示,可以假定1901中的光纤DFB激光器具有泵浦激光信号,还具有连接器把泵浦激光器耦合到光纤中并把产生的激光去耦合。声音信号导致的形状改变也许是弯曲半径或其他形状参数的改变,这会导致从激光信号中产生光拍音。激光信号被混合以便在光接收器或检测器1902中产生拍音信号并且产生电射频(RF)信号。产生的电信号可以通过信号调整器1903来过滤和/或放大或以别的方式调整。RF信号可以通过外差混频器1904来混频并通过PLL解调器1905来解调以产生可以被称作基带信号的解调信号。

[0082] 根据光纤DFB激光器的形状变化,差拍信号的频率会改变。而根据一个信号,例如声音信号,激光器也有所不同。因此,差拍信号的频率根据声音信号有所不同,而产生的差拍信号代表调频声音信号。在本发明的一个实施例中,光纤具有半径小于15cm的圆形。在另一个实施例中,光纤具有半径小于10cm的圆形。在又一个实施例中,光纤具有半径小于5cm的圆形。

[0083] 为了解调调制信号,差拍信号也许被提供给外差接收器或混频器1904,其将调频信号降频到更低的频带,例如降到PLL或FM解调器可以运行的频带。

[0084] 这样,电信号就被提供给FM解调器1905。这可以作为锁相环(PLL)电路完成。FM解调器1905的输出与拍音频率即外部微扰的测量结果成比例。

[0085] 尽管本发明的基本的新颖特征已经在被运用到它的最佳实施例时有所显示、描述或指出,应当理解那些本领域技术人员在不脱离本发明的精神的基础上,能够对所示的方法、系统及其操作的形式和细节,做出各种各样的省略、替代以及改变。本发明因此仅仅受到所附权利要求的范围的限制。

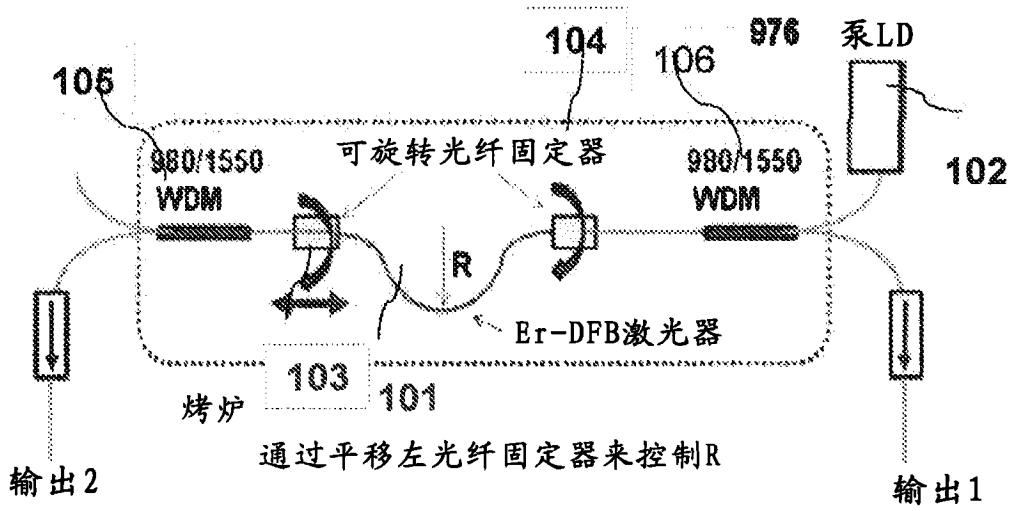


图1

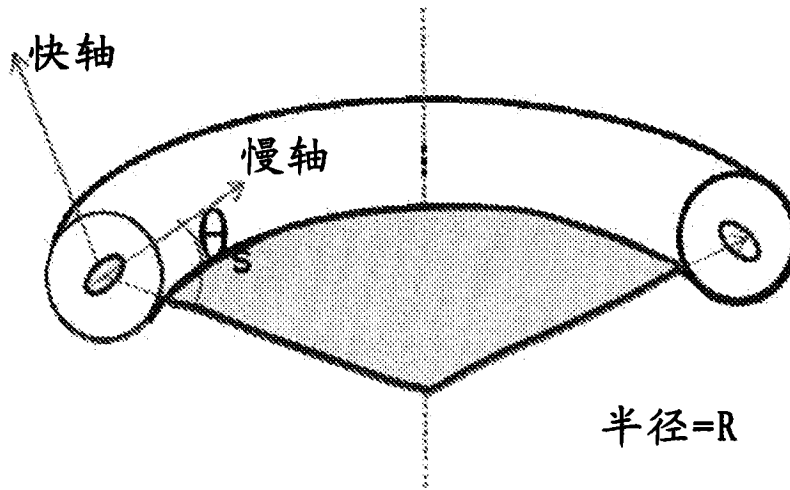


图2

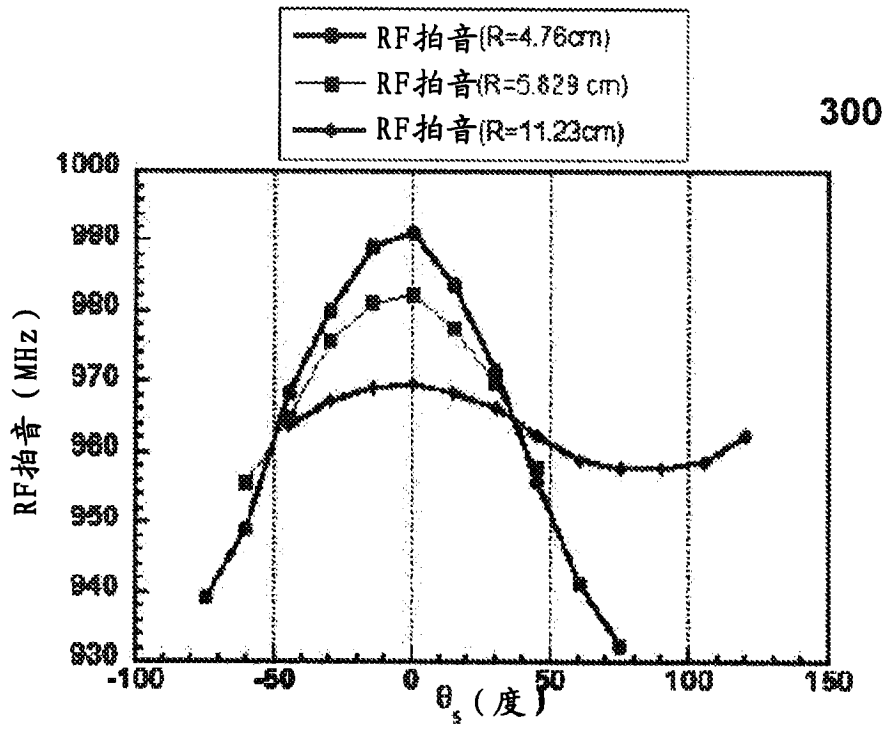


图3

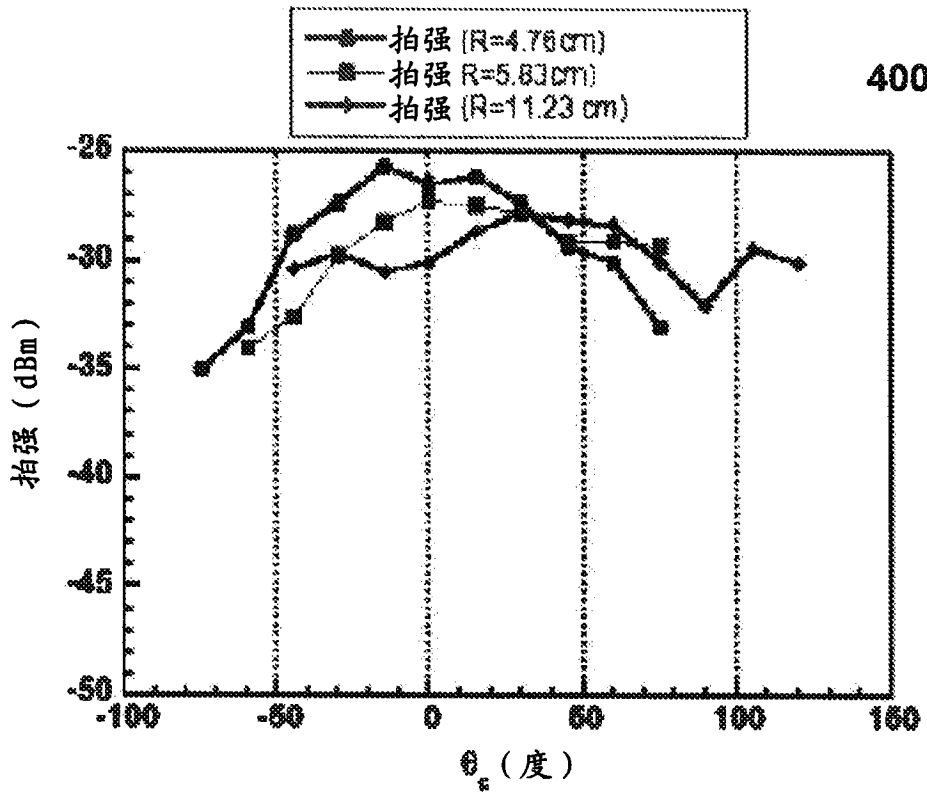


图4

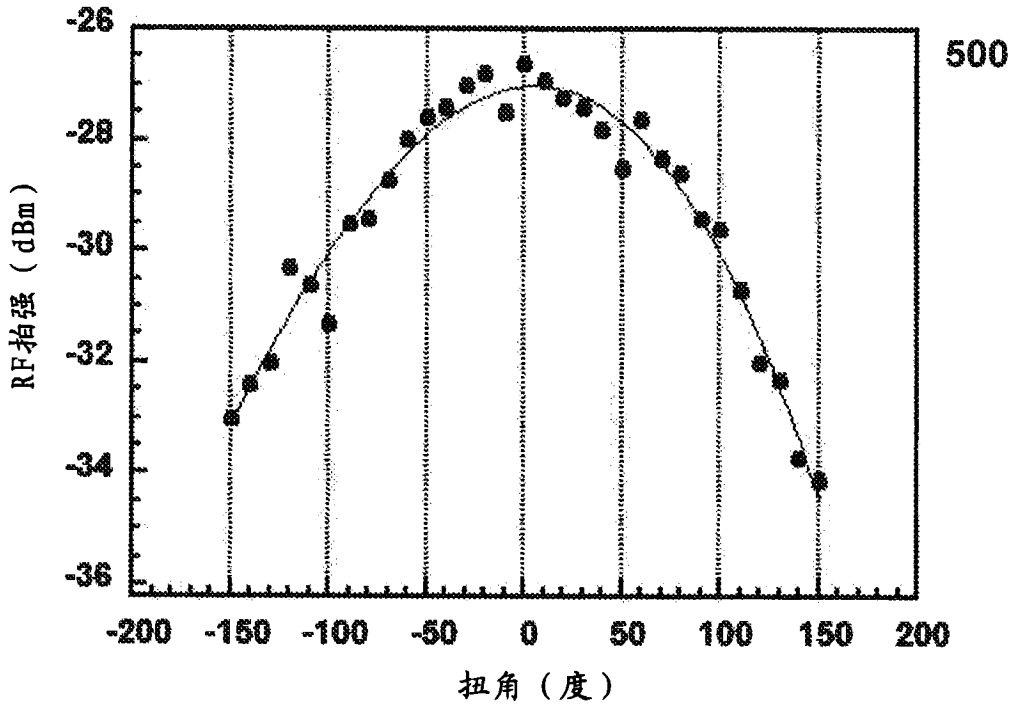


图5

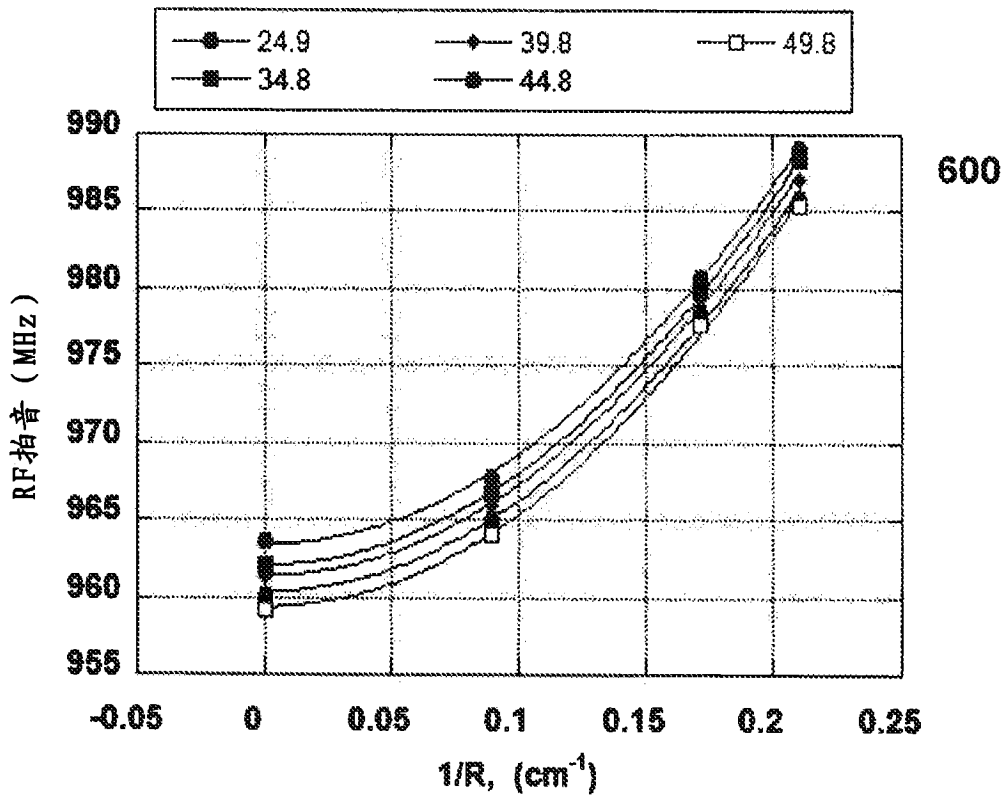


图6



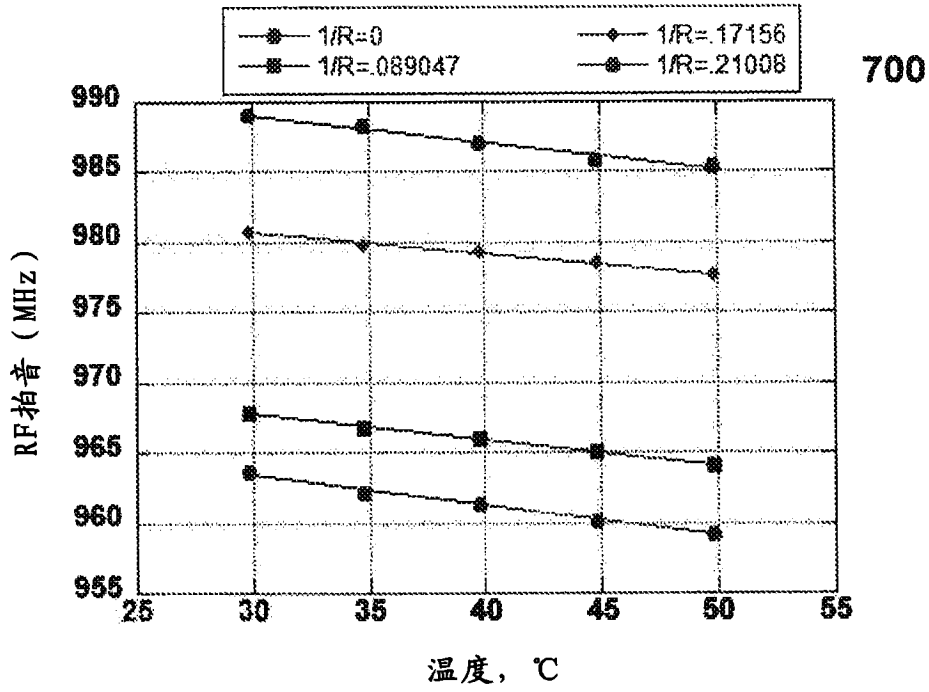


图7

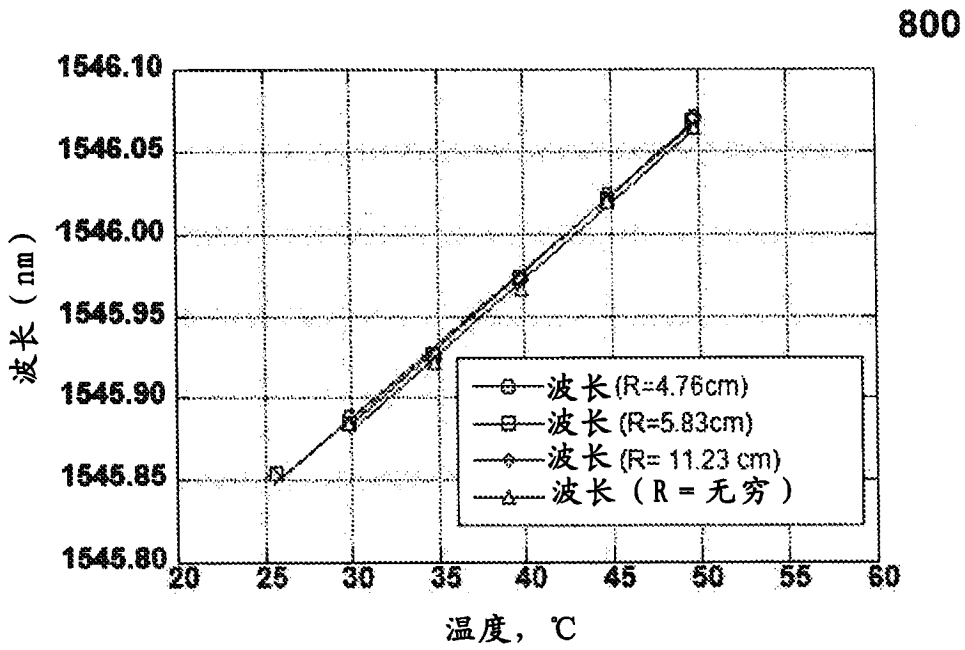


图8

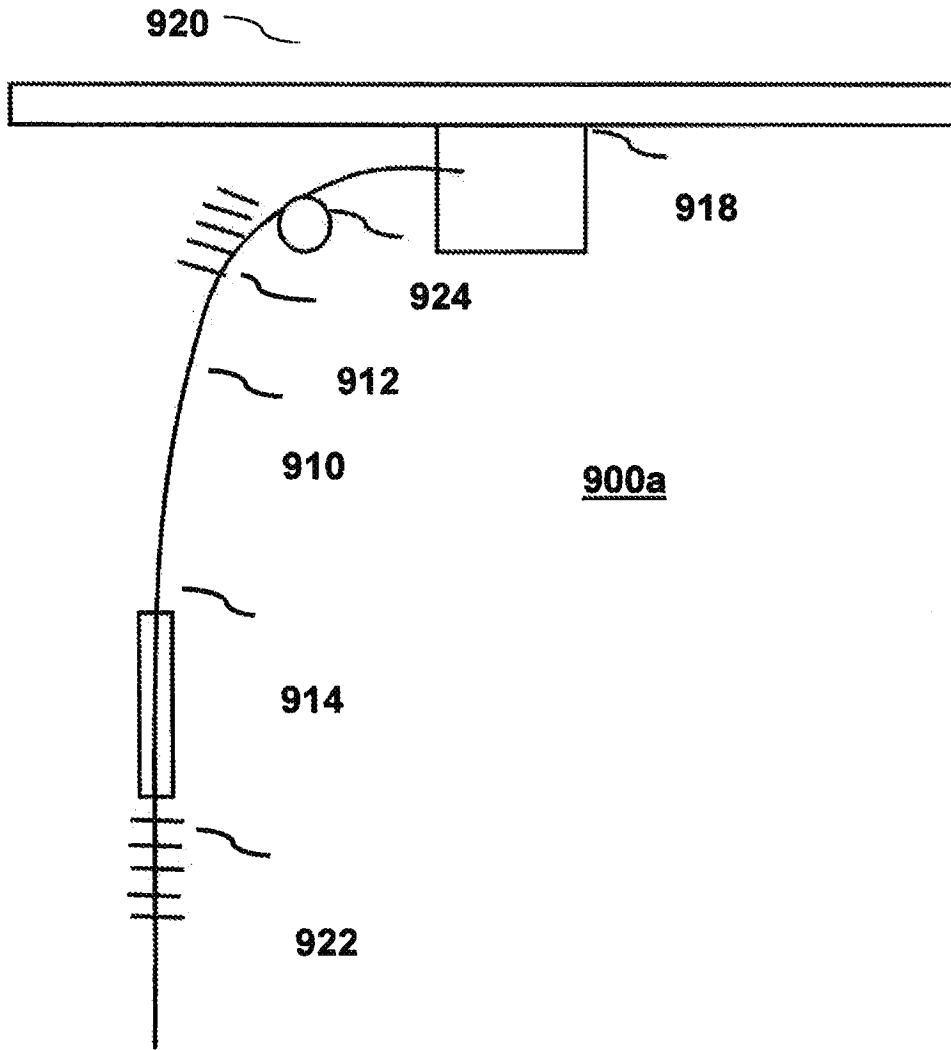


图9a

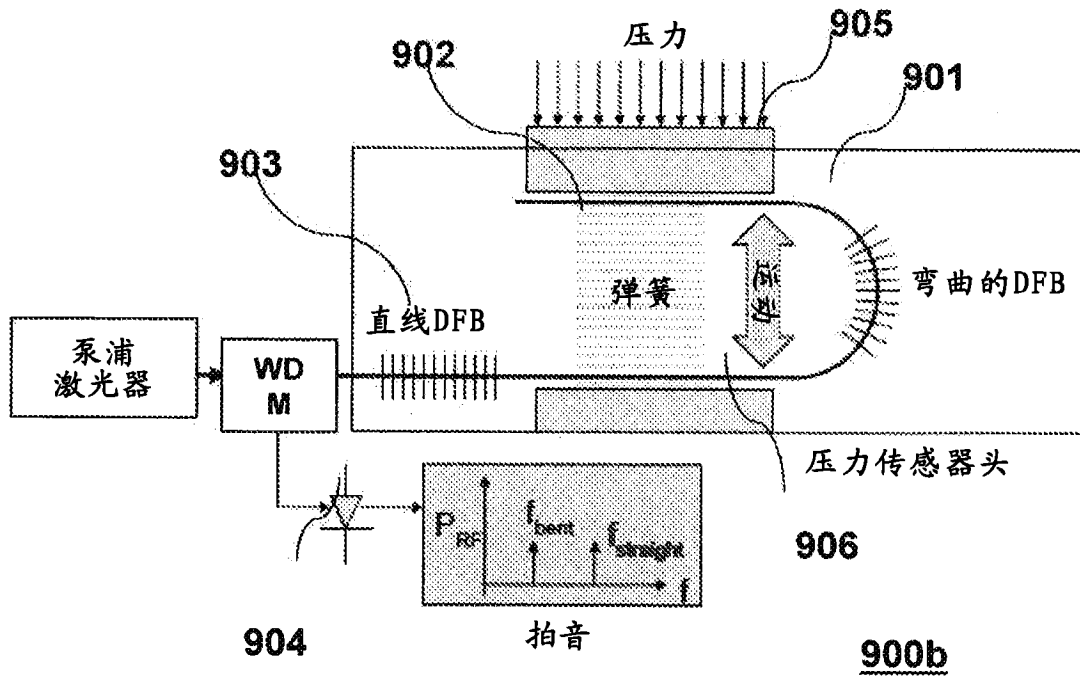


图9b

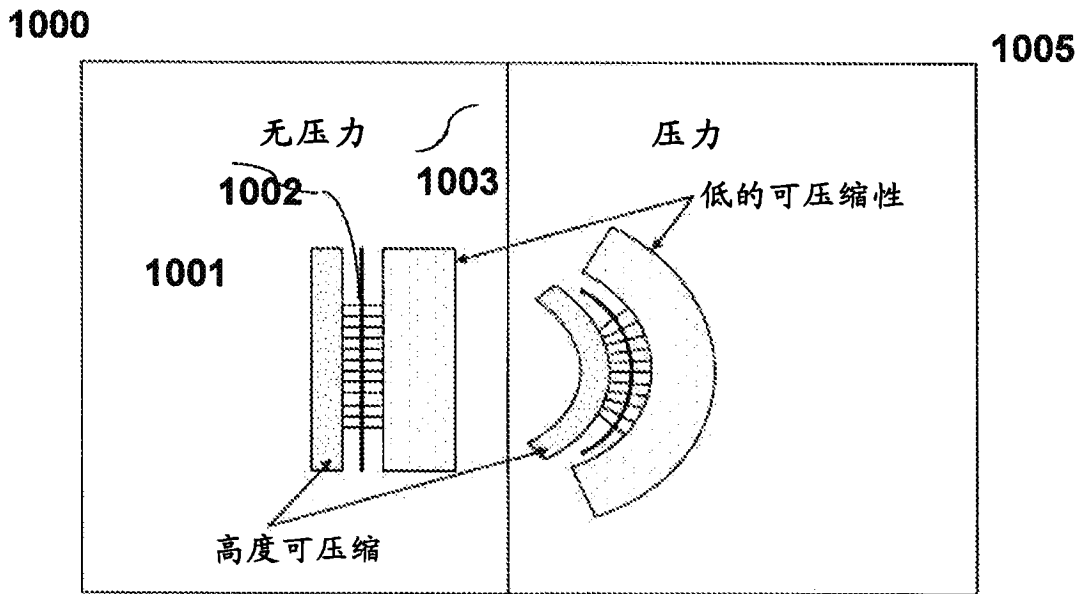


图10

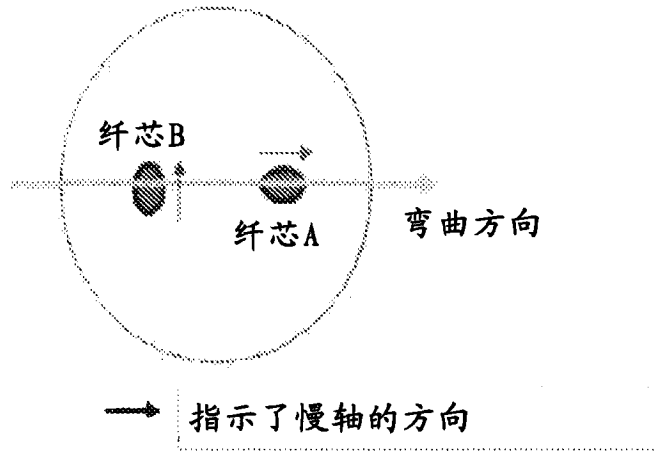


图11

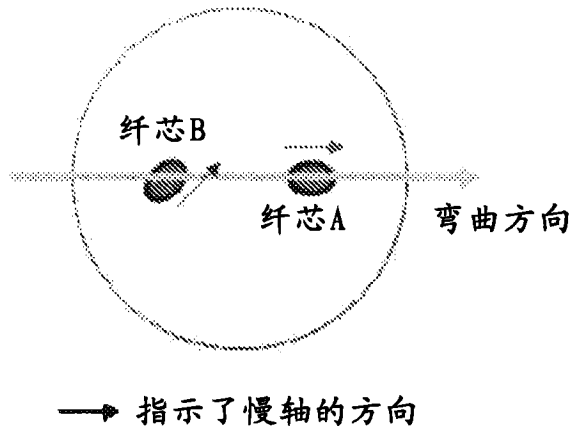


图12

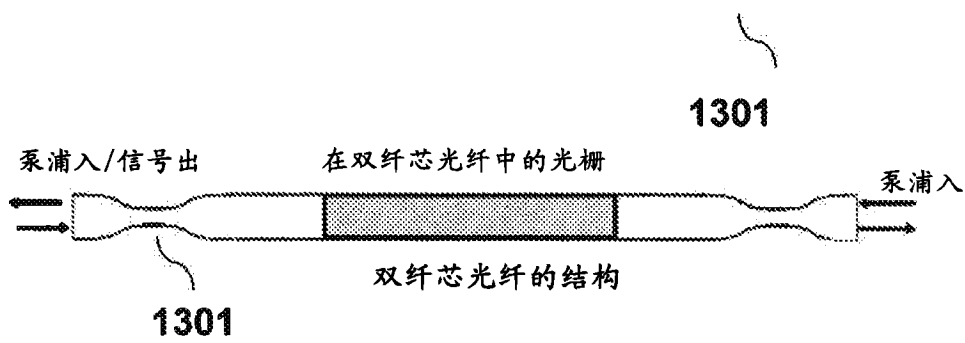


图13

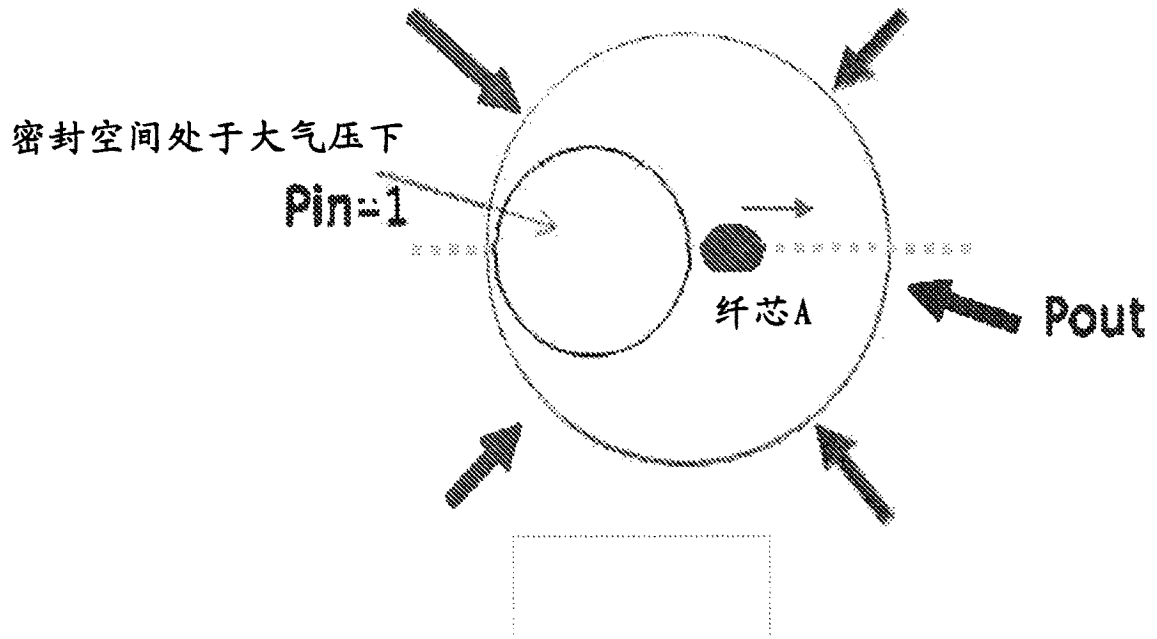


图14

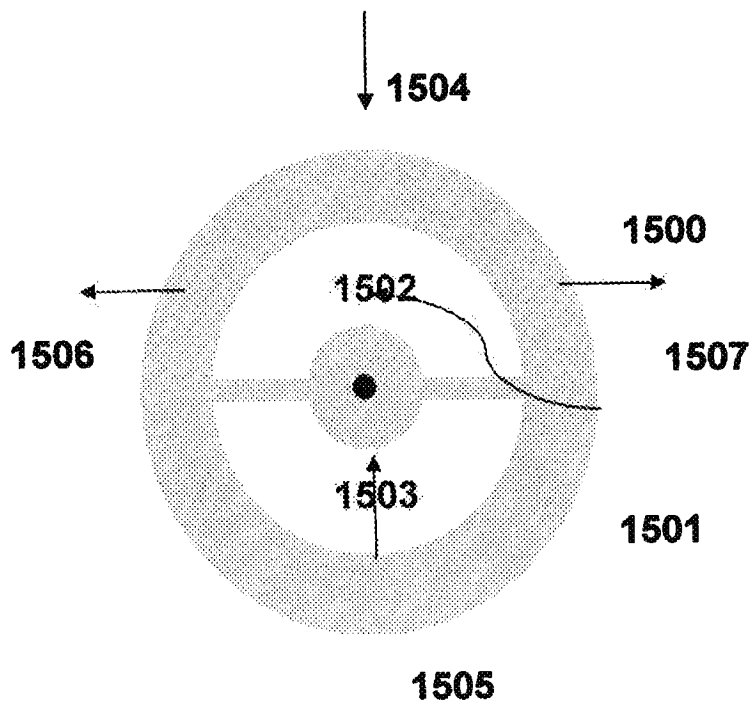


图15

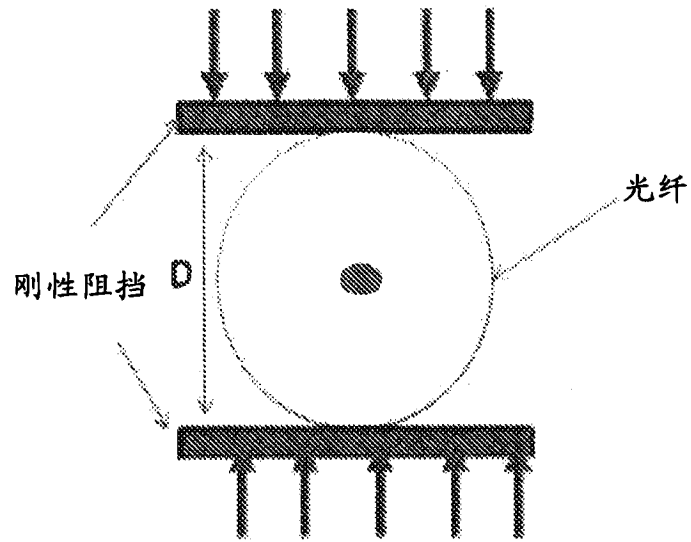


图16

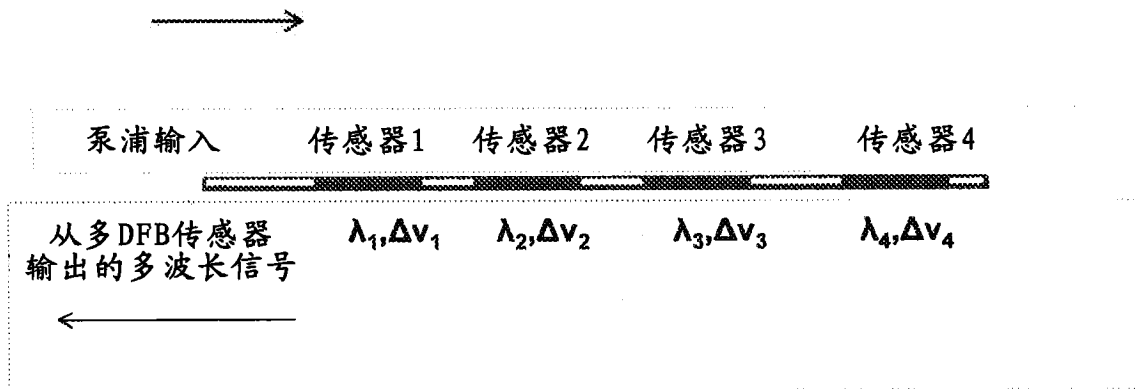


图17

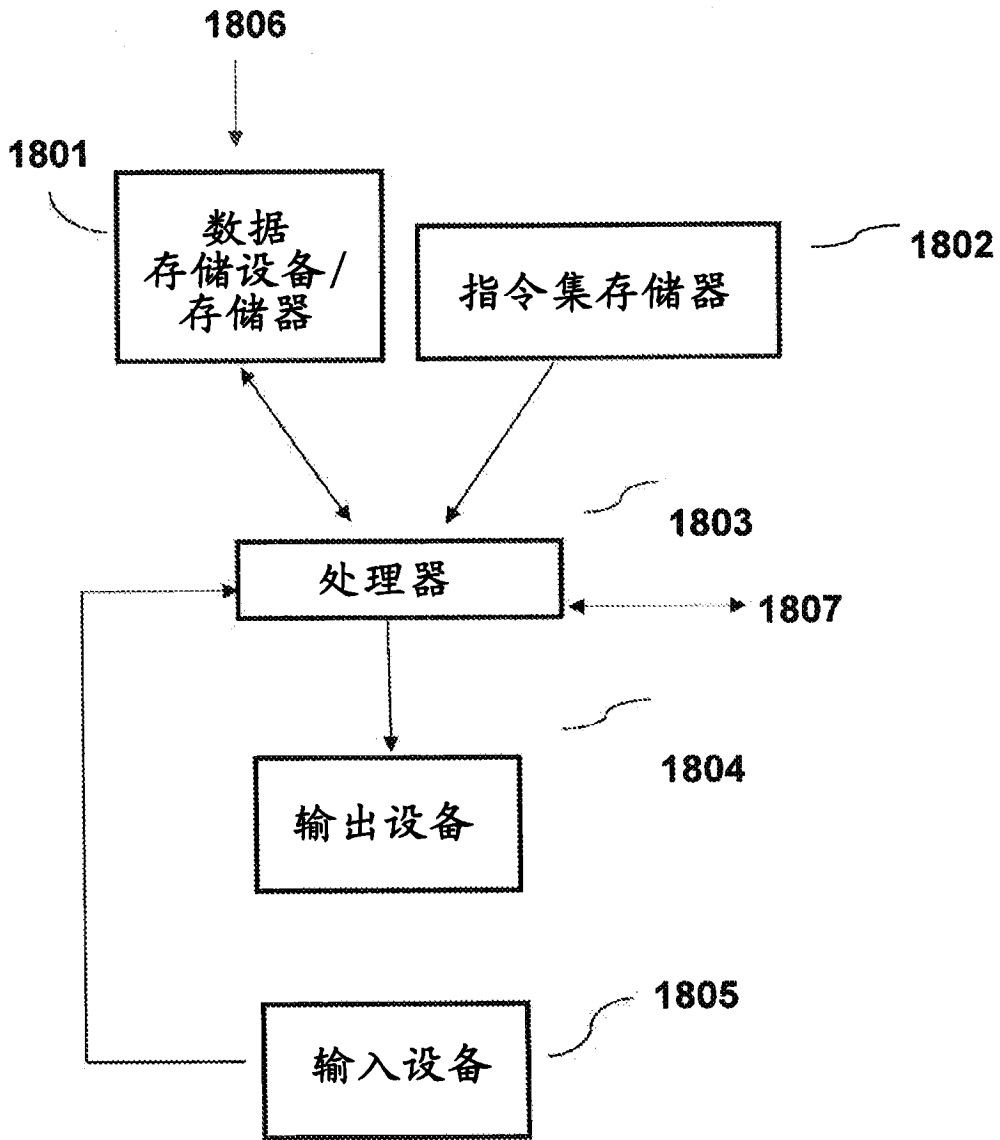


图18

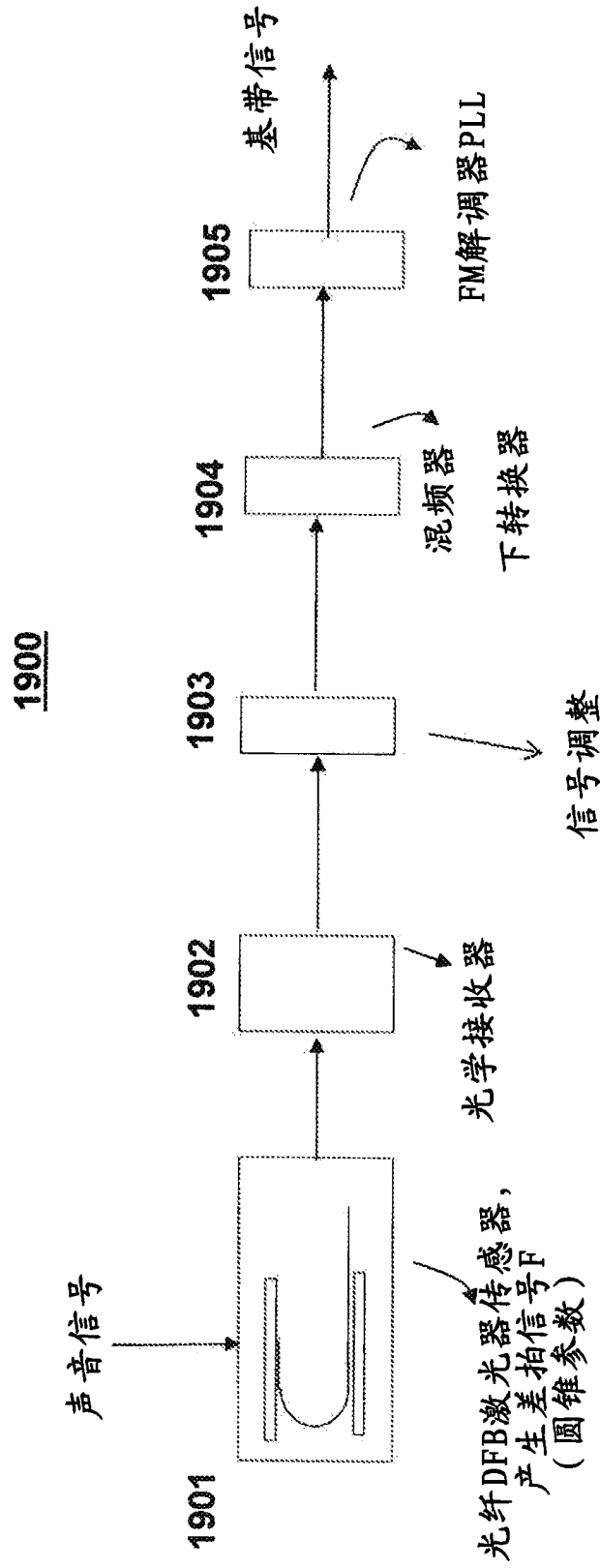


图19