



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108507981 B

(45) 授权公告日 2020.09.22

(21) 申请号 201810321250.3
 (22) 申请日 2018.04.11
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 108507981 A
 (43) 申请公布日 2018.09.07
 (73) 专利权人 南京大学
 地址 210093 江苏省南京市鼓楼区汉口路
 22号
 (72) 发明人 张笑裴 刘晓平
 (74) 专利代理机构 南京知识律师事务所 32207
 代理人 李媛媛
 (51) Int. Cl.
 G01N 21/45 (2006.01) (续)
 (56) 对比文件
 CN 107576341 A, 2018.01.12
 CN 102997937 A, 2013.03.27
 CN 103954378 A, 2014.07.30
 US 2018073959 A1, 2018.03.15
 CN 103245370 A, 2013.08.14
 CN 207147589 U, 2018.03.27
 CN 107830880 A, 2018.03.23

CN 107515033 A, 2017.12.26
 CN 103763022 A, 2014.04.30
 CN 105490738 A, 2016.04.13
 CN 205453695 U, 2016.08.10
 CN 106500970 A, 2017.03.15
 CN 107515017 A, 2017.12.26
 CN 102997937 A, 2013.03.27
 CN 102322880 A, 2012.01.18
 CN 102840909 A, 2012.12.26
 CN 102636196 A, 2012.08.15
 CN 103900680 A, 2014.07.02
 Kenji Wada等. "Precise measurement of single-mode fiber lengths using a gain-switched distributed feedback laser with delayed optical feedback". 《OPTICS EXPRESS》. 2015, 第23卷 (第18期), 第23013-23020页. (续)

审查员 唐海银

权利要求书2页 说明书4页 附图3页

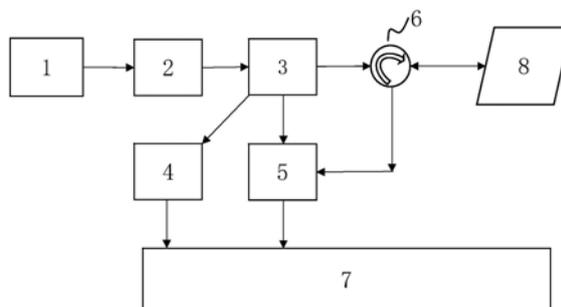
(54) 发明名称

基于OFDR的硅基波导背反射传感装置及其测量方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于OFDR的硅基波导背反射传感装置及其测量方法。装置包括可调谐激光器、触发干涉仪、光纤环形器、偏振控制与分束模块、测量干涉仪、耦合传感模块、高速采集模块和计算机。可调谐激光器发出扫频激光，偏振控制与分束模块控制扫频激光的偏振态并将其分束，第一路光进入触发干涉仪并产生第一拍频信号作为外部时钟；第二路光进入全保偏的测量干涉仪，第三路光经过光纤环形器与耦合传感模块生成背反射信号光，背反射信号光与第二路光干涉产生第二拍频信号，高速采集模块和计算机对

第二拍频信号进行解调并得出位置信息。本发明通过快速、方便的非侵入式测量，可以精确测量硅基波导的光束部分长度和光束在硅基波导中的传播质量。



CN 108507981 B

[接上页]

(51) Int.Cl.

G01B 11/02 (2006.01)

G01B 11/30 (2006.01)

G01M 11/02 (2006.01)

(56) 对比文件

Bowen Feng等.“Improving OFDR spatial resolution by reducing external clock sampling error”.《Optics Communications》.2016,第363卷第 74-79页.

Mark E. Froggatt等.“Characterization

of Polarization-Maintaining Fiber Using High-Sensitivity Optical-Frequency-Domain Reflectometry”.《JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY》.2006,第24卷(第11期),第4149-4154页.

Zhao, D等.“Optical frequency domain reflectometry for characterization of distributed bragg reflectors”.《In Proceedings of the 19th European》.2017,第 1-2页.

1. 基于OFDR的硅基波导背反射传感装置的测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

搭建光路:通过计算机控制可调谐激光器发出扫频激光,根据被测硅基波导本身的传播性质,设置扫频激光的中心波长和扫频范围,使得可调谐激光器发出的扫频激光都能良好地在波导内传播,搭建光路并使扫频激光依次经过偏振控制与分束模块、光纤环形器、耦合传感模块与光功率计,光功率计连接的计算机可以实时显示接收到的光功率值;

耦合粗调:通过耦合传感模块的入射夹具位移台和出射夹具位移台,将耦合传感模块的入射裸光纤与出射裸光纤分别对准硅基波导的入射端和出射端,要确保出射裸光纤能够准确对准硅基波导的出射端;

耦合细调:固定耦合传感模块的出射夹具位移台不动,通过耦合传感模块的入射夹具位移台对耦合传感模块的入射裸光纤进行精确调节,使透射光功率达到最大值,此时为最优的入射裸光纤位置;

偏振调节:固定耦合传感模块的入射夹具位移台和出射夹具位移台不动,连续调节偏振控制与分束模块,使入射扫频激光的偏振态发生连续变化,使透射光功率达到一个最大,此时为最优的入射扫频激光偏振态;

OFDR测量:连接触发干涉仪和测量干涉仪至高速采集模块,并移开耦合传感模块的出射裸光纤;通过计算机控制可调谐激光器发出扫频激光,扫频激光被偏振控制与分束模块分为三路:第一路光进入触发干涉仪并发生拍频干涉,产生第一拍频信号,并被高速采集模块所接收,该信号作为高速采集模块的外部时钟信号;第二路光进入测量干涉仪作为参考光;第三路光经过光纤环形器的第一、第二端口和耦合传感模块的入射裸光纤被送入被测硅基波导,并产生背散射信号光,再经过光纤环形器的第三端口被送入测量干涉仪;背散射信号光与参考光在测量干涉仪中发生拍频干涉,产生第二拍频信号,第二拍频信号被高速采集模块所接收;

解调:计算机对第二拍频信号进行解调并得出被测硅基波导的背反射信号光相对于位置坐标的反射谱;分析该反射谱可得知,光束在被测硅基波导的内部传输的相关信息。

2. 根据权利要求1所述的基于OFDR的硅基波导背反射传感装置的测量方法,其特征在于,所述偏振控制与分束模块对扫频激光的偏振态调节为可连续调节的工作方式。

3. 根据权利要求1所述的基于OFDR的硅基波导背反射传感装置的测量方法,其特征在于,所述触发干涉仪的内部两条干涉臂长度不相同。

4. 根据权利要求1所述的基于OFDR的硅基波导背反射传感装置的测量方法,其特征在于,所述光纤环形器为偏振保持的工作模式。

5. 根据权利要求4所述的基于OFDR的硅基波导背反射传感装置的测量方法,其特征在于,所述光纤环形器三个端口的光纤均为偏振双轴导通的工作模式。

6. 根据权利要求1所述的基于OFDR的硅基波导背反射传感装置的测量方法,其特征在于,所述耦合传感模块包括入射裸光纤、入射夹具位移台、出射裸光纤、出射夹具位移台、光功率计和计算机;所述入射裸光纤的一端与光纤环形器的第二端口连接,另一端通过入射夹具位移台对准被测硅基波导的入射部位;所述出射裸光纤的一端通过出射夹具位移台对准被测硅基波导的出射部位,另一端与光功率计连接。

7. 根据权利要求6所述的基于OFDR的硅基波导背反射传感装置的测量方法,其特征在于,所述入射裸光纤和出射裸光纤均为移除外包层的裸光纤,所述入射裸光纤为偏振双轴

导通的工作模式,所述光功率计为实时显示功率数据的工作模式。

8. 根据权利要求1述的基于OFDR的硅基波导背反射传感装置的测量方法,其特征在于,所述测量干涉仪为偏振保持的工作模式;测量干涉仪的一个端口接收来自于偏振控制与分束模块的扫频激光,另一个端口接收背反射的信号光。

9. 根据权利要求8所述的基于OFDR的硅基波导背反射传感装置的测量方法,其特征在于,所述测量干涉仪的两个端口的光纤均为偏振双轴导通工作模式。

基于OFDR的硅基波导背反射传感装置及其测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及分布式光纤传感和系统检测仪器技术领域。具体涉及一种基于OFDR的硅基波导背反射传感装置及其测量方法。

背景技术

[0002] 以硅基波导为核心的片上硅基光学器件的发明和应用,革命性地改变了人类的生活。硅基波导的原材料价格低廉,硅作为高折射率材料和通讯波段的窗口材料,可以把光场以极小的损耗限制在微纳尺寸的结构中。但是,检测硅基波导质量的方法,现有技术中较多是通过电子显微术来进行观察,这种方式成本较高,速度很慢,并且不容易诊断波导内部结构的状况。

[0003] 而光频域反射计(Optical Frequency Domain Reflectometry,OFDR)使用高相干的线性扫频激光器作为光源,将参考光与测量臂的被测器件背向散射光进行拍频干涉,通过拍频干涉图样的接收以及拍频信号的解调,即可得出器件不同位置处的背向反射信息。但如果将OFDR应用于硅基波导的检测,需要解决入射扫频激光与硅基波导的耦合问题,而且入射光束的偏振态性质极大地影响耦合质量,进而会影响OFDR的最终数据结果。

发明内容

[0004] 针对以上现有技术的不足,本发明提供了一种基于OFDR的硅基波导背反射传感装置,目的在于能够高速、精确、方便地得到硅基波导的背反射信息。本发明的另一个目的是提供一种利用该传感装置的测量方法。

[0005] 本发明的装置采用的技术方案如下:

[0006] 基于OFDR的硅基波导背反射传感装置,包括可调谐扫频激光器、偏振控制与分束模块、触发干涉仪、光纤环形器、测量干涉仪、耦合传感模块、高速采集模块和计算机;所述可调谐扫频激光器发出线性周期变化的扫频激光入射到偏振控制与分束模块,所述偏振控制与分束模块控制扫频激光的偏振态,并将其分为三路,分别进入触发干涉仪、光纤环形器和测量干涉仪;所述触发干涉仪使入射的扫频激光发生拍频干涉,产生第一拍频信号;所述光纤环形器将入射的扫频激光送入耦合传感模块;所述耦合传感模块连接OFDR系统与被测硅基波导,生成背反射信号光后送回至所述光纤环形器;所述测量干涉仪使入射的扫频激光与光纤环形器的背反射信号光发生拍频干涉,产生第二拍频信号;所述高速采集模块接收第一拍频信号使之成为外部时钟信号,同时接受第二拍频信号;所述计算机对第二拍频信号进行数据处理,得出被测量的硅基波导的相关信息。

[0007] 进一步地,所述偏振控制与分束模块对扫频激光的偏振态调节为可连续调节的工作方式。

[0008] 进一步地,所述触发干涉仪的内部两条干涉臂长度不相同。

[0009] 进一步地,所述光纤环形器为偏振保持的工作模式;所述光纤环形器第一端口接收来自于偏振控制与分束模块的扫频激光,第二端口连接耦合传感模块,将扫频激光送入

耦合传感模块中,并接收来自于耦合传感模块的背反射信号光,第三端口将来自于第二端口的背反射信号光送入测量干涉仪。

[0010] 进一步地,所述耦合传感模块包括入射裸光纤、入射夹具位移台、出射裸光纤、出射夹具位移台、光功率计和计算机;所述入射裸光纤的一端与光纤环形器的第二端口连接,另一端通过入射夹具位移台对准被测硅基波导的入射部位;所述出射裸光纤的一端通过出射夹具位移台对准被测硅基波导的出射部位,另一端与光功率计连接;所述光功率计连接计算机。

[0011] 进一步地,所述测量干涉仪为偏振保持的工作模式;测量干涉仪的一个端口接收来自于偏振控制与分束模块的扫频激光,另一个端口接收背反射的信号光。

[0012] 本发明利用上述基于OFDR的硅基波导背反射传感装置的测量方法,包括以下步骤:

[0013] 搭建光路:通过计算机控制可调谐激光器发出扫频激光,根据被测硅基波导本身的传播性质,设置扫频激光的中心波长和扫频范围,使得可调谐激光器发出的扫频激光都能良好地在波导内传播,搭建光路并使扫频激光依次经过偏振控制与分束模块、光纤环形器、耦合传感模块与光功率计,光功率计连接的计算机可以实时显示接收到的光功率值;

[0014] 耦合粗调:通过耦合传感模块的入射夹具位移台和出射夹具位移台,将耦合传感模块的入射裸光纤与出射裸光纤分别对准硅基波导的入射端和出射端,要确保出射裸光纤能够准确对准硅基波导的出射端;

[0015] 耦合细调:固定耦合传感模块的出射夹具位移台不动,通过耦合传感模块的入射夹具位移台对耦合传感模块的入射裸光纤进行精确调节,使透射光功率达到最大值,此时为最优的入射裸光纤位置;

[0016] 偏振调节:固定耦合传感模块的入射夹具位移台和出射夹具位移台不动,连续调节偏振控制与分束模块,使入射扫频激光的偏振态发生连续变化,使透射光功率达到一个最大,此时为最优的入射扫频激光偏振态;

[0017] OFDR测量:连接触发干涉仪和测量干涉仪至高速采集模块,并移开耦合传感模块的出射裸光纤;通过计算机控制可调谐激光器发出扫频激光,扫频激光被偏振控制与分束模块分为三路:第一路光进入触发干涉仪并发生拍频干涉,产生第一拍频信号,并被高速采集模块所接收,该信号作为高速采集模块的外部时钟信号;第二路光进入测量干涉仪作为参考光;第三路光经过光纤环形器的第一、第二端口和耦合传感模块的入射裸光纤被送入被测硅基波导,并产生背散射信号光,再经过光纤环形器的第三端口被送入测量干涉仪;背散射信号光与参考光在测量干涉仪中发生拍频干涉,产生第二拍频信号,第二拍频信号被高速采集模块所接收;

[0018] 解调:计算机对第二拍频信号进行解调并得出被测硅基波导的背反射信号光相对于位置坐标的反射谱;分析该反射谱可得知,光束在被测硅基波导的内部传输的相关信息。

[0019] 本发明的优点和积极效果:

[0020] (1) 本发明提出了一种基于OFDR的硅基波导背反射传感装置,利用了OFDR技术与裸光纤耦合芯片技术的完美兼容,依托常见的硅基波导芯片耦合系统,不需要额外增加耦合器件,所以结构简单,操作方便,便于推广。

[0021] (2) 本发明采用OFDR技术,拥有分辨率高、速度快等优点,能够快速得出硅基波导

的背反射信息,并通过非侵入式的测量,就可以准确得出硅基波导的光束部分长度和光束在硅基波导中的传播质量,如硅基波导内部的损耗、断点、弯折、侧壁粗糙度等信息。

附图说明

- [0022] 图1为本发明装置总体结构示意图;
[0023] 图2为本发明装置中耦合传感模块的内部具体结构示意图;
[0024] 图3为本发明装置的测量方法及步骤流程图;
[0025] 图4为使用本发明装置和方法测试得到的第一根硅基波导A背反射信号曲线;
[0026] 图5为使用本发明装置和方法测试得到的第二根硅基波导B背反射信号曲线。

具体实施方式

[0027] 下面结合附图对本发明作进一步说明。

[0028] 如图1为实现本发明方法的结构示意图,装置包括计算机1、可调谐激光器2、偏振控制与分束模块3、触发干涉仪4、测量干涉仪5、光纤环形器6、高速采集模块7与耦合传感模块8。可调谐扫频激光器2用于发出线性周期变化的扫频激光,偏振控制与分束模块3,用于控制扫频激光的偏振态,将扫频激光分为三路,分别进入触发干涉仪4、测量干涉仪5和光纤环形器6;触发干涉仪4用于使进入其中的扫频激光发生拍频干涉,产生第一拍频信号;光纤环形器6将入射的扫频激光送入耦合传感模块8,并接受背反射信号光;耦合传感模块8连接OFDR系统与被测硅基波导器件,接收来自于光纤环形器6的扫频激光,并生成背反射信号光送回光纤环形器6;测量干涉仪5用于使进入其中的扫频激光与来自于光纤环形器6的背反射信号光发生拍频干涉,产生第二拍频信号。

[0029] 如图2为耦合传感模块8的内部具体结构示意图,模块包括入射夹具位移台9、入射裸光纤10、出射裸光纤11、出射夹具位移台12、光功率计14、计算机1与被测硅基波导13。现结合内部具体装置对本发明的前期准备和操作方法进行阐述。

[0030] 搭建光路:通过计算机1控制可调谐激光器2发出扫频激光,根据被测硅基波导13本身的传播性质,设置扫频激光的中心波长和扫频范围,使得可调谐激光器2发出的扫频激光都能良好地在波导内传播,搭建光路并使扫频激光依次经过偏振控制与分束模块3、光纤环形器6、入射裸光纤11、被测硅基波导13、出射裸光纤11与光功率计14,光功率计14连接的计算机1可以实时显示接收到的光功率值。入射裸光纤10和出射裸光纤11均为移除外包层的裸光纤。

[0031] 接着进行出射裸光纤11到硅基波导13的耦合粗调,通过入射夹具位移台9和出射夹具位移台12,将入射裸光纤10与出射裸光纤11分别对准硅基波导的入射端和出射端,要确保出射裸光纤11能够准确对准硅基波导的出射端。此步骤同时调节入射裸光纤10和出射裸光纤11,保证透射光能够顺利地光功率计接收,以便后续操作。

[0032] 然后进行入射裸光纤10到被测硅基波导13耦合细调,保持出射夹具位移台12不动,此时出射裸光纤11不会对透射光功率产生影响。通过入射夹具位移台9对入射裸光纤10进行细微调节,使透射光功率达到最大,此时为最优的入射裸光纤10位置,可以保证进行OFDR测量时,能够尽可能多地将扫频激光送入被测硅基波导13,也尽可能多地接收被测硅基波导13的背反射信号光。

[0033] 接着进行入射扫频激光的偏振调节,固定入射夹具位移台9和出射夹具位移台12不动,连续调节偏振控制与分束模块3,使入射扫频激光的偏振态发生连续变化,使透射光功率达到一个最大值,此时为最优的入射扫频激光偏振态。因为对于采用光栅耦合方式的硅基波导器件,入射扫频激光的偏振态对耦合效果有着极大影响,需要一个最佳的入射扫频激光偏振态,此时耦合效果最好。

[0034] 然后进行OFDR测量:连接触发干涉仪4和测量干涉仪5至高速采集模块,并移开出射裸光纤11;通过计算机1控制可调谐激光器2发出扫频激光,扫频激光被偏振控制与分束模块3分为三路:第一路光进入触发干涉仪4并发生拍频干涉,产生第一拍频信号,并被高速采集模块7所接收,该信号作为高速采集模块的外部时钟信号,高速采集模块具有外部时钟触发端口,并具有至少2个模拟输入端口;第二路光进入测量干涉仪5作为参考光;第三路光经过光纤环形器6第一、第二端口和入射裸光纤10被送入被测硅基波导13,并产生背散射信号光,再经过光纤环形器6第三端口被送入测量干涉仪5。背散射信号光与参考光在测量干涉仪5中发生拍频干涉,产生第二拍频信号,第二拍频信号被高速采集模块7所接收。其中,光纤环形器6三个端口的光纤均为偏振双轴导通的工作模式;入射裸光纤10为偏振双轴导通的工作模式,光功率计14为实时显示功率数据的工作模式;测量干涉仪5的两个端口的光纤均为偏振双轴导通工作模式。

[0035] 解调:计算机1对第二拍频信号进行解调并得出硅基波导的背反射信号光相对于位置坐标的反射谱;分析该反射谱可得知,光束在被测硅基波导13的内部传输的相关信息。

[0036] 若已知触发干涉仪4延迟光纤的工作长度为L,折射率n为可求出干涉信号每次触发的激光光源频率间隔 Δv 为:

$$[0037] \quad \Delta v = \frac{1}{\tau_t} = \frac{c}{L \cdot n}$$

[0038] 其中 τ_t 代指光在延迟光纤中的延迟时间,c为光速;然后根据激光扫频范围 δf ,得出一次探测的数据点数N:

$$[0039] \quad N = \frac{\delta f}{\Delta v}$$

[0040] 已知激光扫频范围,被测硅基波导13的群折射率 n_g ,可得测量系统的空间分辨率:

$$[0041] \quad \delta L = \frac{c}{2n_g \delta f}$$

[0042] 图4和图5为使用本发明装置和方法两次测试得到的两根硅基波导13背反射信号曲线,横坐标表示单位为m的距离,纵坐标表示单位为dB的反射率。这是两根长度相同、经过同一批工艺制作出的片上硅基波导,电子显微镜下也看不到明显的结构差别,分别命名为硅基波导A和硅基波导B。

[0043] 根据信号曲线可以看出,两根硅基波导长度相同,但在波导内部,对光束的反射特点有所区别。特别是在波导内部的起始处,硅基波导A有一个明显的反射峰,而硅基波导B整体没有很强的反射峰的出现。这说明硅基波导A在反射峰所在的位置,可能由于制作工艺问题,波导内部的材料分布不均匀,或者是由于这个区域侧壁出现了粗糙不平的缺陷。而硅基波导B内部的光束的传播质量要明显会更好。由此可看出使用本发明装置和方法,能够非嵌入、无损地探测硅基波导的内部特征,拥有很好的应用前景。

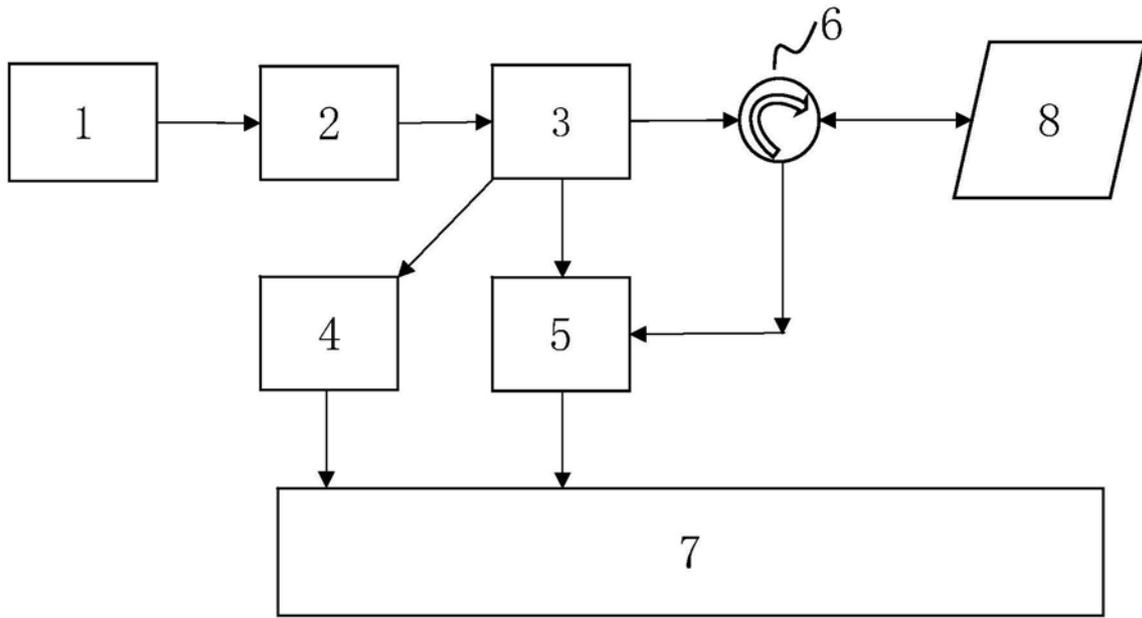


图1

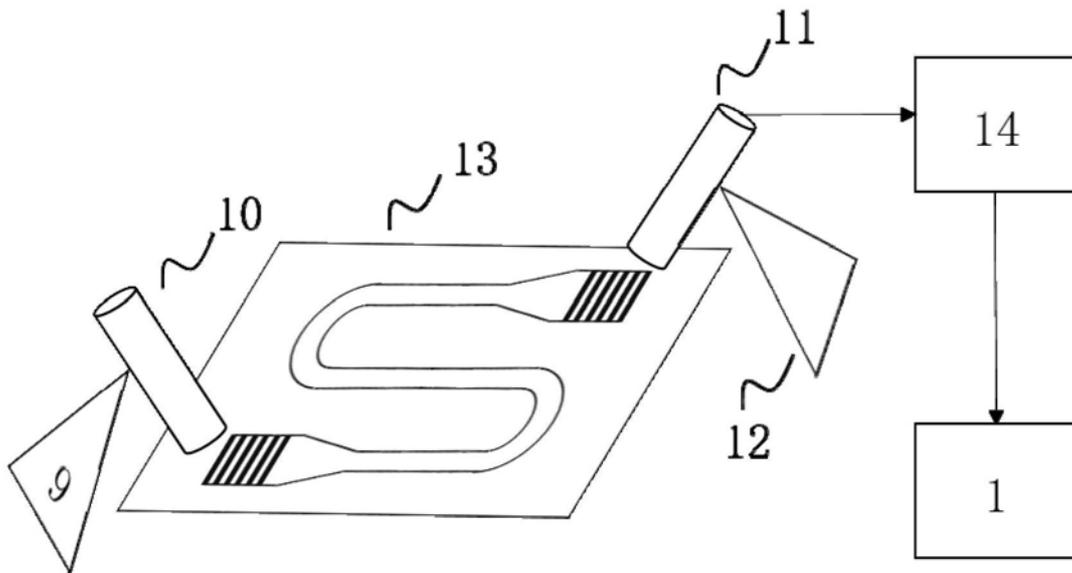


图2

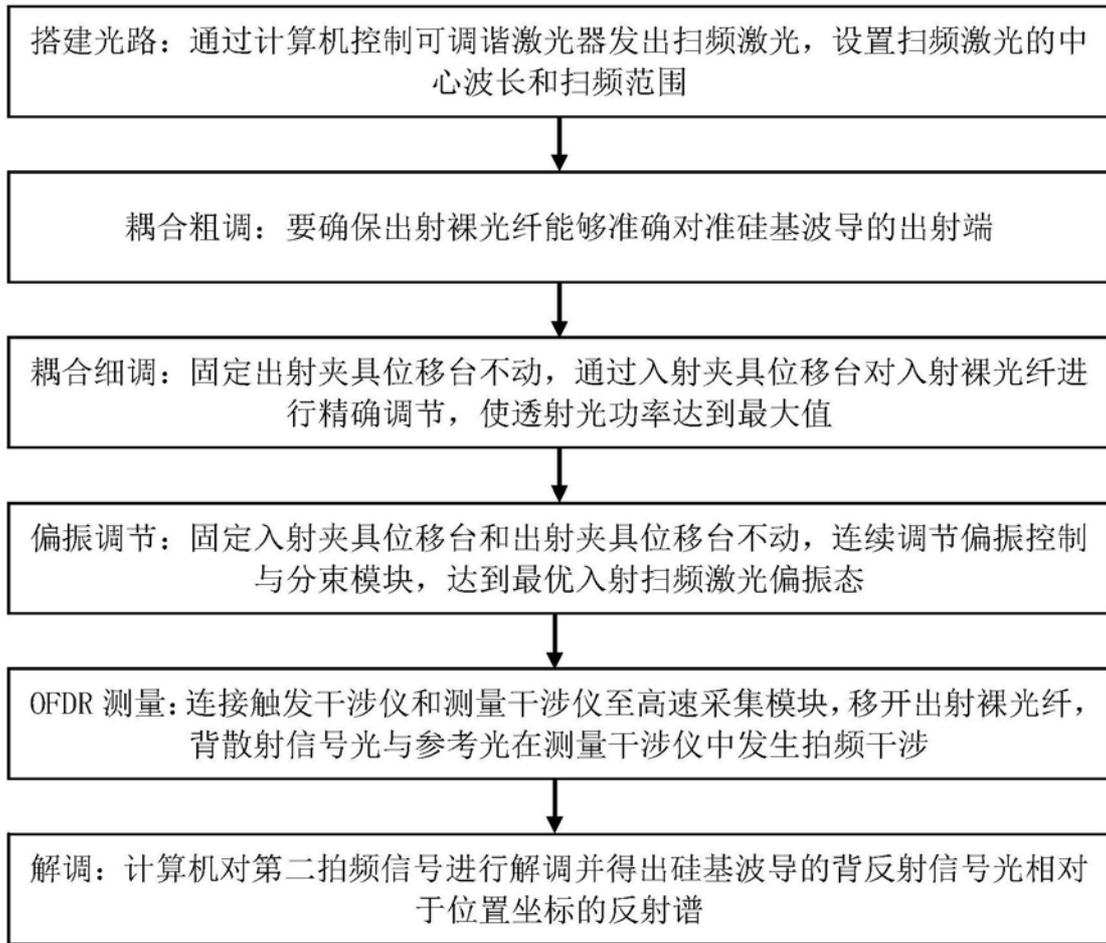


图3

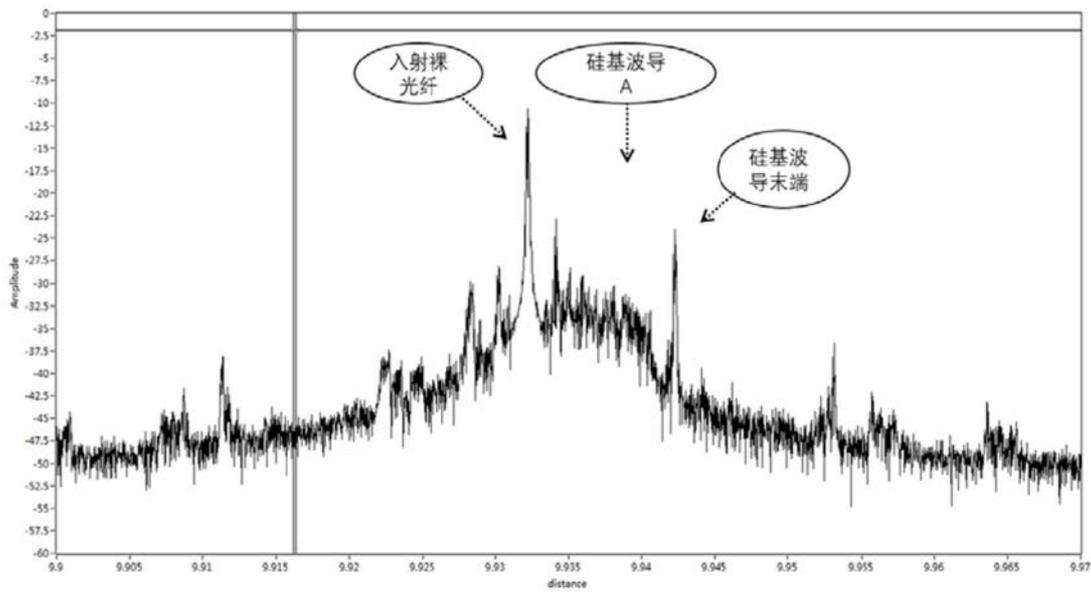


图4

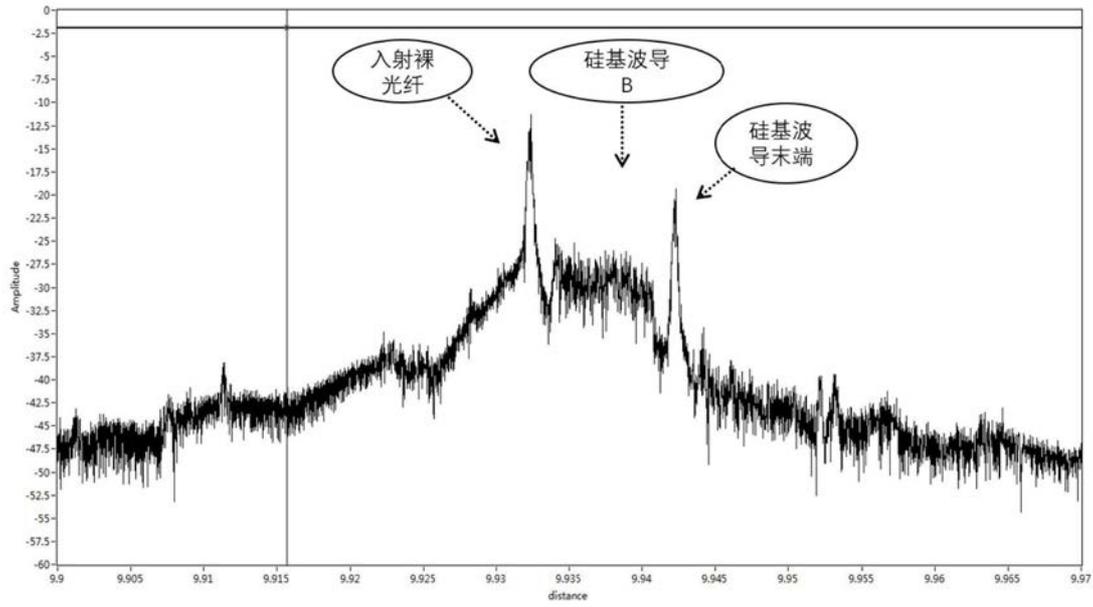


图5