



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110169758 A

(43)申请公布日 2019.08.27

(21)申请号 201910587192.3

(22)申请日 2019.07.02

(71)申请人 东北大学

地址 110819 辽宁省沈阳市和平区文化路
三巷11号

(72)发明人 王毅 彭斌扬 胡瀛心 周红仙
马振鹤

(74)专利代理机构 大连理工大学专利中心
21200

代理人 陈玲玉 梅洪玉

(51)Int.Cl.

A61B 5/00(2006.01)

A61B 1/07(2006.01)

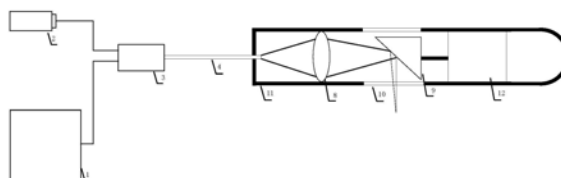
权利要求书3页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种全光的光声内窥成像装置及方法

(57)摘要

本发明提供了一种全光的光声内窥成像装置及方法,属于光声成像技术领域。该光声内窥成像装置包括光学干涉检测系统、激光光源、波分复用器、光纤和内窥镜。本发明使用光学干涉检测系统,并使用 3×3 光纤耦合器来解调由初始光声压力引起的探测光束的反射变化,结合使用高通滤波器消除探测光从不同深度反向散射的影响。本发明克服了目前用于内窥镜光声成像的PAI方法所存在的相关困难,提高了系统灵敏度;本发明解决了基于换能器的PAEM的小空间内集成光学和声学元件的困难及探头的内部和外部空间必须填充声匹配介质的困难;本发明使用全光结构,有利于光声内窥探头的小型化。



1. 一种全光的光声内窥成像装置, 其特征在于, 所述全光的光声内窥成像装置包括光学干涉检测系统(1)、激光光源(2)、波分复用器(3)、光纤(4)和内窥镜;

所述的光学干涉检测系统(1)包括探测光源(13)、光纤隔离器(14)、 1×2 光纤耦合器(15)、光纤环形器A(16)、光纤环形器B(20)、 3×3 光纤耦合器(24)、准直器(25)、透镜B(26)、反射镜(27)、光电探测器A(28)、光电探测器B(29)、光电探测器C(30)、高通滤波器A(31)、高通滤波器B(32)、高通滤波器C(33)、数据采集卡(34)和电脑(35); 所述探测光源(13)、光纤隔离器(14)、 1×2 光纤耦合器(15)依次连接; 所述 1×2 光纤耦合器(15)的输出端分别通过光纤环形器A1端口(17)连接光纤环形器A(16)、通过光纤环形器B1端口(21)连接光纤环形器B(20);

所述光纤环形器A(16)通过光纤环形器A2端口(18)连接准直器(25)、通过光纤环形器A3端口(19)与 3×3 光纤耦合器(24)的输入端连接; 所述的准直器(25)、透镜B(26)和反射镜(27)依次同轴设置; 所述光纤环形器B(20)通过光纤环形器B2端口(22)连接波分复用器(3)、通过光纤环形器B3端口(23)与 3×3 光纤耦合器(24)的输入端连接;

所述 3×3 光纤耦合器(24)的输出端分别连接光电探测器A(28)、光电探测器B(29)、光电探测器C(30); 所述光电探测器A(28)、光电探测器B(29)、光电探测器C(30)分别连接高通滤波器A(31)、高通滤波器B(32)、高通滤波器C(33); 三个高通滤波器与电脑(35)中的数据采集卡(34)连接;

所述激光光源(2)一端连接波分复用器(3), 另一端连接数据采集卡(34); 所述波分复用器(3)的输出端连接光纤(4)一端, 光纤(4)另一端与内窥镜连接; 所述的内窥镜包括透镜A(8)、 45° 镜(9)、内窥镜视窗(10)、不锈钢外壳(11)和电机; 所述内窥镜视窗(10)设置在内窥镜外壳(11)上; 所述的透镜A(8)、 45° 镜(9)依次设置于不锈钢外壳(11)中, 并通过电机带动 45° 镜(9)旋转以实现圆周扫描, 经过 45° 镜(9)的光从内窥镜视窗(10)射出, 聚焦于样品内部。

2. 根据权利要求1所述的一种全光的光声内窥成像装置, 其特征在于, 光经过透镜A(8)射入 45° 镜(9)的斜边并从 45° 镜(9)的斜边射出; 电机B(12)设置于不锈钢外壳(11)中, 并与 45° 镜(9)的一条直角边连接; 电机B(12)带动 45° 镜(9)旋转以实现圆周扫描。

3. 根据权利要求1所述的一种全光的光声内窥成像装置, 其特征在于, 所述内窥镜还包括塑料导管(6)和柔性轴(7), 所述光纤(4)另一端包裹在柔性轴(7)中; 柔性轴(7)包裹在塑料导管(6)中, 柔性轴(7)一端与电机A(5)连接, 另一端与内窥镜探头连接, 内窥镜探头位于不锈钢外壳(11)一端, 内窥镜探头由透镜A(8)和 45° 镜(9)组成, 透镜A(8)放置于 45° 镜(9)直角边一侧, 其中, 光从 45° 镜(9)的直角边射入、从 45° 镜(9)的斜边射出; 电机A(5)带动柔性轴(7)旋转, 从而带动透镜A(8)和 45° 镜(9)共同旋转以实现圆周扫描。

4. 根据权利要求1、2或3所述的一种全光的光声内窥成像装置, 其特征在于, 所述的 3×3 光纤耦合器(24)的分光比为 $K_1:K_2:K_3$ 。

5. 基于权利要求1-4任一所述装置的全光的光声内窥成像方法, 其特征在于, 所述全光的光声内窥成像方法包括以下步骤:

步骤1光声激发过程

激光光源(2)发射激光, 经波分复用器(3)与光学干涉检测系统(1)发出的探测光耦合后进入光纤(4); 耦合后的光沿光纤(4)进入内窥镜, 通过透镜A(8)后射入 45° 镜(9), 45° 镜

(9) 改变光的方向;内窥镜在电机的带动下实现圆周扫描后沿内窥镜视窗(10)射出并聚焦于样品内部;样品吸收能量产生光声压,光声压导致激发点的光学折射率变化,进而导致激发点的光学反射率变大,使探测光反射光强增大;

步骤2信号采集过程

步骤1中激光光源(2)发出激光的同时,激光光源(2)发出触发信号,数据采集卡(34)进行光声信号的同步采集;

步骤3光声检测过程

探测光源(13)发出的探测光依次经光纤隔离器(14)、1×2光纤耦合器(15)后分成参考光和样品光;所述的参考光经光纤环形器A1端口(17)进入光纤环形器A(16),并从光纤环形器A2端口(18)输出,依次通过准直器(25)、透镜B(26)和反射镜(27)后原路返回,并经光纤环形器A3端口(19)进入3×3光纤耦合器(24);所述的样品光经光纤环形器B1端口(21)进入光纤环形器B(20),从光纤环形器B2端口(22)输出,经波分复用器(3)与激发光合为一束光,再经内窥镜聚焦于样品内部;背向散射光原路返回并通过光纤环形器B3端口(23)进入3×3光纤耦合器(24);

两路光分别进入3×3光纤耦合器(24)后输出三路信号,三路信号分别进入光电探测器A(28)、光电探测器B(29)和光电探测器C(30)发生干涉并转换成电信号;再分别经高通滤波器A(31)、高通滤波器B(32)、高通滤波器C(33)滤除干扰后被数据采集卡(34)采集,再由3×3光纤耦合器(24)解调出光声压导致的反射光强变化。

6. 根据权利要求5所述的全光的光声内窥成像方法,其特征在于,所述步骤3中,3×3光纤耦合器(24)进行三相位解调的过程为:

样本不同深度的背向散射光导致的干扰表示为:

$$I(t) = I_R + \sum_{i=1}^n I_{s,i} + \Delta I_s(t) + 2\sqrt{\Delta I_s(t)I_R} \cos(\varphi_0(t) + \varphi_{0,a}(t)) + 2\sum_{i=1}^n \sqrt{I_{s,i}I_R} \cos(\varphi_{1,i}(t) + \varphi_{1,a}(t)) + 2\sum_{i=1}^n \sqrt{I_{s,i}\Delta I_s(t)} \cos(\varphi_{2,i}(t) + \varphi_{2,a}(t)) \quad (1)$$

其中, I_R 为来自参考臂的光强度; $I_{s,i}$ 为来自样品第*i*深度的光强度; $\Delta I_s(t)$ 为在光声激发位置产生的探测光强度变化; $\varphi_0(t)$ 为 I_R 和 $\Delta I_s(t)$ 之间的时变相位差; $\varphi_{1,i}(t)$ 为 I_R 和 $I_{s,i}$ 之间的时变相位差; $\varphi_{2,i}(t)$ 为 $\Delta I_s(t)$ 和 $I_{s,i}$ 之间的时变相位差; $\varphi_{0,a}(t)$ 、 $\varphi_{1,a}(t)$ 和 $\varphi_{2,a}(t)$ 均表示随机环境干扰;除 $\Delta I_s(t)$ 外的其他项均通过高通滤波器滤除,且与 $I_{s,i}$ 的相关项忽略不计,则测得的信号为:

$$I(t) = \Delta I_s(t) + 2\sqrt{\Delta I_s(t)I_R} \cos(\varphi_0(t) + \varphi_{0,a}(t)) \quad (2)$$

通过3×3光纤耦合器(24)解调反射强度变化 $\Delta I_s(t)$ 后,数据采集卡(34)采集的三路干涉信号表示为:

$$\begin{aligned} I_1(t) &= K_1[\Delta I_s(t) + 2\sqrt{\Delta I_s(t)I_R} \cos(\varphi(t))] \\ I_2(t) &= K_2[\Delta I_s(t) + 2\sqrt{\Delta I_s(t)I_R} \cos(\varphi(t) + \Delta\varphi_1)] \\ I_3(t) &= K_3[\Delta I_s(t) + 2\sqrt{\Delta I_s(t)I_R} \cos(\varphi(t) + \Delta\varphi_2)] \end{aligned} \quad (3)$$

其中, $\varphi(t)$ 是式 (1) 中所示的 $\varphi_0(t) + \varphi_{0,a}(t)$ 之和; $\Delta\varphi_1$ 和 $\Delta\varphi_2$ 表示三路输出信号之间的相位差; 光纤耦合器的分光比为 $K_1:K_2:K_3$;

由式 (3) 的三路干涉信号得到 $\Delta I_s(t)$:

$$\Delta I_s(t) = \frac{I_3(t) + (N * G * B - H * C) I_1(t) - N I_2(t)}{K_3 + K_1 (N * G * B - H * C) - K_2 N} \quad (4)$$

其中, $G = K_2/K_1$; $H = K_3/K_1$; $B = \cos \Delta\varphi_1$; $C = \cos \Delta\varphi_2$; $N = H * \sin \Delta\varphi_2 / G * \sin \Delta\varphi_1$ 。

一种全光的光声内窥成像装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于光声成像技术领域,具体涉及一种全光的光声内窥成像装置及方法。

背景技术

[0002] 光声显微成像(PAM)结合了纯光学成像和纯声学检测的优点,能够对高分辨率和高对比度的生物医学组织进行成像。近十年来,PAM已发展成为组织结构和功能成像的重要工具。由于光在组织中的强烈散射,PAM仅限于表面成像,穿透深度约为1mm。因此,需要内窥镜模式来扩展临床应用。

[0003] 近年来,光声内窥显微镜(PAEM)已引起广泛关注,并且已提出各种PAEM系统。对于内部器官的成像,成像探头必须很小。然而,大多数PAEM使用超声换能器来测量超声波,导致在小空间中集成光学和声学元件的技术困难。此外,为了减少边界处的声阻抗差异导致的超声波的反射损失,PAEM探头的内部和外部空间必须填充声学匹配介质。因此,需要光学检测超声来解决上述基于换能器的PAEM有关的困难。

[0004] 在过去几年中,已经报道了几种用于光声成像(PAI)的光学检测方法。它们中的大多数基于干涉测量技术,例如使用零差干涉仪、外差干涉仪、双波混频干涉仪或共焦法布里-珀罗干涉仪。这些PAI测量由光声压力引起的样品表面的位移或振动。探测光需要聚焦在样品表面,探测光和激发光分别调节。这种检测方案不适用于PAEM。

[0005] Hajireza等人在In vivo optical resolution photoacoustic microscopy using glancing angle-deposited nanostructured Fabry-Perot etalons中提出一种检测原位初始光声压力的非干涉式PAM,原位声压导致局部折射率上升,因此导致探测光的反射变化。该方法依赖于准弹道光子的检测并使用开放空间配置,这极大地增加了进入光电探测器的光强度并提供了高灵敏度。然而,对于内窥成像,需要使用光纤传输探测光,由于光纤的纤芯尺寸小,非干涉式PAM的灵敏度大大降低。因此,对于内窥镜成像,需要基于光纤的干涉仪来检测局部初始光声压力。目前干涉方法都是测量样本表面处的位移或振动,这些方法不能用于检测产生脉冲超声的样品内部的反射变化。从组织中不同深度背向散射的光对干涉仪的灵敏度和稳定性产生随机影响。通过使用时域低相干干涉测量法(TDLCI)可以消除这种影响,然而,TDLCI的灵敏度随着参考光束和探测光束之间的光程差(OPD)的增加而减小,并且当OPD大于激光源的相干长度时它变为零,而在内窥镜成像期间难以将OPD调整为小于相干长度。

发明内容

[0006] 为解决现有技术的不足,本发明提出了一种全光的光声内窥成像装置及方法,该方法使用光纤式迈克尔逊干涉仪,并使用 3×3 光纤耦合器来解调由初始光声压力引起的探测光束的反射变化,结合使用高通滤波器消除探测光从不同深度反向散射的影响。本发明克服了目前用于内窥镜光声成像的PAI方法所存在的相关困难,提高了系统灵敏度。本发明全光的光声内窥成像装置解决了基于换能器的PAEM的小空间内集成光学和声学元件的困

难、以及探头的内部和外部空间必须填充声匹配介质的困难。

[0007] 本发明采用如下技术方案：

[0008] 一种全光的光声内窥成像装置，包括光学干涉检测系统1、激光光源2、波分复用器3、光纤4和内窥镜。

[0009] 所述的光学干涉检测系统1包括探测光源13、光纤隔离器14、 1×2 光纤耦合器15、光纤环形器A16、光纤环形器B20、 3×3 光纤耦合器24、准直器25、透镜B26、反射镜27、光电探测器A28、光电探测器B29、光电探测器C30、高通滤波器A31、高通滤波器B32、高通滤波器C33、数据采集卡34和电脑35。所述探测光源13、光纤隔离器14、 1×2 光纤耦合器15依次连接；所述 1×2 光纤耦合器15的输出端分别通过光纤环形器A1端口17连接光纤环形器A16、通过光纤环形器B1端口21连接光纤环形器B20。

[0010] 所述光纤环形器A16通过光纤环形器A2端口18连接准直器25、通过光纤环形器A3端口19与 3×3 光纤耦合器24的输入端连接；所述的准直器25、透镜B26和反射镜27依次同轴设置；所述光纤环形器B20通过光纤环形器B2端口22连接波分复用器3、通过光纤环形器B3端口23与 3×3 光纤耦合器24的输入端连接。

[0011] 所述 3×3 光纤耦合器24的输出端分别连接光电探测器A28、光电探测器B29、光电探测器C30；所述光电探测器A28、光电探测器B29、光电探测器C30分别连接高通滤波器A31、高通滤波器B32、高通滤波器C33；三个高通滤波器与电脑35中的数据采集卡34连接。

[0012] 所述激光光源2一端连接波分复用器3，另一端连接数据采集卡34；所述波分复用器3的输出端连接光纤4一端，光纤4另一端与内窥镜连接；所述的内窥镜包括透镜A8、 45° 镜9、内窥镜视窗10、不锈钢外壳11和电机；所述内窥镜视窗10设置在内窥镜外壳11上；所述的透镜A8、 45° 镜9依次设置于不锈钢外壳11中，并通过电机带动 45° 镜9旋转以实现圆周扫描，经过 45° 镜9的光从内窥镜视窗10射出，聚焦于样品内部。

[0013] 进一步地，光经过透镜A8射入 45° 镜9的斜边并从 45° 镜9的斜边射出；电机B12设置于不锈钢外壳11中，并与 45° 镜9的一条直角边连接；电机B12带动 45° 镜9旋转以实现圆周扫描。

[0014] 进一步地，内窥镜还包括塑料导管6和柔性轴7，所述光纤4另一端包裹在柔性轴7中；柔性轴7包裹在塑料导管6中，柔性轴7一端与电机A5连接，另一端与内窥镜探头连接，内窥镜探头位于不锈钢外壳11一端，内窥镜探头中依次透镜A8和 45° 镜9，其中，光从 45° 镜9的直角边射入、从 45° 镜9的斜边射出；电机A5带动柔性轴7旋转，从而带动透镜A8和 45° 镜9共同旋转以实现圆周扫描。

[0015] 一种全光的光声内窥成像方法，包括以下步骤：

[0016] 步骤1光声激发过程

[0017] 激光光源2发射激光（激发光），经波分复用器3与光学干涉检测系统1发出的探测光耦合后进入光纤4，耦合后的光沿光纤4进入内窥镜，通过透镜A8后射入 45° 镜9， 45° 镜9改变光的方向；内窥镜在电机的带动下实现圆周扫描后沿内窥镜视窗10射出并聚焦于样品内部；样品吸收能量产生光声压，光声压导致激发点的光学折射率变化，进而导致激发点的光学反射率变大，使探测光反射光强增大。

[0018] 步骤2信号采集过程

[0019] 激光光源2发出激发光的同时，激光光源2发出触发信号，数据采集卡34进行光声

信号的同步采集。

[0020] 步骤3光声检测过程

[0021] 探测光源13发出的探测光依次经光纤隔离器14、1×2光纤耦合器15后分成参考光和样品光。所述的参考光经光纤环形器A1端口17进入光纤环形器A16,并从光纤环形器A2端口18输出,依次通过准直器25、透镜B26和反射镜27后原路返回,并经光纤环形器A3端口19进入3×3光纤耦合器24。所述的样品光经光纤环形器B1端口21进入光纤环形器B20,从光纤环形器B2端口22输出,再经波分复用器3与激发光合为一束光,再经内窥镜聚焦于样品内部;背向散射光原路返回并通过光纤环形器B3端口23进入3×3光纤耦合器24。

[0022] 两路光分别进入3×3光纤耦合器24后输出三路信号,三路信号分别进入光电探测器A28、光电探测器B29和光电探测器C30发生干涉并转换成电信号;再分别经高通滤波器A31、高通滤波器B32、高通滤波器C33滤除干扰后被采数据集卡34采集,再由3×3光纤耦合器24调出光声压导致的反射光强变化。

[0023] 进一步地,步骤3中,3×3光纤耦合器24进行三相位解调的过程为:

[0024] 样本不同深度的背向散射光导致的干涉表示为:

[0025]

$$I(t) = I_R + \sum_{i=1}^n I_{s,i} + \Delta I_s(t) + 2\sqrt{\Delta I_s(t)I_R} \cos(\varphi_0(t) + \varphi_{0,a}(t)) + 2\sum_{i=1}^n \sqrt{I_{s,i}I_R} \cos(\varphi_{1,i}(t) + \varphi_{1,a}(t)) + 2\sum_{i=1}^n \sqrt{I_{s,i}\Delta I_s(t)} \cos(\varphi_{2,i}(t) + \varphi_{2,a}(t)) \quad (1)$$

[0026] 其中 I_R 表示来自参考臂的光强度; $I_{s,i}$ 表示来自样品第*i*深度的光强度; $\Delta I_s(t)$ 是在光声激发位置产生的探测光强度变化; $\varphi_0(t)$ 为 I_R 和 $\Delta I_s(t)$ 之间的时变相位差; $\varphi_{1,i}(t)$ 为 I_R 和 $I_{s,i}$ 之间的时变相位差; $\varphi_{2,i}(t)$ 为和之间以及 $\Delta I_s(t)$ 和 $I_{s,i}$ 之间的时变相位差; $\varphi_{0,a}(t)$ 、 $\varphi_{1,a}(t)$ 和 $\varphi_{2,a}(t)$ 表示随机环境干扰。与 $\Delta I_s(t)$ 的脉冲变化相比,等式(1)中的其他项均为缓慢变化,通过高通滤波器滤除,并且 $I_{s,i}$ 远小于 $\Delta I_s(t)$,因此,与 $I_{s,i}$ 相关项忽略不计,则测得的信号近似为:

$$[0027] \quad I(t) = \Delta I_s(t) + 2\sqrt{\Delta I_s(t)I_R} \cos(\varphi_0(t) + \varphi_{0,a}(t)) \quad (2)$$

[0028] 等式(2)表明测量信号由 $(\varphi_0(t) + \varphi_{0,a}(t))$ 调制;本发明使用基于3×3光纤耦合器的方法来解调反射强度变化 $\Delta I_s(t)$ 。使用三相位解调的方法可以解调出稳定的光声信号,不受外界干扰,提高系统稳定性。数据采集卡34采集的三路干涉信号表示为:

$$I_1(t) = K_1[\Delta I_s(t) + 2\sqrt{\Delta I_s(t)I_R} \cos(\varphi(t))]$$

$$[0029] \quad I_2(t) = K_2[\Delta I_s(t) + 2\sqrt{\Delta I_s(t)I_R} \cos(\varphi(t) + \Delta\varphi_1)] \quad (3)$$

$$I_3(t) = K_3[\Delta I_s(t) + 2\sqrt{\Delta I_s(t)I_R} \cos(\varphi(t) + \Delta\varphi_2)]$$

[0030] 其中, $\varphi(t)$ 是等式(1)中所示的 $\varphi_0(t) + \varphi_{0,a}(t)$ 之和; $\Delta\varphi_1$ 和 $\Delta\varphi_2$ 表示三路输出信号之间的相位差;光纤耦合器的分光比为 $K_1:K_2:K_3$;

[0031] 由等式(3)的三路干涉信号得到:

$$[0032] \quad \Delta I_s(t) = \frac{I_3(t) + (N \cdot G \cdot B - H \cdot C) I_1(t) - N I_2(t)}{K_3 + K_1 (N \cdot G \cdot B - H \cdot C) - K_2 N} \quad (4)$$

[0033] 其中 $G = K_2/K_1$; $H = K_3/K_1$; $B = \cos \Delta \varphi_1$; $C = \cos \Delta \varphi_2$; $N = H \cdot \sin \Delta \varphi_2 / G \cdot \sin \Delta \varphi_1$ 。

[0034] 本发明的有益效果：(1) 该发明解决了基于换能器的PAEM的小空间内集成光学和声学元件的困难，及PAEM探头的内部和外部空间必须填充声匹配介质的困难；(2) 该发明探测原位声压，利用高通滤波器及3×3光纤耦合器解调光声信号，探测过程不受外界干扰，可以保持稳定的高灵敏度；(3) 本发明使用全光结构，有利于光声内窥探头的小型化。

附图说明

[0035] 图1为本发明装置的一种实施方式示意图；

[0036] 图2为本发明装置的另一种实施方式示意图；

[0037] 图3为本发明中光学干涉检测系统的结构示意图；

[0038] 图中：1光学干涉检测系统；2激光光源；3波分复用器；4光纤；5电机A；6塑料导管；7柔性轴；8透镜A；945°镜；10内窥镜视窗；11不锈钢外壳；12电机B；13探测光源；14光纤隔离器；151×2光纤耦合器；16光纤环形器A；17光纤环形器A1端口；18光纤环形器A2端口；19光纤环形器A3端口；20光纤环形器B；21光纤环形器B1端口；22光纤环形器B2端口；23光纤环形器B3端口；243×3光纤耦合器；25准直器；26透镜B；27反射镜；28光电探测器A；29光电探测器B；30光电探测器C；31高通滤波器A；32高通滤波器B；33高通滤波器C；34数据采集卡；35电脑。

具体实施方式

[0039] 以下结合技术方案和附图详细叙述本发明的具体实施方式。

[0040] 本发明一种全光的光声内窥成像装置，包括光学干涉检测系统1、激光光源2、波分复用器3、光纤4和内窥镜。

[0041] 如图3所示，光学干涉检测系统1包括探测光源13、光纤隔离器14、1×2光纤耦合器15、光纤环形器A16、光纤环形器B20、3×3光纤耦合器24、准直器25、透镜B26、反射镜27、光电探测器A28、光电探测器B29、光电探测器C30、高通滤波器A31、高通滤波器B32、高通滤波器C33、数据采集卡34和电脑35。本实施例中的3×3光纤耦合器24的分光比为1:1:1。所述探测光源13、光纤隔离器14、1×2光纤耦合器15依次连接；所述1×2光纤耦合器15的输出端分别通过光纤环形器A1端口17连接光纤环形器A16、通过光纤环形器B1端口21连接光纤环形器B20。

[0042] 所述光纤环形器A16通过光纤环形器A2端口18连接准直器25、通过光纤环形器A3端口19与3×3光纤耦合器24的输入端连接；所述的准直器25、透镜B26和反射镜27依次同轴设置；所述光纤环形器B20通过光纤环形器B2端口22连接波分复用器3、通过光纤环形器B3端口23与3×3光纤耦合器24的输入端连接。

[0043] 所述3×3光纤耦合器24的输出端分别连接光电探测器A28、光电探测器B29、光电探测器C30；所述光电探测器A28、光电探测器B29、光电探测器C30分别连接高通滤波器A31、高通滤波器B32、高通滤波器C33；三个高通滤波器与电脑35中的数据采集卡34连接。

[0044] 所述激光光源2一端连接波分复用器3，另一端连接数据采集卡34；所述波分复用

器3的输出端连接光纤4一端,光纤4另一端与内窥镜连接。

[0045] 如图1所示,所述内窥镜中依次设置透镜A8和45°镜9,光经过透镜A8射入45°镜9的斜边、从45°镜9的斜边射出,并从位于内窥镜外壳11上的内窥镜视窗10射出聚焦于样品内部。电机B12设置于不锈钢外壳11中,并与45°镜9的一条直角边连接;电机B12带动45°镜9旋转以实现圆周扫描。

[0046] 所述内窥镜的另一种结构布置方式如图2所示,内窥镜包括电机A5、塑料导管6、柔性轴7、透镜A8、45°镜9、内窥镜视窗10和不锈钢外壳11。所述光纤4另一端包裹在柔性轴7中;柔性轴7包裹在塑料导管6中,柔性轴7一端与电机A5连接,另一端与内窥镜探头连接,内窥镜探头位于不锈钢外壳11一端,内窥镜探头中依次透镜A8和45°镜9,其中,光从45°镜9的直角边射入、从45°镜9的斜边射出,并从位于内窥镜外壳11上的内窥镜视窗10射出聚焦于样品内部。电机A5带动柔性轴7旋转,从而带动透镜A8和45°镜9共同旋转以实现圆周扫描。

[0047] 本发明的测量过程包括以下步骤:

[0048] 步骤1光声激发过程

[0049] 激光光源2发射激光,经波分复用器3与光学干涉检测系统1发出的探测光耦合后进入光纤4;耦合后的光沿光纤4进入内窥镜,通过透镜A8后射入45°镜9,45°镜9改变光的方向;内窥镜在电机的带动下实现圆周扫描后沿内窥镜视窗10射出并聚焦于样品内部;样品吸收能量产生光声压,光声压导致激发点的光学折射率变化,进而导致激发点的光学反射率变大,使探测光反射光强增大。

[0050] 步骤2信号采集过程

[0051] 步骤1中激光光源2发出激发光的同时,激光光源2发出触发信号,数据采集卡34进行光声信号的同步采集。

[0052] 步骤3光声检测过程

[0053] 探测光源13发出的探测光依次经光纤隔离器14、1×2光纤耦合器15后分成参考光和样品光;所述的参考光经光纤环形器A1端口17进入光纤环形器A16,并从光纤环形器A2端口18输出,依次通过准直器25、透镜B26和反射镜27后原路返回,并经光纤环形器A3端口19进入3×3光纤耦合器24;所述的样品光经光纤环形器B1端口21进入光纤环形器B20,从光纤环形器B2端口22输出,经波分复用器3与激发光合为一束光,再经内窥镜聚焦于样品内部;背向散射光原路返回并通过光纤环形器B3端口23进入3×3光纤耦合器24。

[0054] 两路光分别进入3×3光纤耦合器24后输出三路信号,三路信号分别进入光电探测器A28、光电探测器B29和光电探测器C30发生干涉并转换成电信号;再分别经高通滤波器A31、高通滤波器B32、高通滤波器C33滤除干扰后被采集数据卡34采集,再由电脑35解调出光声压导致的反射光强变化。

[0055] 其中,3×3光纤耦合器三相位解调的过程如下:

[0056] 样本不同深度的背向散射光导致的干涉表示为:

[0057]

$$I(t) = I_R + \sum_{i=1}^n I_{s,i} + \Delta I_s(t) + 2\sqrt{\Delta I_s(t)} I_R \cos(\varphi_0(t) + \varphi_{0,a}(t)) + 2 \sum_{i=1}^n \sqrt{I_{s,i} I_R} \cos(\varphi_{1,i}(t) + \varphi_{1,a}(t)) + 2 \sum_{i=1}^n \sqrt{I_{s,i} \Delta I_s(t)} \cos(\varphi_{2,i}(t) + \varphi_{2,a}(t)) \quad (1)$$

[0058] 其中 I_R 表示来自参考臂的光强度; $I_{s,i}$ 表示来自样品第*i*深度的光强度; $\Delta I_s(t)$ 是

在光声激发位置产生的探测光强度变化； $\varphi_0(t)$ 为 I_R 和 $\Delta I_s(t)$ 之间的时变相位差； $\varphi_{1,i}(t)$ 为 I_R 和 $I_{s,i}$ 之间的时变相位差； $\varphi_{2,i}(t)$ 为 $\Delta I_s(t)$ 和 $I_{s,i}$ 之间的时变相位差； $\varphi_{0,a}(t)$ 、 $\varphi_{1,a}(t)$ 和 $\varphi_{2,a}(t)$ 表示随机环境干扰。与 $\Delta I_s(t)$ 的脉冲变化相比，等式(1)中的其他项均为缓慢变化，通过高通滤波器滤除，并且 $I_{s,i}$ 远小于 $\Delta I_s(t)$ ，因此，与 $I_{s,i}$ 相关项忽略不计，则测得的信号近似为：

$$[0059] \quad I(t) = \Delta I_s(t) + 2\sqrt{\Delta I_s(t)I_R} \cos(\varphi_0(t) + \varphi_{0,a}(t)) \quad (2)$$

[0060] 等式(2)表明测量信号由 $(\varphi_0(t) + \varphi_{0,a}(t))$ 调制；本发明使用基于 3×3 光纤耦合器的方法来解调反射强度变化 $\Delta I_s(t)$ 。使用三相位解调的方法可以解调出稳定的光声信号，不受外界干扰，提高系统稳定性。数据采集卡34采集的三路干涉信号表示为：

$$[0061] \quad \begin{aligned} I_1(t) &= \Delta I_s(t) + 2\sqrt{\Delta I_s(t)I_R} \cos(\varphi(t)) \\ I_2(t) &= \Delta I_s(t) + 2\sqrt{\Delta I_s(t)I_R} \cos(\varphi(t) + \Delta\varphi_1) \quad (3) \\ I_3(t) &= \Delta I_s(t) + 2\sqrt{\Delta I_s(t)I_R} \cos(\varphi(t) + \Delta\varphi_2) \end{aligned}$$

[0062] 其中， $\varphi(t)$ 是等式(1)中所示的 $\varphi_0(t) + \varphi_{0,a}(t)$ 之和； $\Delta\varphi_1$ 和 $\Delta\varphi_2$ 表示三路输出信号之间的相位差，对于本实施例分光比为 $K_1:K_2:K_3=1:1:1$ 的 3×3 光纤耦合器， $\Delta\varphi_1$ 和 $\Delta\varphi_2$ 分别为 120° 和 240° 。

[0063] 由等式(3)的三路干涉信号得到：

$$[0064] \quad \begin{aligned} \frac{2I_1(t) - (I_2(t) + I_3(t))}{3} &= 2\sqrt{\Delta I_s(t)I_R} \cos(\varphi(t)) \\ \frac{I_3(t) - I_2(t)}{2\sin(\Delta\varphi_1)} &= 2\sqrt{\Delta I_s(t)I_R} \sin(\varphi(t)) \end{aligned} \quad (4)$$

[0065] 由等式(4)获得 $\Delta I_s(t)$ ：

$$[0066] \quad \Delta I_s(t) = \frac{(2I_1(t) - I_2(t) - I_3(t))^2}{36 \times I_R} + \frac{(I_3(t) - I_2(t))^2}{16 \times I_R \times (\sin(\Delta\varphi_1))^2} \quad (5)。$$

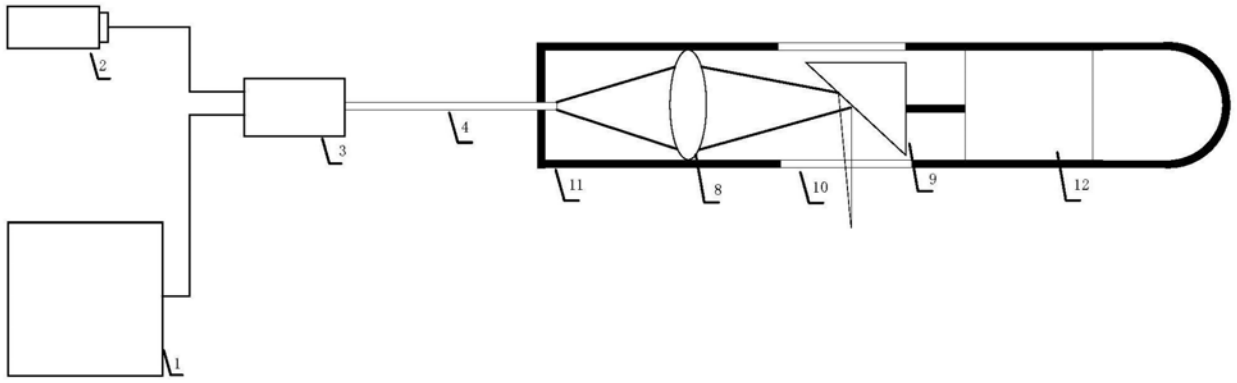


图1

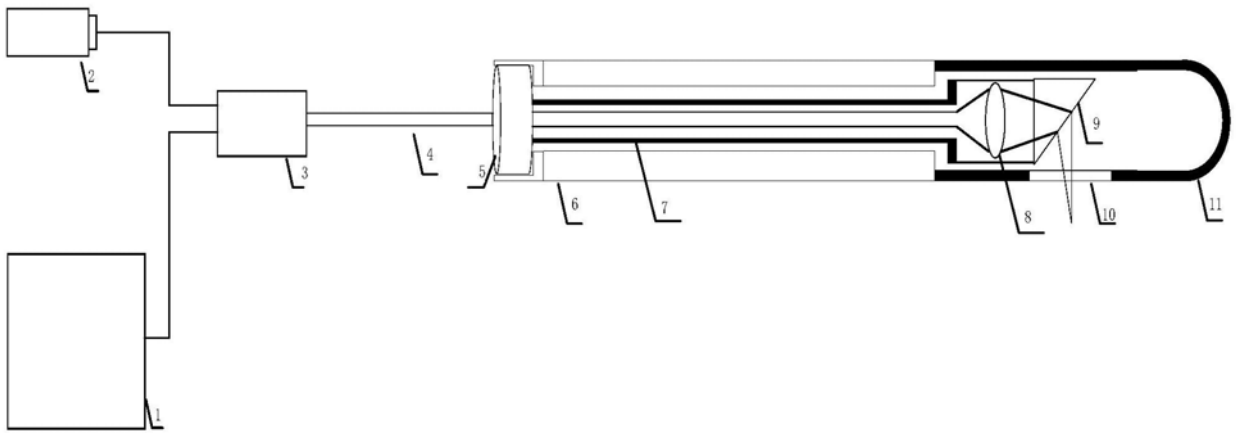


图2

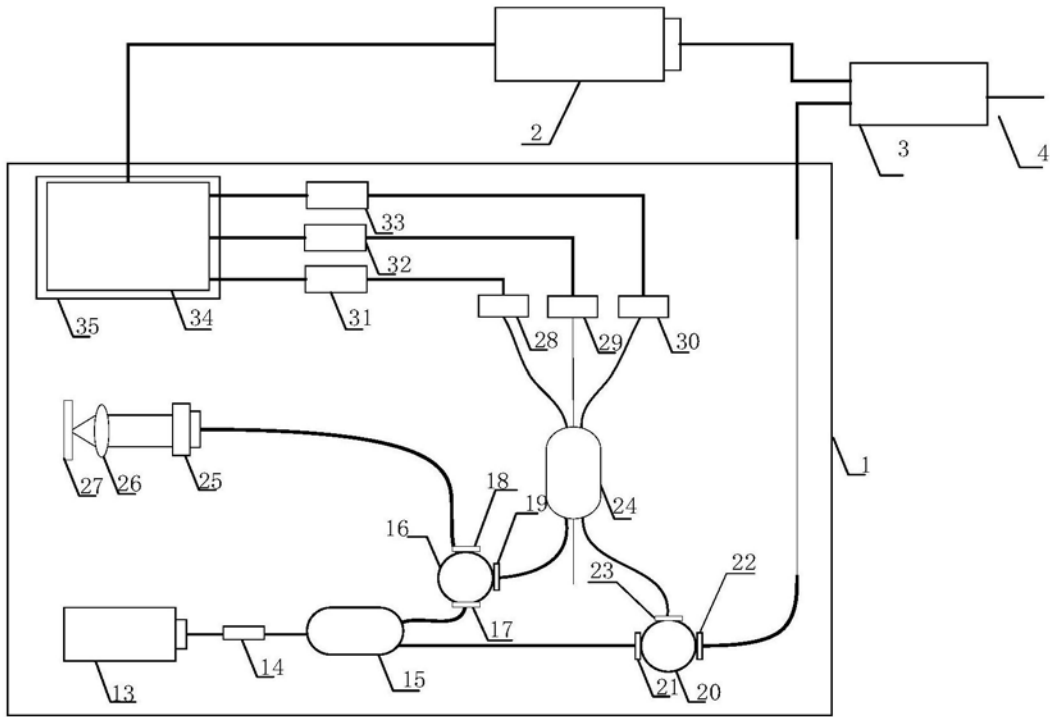


图3

专利名称(译)	一种全光的光声内窥成像装置及方法		
公开(公告)号	CN110169758A	公开(公告)日	2019-08-27
申请号	CN201910587192.3	申请日	2019-07-02
[标]申请(专利权)人(译)	东北大学		
申请(专利权)人(译)	东北大学		
当前申请(专利权)人(译)	东北大学		
[标]发明人	王毅 周红仙 马振鹤		
发明人	王毅 彭斌扬 胡瀛心 周红仙 马振鹤		
IPC分类号	A61B5/00 A61B1/07		
CPC分类号	A61B1/07 A61B5/0095 A61B5/725		
代理人(译)	陈玲玉		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明提供了一种全光的光声内窥成像装置及方法，属于光声成像技术领域。该光声内窥成像装置包括光学干涉检测系统、激光光源、波分复用器、光纤和内窥镜。本发明使用光学干涉检测系统，并使用3×3光纤耦合器来解调由初始光声压力引起的探测光束的反射变化，结合使用高通滤波器消除探测光从不同深度反向散射的影响。本发明克服了目前用于内窥镜光声成像的PAI方法所存在的相关困难，提高了系统灵敏度；本发明解决了基于换能器的PAEM的小空间内集成光学和声学元件的困难及探头的内部和外部空间必须填充声匹配介质的困难；本发明使用全光结构，有利于光声内窥探头的小型化。

