



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106236145 A

(43)申请公布日 2016. 12. 21

(21)申请号 201610807818.3

(22)申请日 2016.09.07

(71)申请人 北京大学

地址 100871 北京市海淀区颐和园路5号

(72)发明人 李长辉 朱晓昶 李文昭 黄智宇

王国鹤 任秋实

(74)专利代理机构 北京万象新悦知识产权代理

事务所(普通合伙) 11360

代理人 王岩

(51) Int. Cl.

A61B 8/00(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

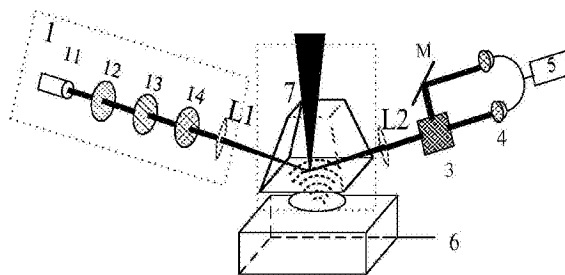
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种基于全反射的超声探测和光声成像装置及其方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于全反射的超声探测和光声成像装置及其方法。本发明在棱镜上直接粘附匹配液体层,在全反射角附近微调刚好不发生全反射,此时的反射光中P偏振光和S偏振光对水的折射率的变化最敏感,二者的信号区别也最大;本发明通过全内反射装置下,接近全反射角时,探测光对介质折射率极为敏感的效应,利用光探测方法的高带宽的优点,能够探测传统超声换能器所不能探测的宽频超声信号;本发明基于全反射的原理,在反射点处探测超声波信号,工艺简单、操作方便,易小型化集成阵列实现大面积的超声波探测。



1. 一种基于全反射的超声探测装置,其特征在于,所述超声探测装置包括:探测光装置、超声探头、偏振分束器、平衡探测器、示波器或采集卡;其中,所述超声探头包括棱镜和匹配液体层,匹配液体层采用粘附在棱镜下底表面的水滴或水槽;探测光装置发出圆偏振光,经第一透镜聚焦后作为探测光,从超声探头的棱镜的侧面入射至棱镜内,聚焦在棱镜的下底面,并在焦点处发生全内反射,在焦点处形成探测窗口;通过微调减小入射角到刚好不发生全反射;以这个接近全反射角的角度作为入射角,当棱镜下底表面的匹配液体层里有超声波时,引起匹配液体内水的折射率改变,调制反射光中的P偏振光和S偏振光的能量发生不同响应的非线性变化,在入射角接近全反射角的范围内,P偏振光和S偏振光对水的折射率的变化最敏感,二者的信号区别也最大;反射光经第二透镜聚焦后,通过偏振分束器将反射光中的s偏振光和p偏振光分开成两束,分别由高带宽的平衡探测器的两个探头接收;s偏振光和p偏振光的强度差转变成电压信号后被示波器或采集卡接收记录,在示波器上观察到的电压曲线为对应s偏振光和p偏振光的强度差随时间的变化曲线,或者由采集卡进行数据采集。

2. 如权利要求1所述的超声探测装置,其特征在于,所述探测光装置包括:激光器、衰减片、起偏器和1/4玻片;其中,所述激光器发出激光,通过衰减片调节强度后,通过起偏器变为线偏振光,经过1/4玻片转为圆偏振光。

3. 如权利要求1所述的超声探测装置,其特征在于,接近全反射角的角度为 $10^{-7} \sim 10^{-5}$ 度。

4. 一种基于全反射的光声成像装置,其特征在于,所述光声成像装置包括:探测光装置、光声成像探头、二维扫描台、激发光、偏振分束器、平衡探测器、示波器或采集卡;其中,光声成像探头包括棱镜和匹配液体层,匹配液体层采用粘附在棱镜下底表面的水滴或水槽,由成像样本的性质决定;探测光装置发出圆偏振光,经第一透镜聚焦后作为探测光,从光声成像探头的棱镜的侧面入射至棱镜内,聚焦在棱镜的下底面,并在焦点处发生全内反射,在焦点处形成探测窗口;通过微调减小入射角到刚好不发生全反射;以这个接近全反射角的角度作为入射角;成像样本放置在二维扫描台上,成像样本的上表面紧贴匹配液体层后探测窗口的位置;激发光照射在成像样本上,激发成像样本产生超声波,引起水的折射率改变,调制反射光中的P偏振光和S偏振光的能量发生不同响应的非线性变化,在入射角接近全反射角的范围内,P偏振光和S偏振光对水的折射率的变化最敏感,二者的信号区别也最大;反射光经第二透镜聚焦后,通过偏振分束器将反射光中的s偏振光和p偏振光分开成两束,分别由高带宽的平衡探测器的两个探头接收;平衡探测器将s偏振光和p偏振光的强度差转变成电压信号后被示波器或采集卡接收记录,在示波器上观察到的电压曲线为对应s偏振光和p偏振光的强度差随时间的变化曲线,或者由采集卡进行数据采集;同时,二维扫描台带动成像样本进行二维扫描;对采集后的数据进行重建形成成像样本的光声图像。

5. 如权利要求4所述的光声成像装置,其特征在于,接近全反射角的角度为 $10^{-7} \sim 10^{-5}$ 度。

6. 一种基于全反射的超声探测方法,其特征在于,所述超声探测方法包括以下步骤:

1) 制备超声探头:

将匹配液体层粘附在棱镜下底表面,匹配液体层采用水滴或水槽;

2) 搭建光路:

探测光装置发出圆偏振光,经第一透镜聚焦后作为探测光,超声探头的棱镜的侧面入射至棱镜内,聚焦在棱镜的下底面,并在焦点处发生全内反射,在焦点处形成探测窗口,通过微调减小入射角,刚好不发生全反射,此时反射光经过平衡探测器后,在示波器上的信号幅值达到最大;以这个接近全反射角的角度作为入射角,反射光经第二透镜聚焦后,通过偏振分束器将反射光中的s偏振光和p偏振光分开成两束,分别由高带宽的平衡探测器的两个探头接收;

3)超声波探测:

当棱镜下底表面的匹配液体层里有超声波时,引起匹配液体内水的折射率改变,调制反射光中的P偏振光和S偏振光的能量发生不同响应的非线性变化,在入射角接近全反射角的范围内,P偏振光和S偏振光对水的折射率的变化最敏感,二者的信号区别也最大;反射光经第二透镜聚焦后,通过偏振分束器将反射光中的s偏振光和p偏振光分开成两束,分别由高带宽的平衡探测器的两个探头接收;s偏振光和p偏振光的强度差转变成电压信号后被示波器接收,在示波器上观察到的电压曲线为对应s偏振光和p偏振光的强度差随时间的变化曲线;或者,s偏振光和p偏振光的强度差转变成电压信号后由采集卡进行数据采集。

7.如权利要求6所述的探测方法,其特征在于,在步骤2)中,将入射角减小 $10^{-7} \sim 10^{-5}$ 度,刚好不发生全反射。

8.一种基于全反射的光声成像方法,其特征在于,所述光声成像方法包括以下步骤:

1)制备光声成像探头:

将匹配液体层粘附在棱镜下底表面,匹配液体层采用水滴或水槽;;

2)搭建光路:

探测光装置发出圆偏振光,经第一透镜聚焦后作为探测光,光声成像探头的棱镜的侧面入射至棱镜内,聚焦在棱镜的下底面,并在焦点处发生全内反射,在焦点处形成探测窗口,通过微调减小入射角,刚好不发生全反射,此时反射光经平衡探测器后,在示波器上的信号幅值达到最大;以这个接近全反射角的角度作为入射角,反射光经第二透镜聚焦后,通过偏振分束器将反射光中的s偏振光和p偏振光分开成两束,分别由高带宽的平衡探测器的两个探头接收;

3)光声信号调节:

将成像样本放置在二维扫描台上,成像样本紧贴匹配液体层后的探测窗口的位置;发光照射在成像样本上,激发成像样本产生超声波,引起水的折射率改变,调制反射光中的P偏振光和S偏振光的能量发生不同响应的非线性变化,在入射角接近全反射角的范围内,P偏振光和S偏振光对水的折射率的变化最敏感,二者的信号区别也最大;在全反射角附近调节探测光的入射角、激发光的焦点以及成像样本的位置,使得探测光点和激发光点重合并聚焦在成像样本上,通过示波器观察到信噪比最高的信号;

4)光声信号探测:

将高带宽的平衡探测器输出的信号连接至采集卡,由采集卡采集电压信号,同时,由二维扫描台带动成像样本做二维扫描,对采集后的数据进行重建,形成成像样本的光声图像。

9.如权利要求8所述的光声成像方法,其特征在于,在步骤2)中,将入射角减小 $10^{-7} \sim 10^{-5}$ 度,刚好不发生全反射。

一种基于全反射的超声探测和光声成像装置及其方法

技术领域

[0001] 本发明涉及超声探测技术,具体涉及一种基于全反射的超声探测和光声成像装置及其方法。

背景技术

[0002] 超声波是一种频率高于20000赫兹的声波,在医学、军事、工业、农业等诸多领域都有很广的应用。例如超声波探伤、测厚、测距、遥控和超声成像;超声焊接、钻孔、固体的粉碎、乳化、脱气、除尘;超声检测心脏、胎儿等等。目前,探测超声波的方法主要是用超声换能器进行探测。超声换能器由压电材料制成,对于压电晶片共振频率的超声波探测灵敏度较高,但能有效探测的频域范围有限,实际应用中会损失部分频率信息。此外,受电子学背景噪声的影响,压电材料越小噪声越大,这就限制了基于压电材料的探测器尺寸。到目前为止,还没有一种方法能在工艺简单、操作方便的基础上实现对宽频带的超声波进行探测。光声成像是近年来发展起来的一种非侵入式和非电离式的新型生物医学成像方法。光声效应的原理是生物组织受到短脉冲激光的照射会产生超声波。光声成像的本质也是对宽频的超声波进行有效探测。因此,发明一种工艺简单、操作方便且能对宽频带的超声波进行探测的技术尤为重要。

发明内容

[0003] 针对目前现有的超声换能器不能探测宽频光声信号和尺寸瓶颈的问题,本发明提出了一种基于全反射的超声探测和光声成像装置及其方法,利用接近全反射时P偏振光和S偏振光的能量差,通过选择合适的探测光的入射角度和调节P偏振光和S偏振光的共模抑制比来对宽频超声波进行高灵敏探测。

[0004] 本发明的一个目的在于提出一种基于全反射的超声探测和光声成像装置。

[0005] 本发明的基于全反射的超声探测装置包括:探测光装置、超声探头、偏振分束器、平衡探测器、示波器或采集卡;其中,超声探头包括棱镜和匹配液体层,匹配液体层采用粘附在棱镜下底表面的水滴或水槽,由被探测物的性质决定;探测光装置发出圆偏振光,经第一透镜聚焦后作为探测光,从超声探头的棱镜的侧面入射至棱镜内,聚焦在棱镜的下底面,并在焦点处发生全内反射,在焦点处形成探测窗口;通过微调减小入射角到刚好不发生全反射;以这个接近全反射角的角度作为入射角,当棱镜下底表面的匹配液体层里有超声波时,引起匹配液体内水的折射率改变,调制反射光中的P偏振光和S偏振光的能量发生不同响应的非线性变化,在入射角接近全反射角的范围内,P偏振光和S偏振光对水的折射率的变化最敏感,二者的信号区别也最大;反射光经第二透镜聚焦后,通过偏振分束器将反射光中的s偏振光和p偏振光分开成两束,分别由高带宽的平衡探测器的两个探头接收;s偏振光和p偏振光的强度差转变成电压信号后被示波器或采集卡接收记录,在示波器上观察到的电压曲线为对应s偏振光和p偏振光的强度差随时间的变化曲线,或者由采集卡进行数据采集。

[0006] 根据被探测物的性质,匹配液体层可选择水滴或水槽。

[0007] 本发明的基于全反射的光声成像装置包括:探测光装置、光声成像探头、二维扫描台、激发光、偏振分束器、平衡探测器、示波器或采集卡;其中,光声成像探头包括棱镜和匹配液体层,匹配液体层采用粘附在棱镜下底表面的水滴或水槽,由成像样本的性质决定;探测光装置发出圆偏振光,经第一透镜聚焦后作为探测光,从光声成像探头的棱镜的侧面入射至棱镜内,聚焦在棱镜的下底面,并在焦点处发生全内反射,在焦点处形成探测窗口;通过微调减小入射角到刚好不发生全反射;以这个接近全反射角的角度作为入射角;成像样本放置在二维扫描台上,成像样本的上表面紧贴匹配液体层后探测窗口的位置;激发光照射在成像样本上,激发成像样本产生超声波,引起水的折射率改变,调制反射光中的P偏振光和S偏振光的能量发生不同响应的非线性变化,在入射角接近全反射角的范围内,P偏振光和S偏振光对水的折射率的变化最敏感,二者的信号区别也最大;反射光经第二透镜聚焦后,通过偏振分束器将反射光中的s偏振光和p偏振光分开成两束,分别由高带宽的平衡探测器的两个探头接收;平衡探测器将s偏振光和p偏振光的强度差转变成电压信号后被示波器或采集卡接收记录,在示波器上观察到的电压曲线为对应s偏振光和p偏振光的强度差随时间的变化曲线,或者由采集卡进行数据采集;同时,二维扫描台带动成像样本进行二维扫描;对采集后的数据进行重建形成成像样本的光声图像。

[0008] 棱镜的下底面面积大于上底面面积。

[0009] 水槽包括水槽基板和通孔,在水槽基板内开设通孔,水槽基板的下表面密封粘贴在棱镜的下底表面,通孔内盛放水,从而水与棱镜的下底表面直接接触。

[0010] 探测光装置包括:激光器、衰减片、起偏器和1/4玻片;其中,激光器发出激光,通过衰减片调节强度后,通过起偏器变为线偏振光,经过1/4玻片转为圆偏振光。

[0011] 探测光入射至棱镜的下底面,反射光中的P偏振光和S偏振光的能量发生不同响应的非线性变化,在入射角接近全反射角的范围内,P偏振光和S偏振光对水的折射率的变化最敏感,二者的信号区别也最大;激发光激发成像样本产生超声波,改变匹配液体层中水的折射率,折射率改变导致s偏振光和p偏振光的吸收为不同的非线性变化,经平衡探测器探测到的两信号做差并转变成电压信号,通过采集卡,得到成像样本的光声信号。由二维平移台带动成像样本进行二维扫描,便可得到成像样本的二维光声图像。

[0012] 接近全反射角的角度为 $10^{-7} \sim 10^{-5}$ 度。

[0013] 本发明的另一个目的在于提供一种基于全反射的超声探测和光声成像的方法。

[0014] 本发明的基于全反射的超声探测方法,包括以下步骤:

[0015] 1)制备超声探头:

[0016] 将匹配液体层粘附在棱镜下底表面,匹配液体层采用水滴或水槽;

[0017] 2)搭建光路:

[0018] 探测光装置发出圆偏振光,经第一透镜聚焦后作为探测光,超声探头的棱镜的侧面入射至棱镜内,聚焦在棱镜的下底面,并在焦点处发生全内反射,在焦点处形成探测窗口,通过微调,将入射角减小 $10^{-7} \sim 10^{-5}$ 度,刚好不发生全反射,此时反射光经过平衡探测器后,在示波器上的信号幅值达到最大;以这个接近全反射角的角度作为入射角,反射光经第二透镜聚焦后,通过偏振分束器将反射光中的s偏振光和p偏振光分开成两束,分别由高带宽的平衡探测器的两个探头接收;

[0019] 3)超声波探测:

[0020] 当棱镜下底表面的匹配液体层里有超声波时,引起匹配液体内水的折射率改变,调制反射光中的P偏振光和S偏振光的能量发生不同响应的非线性变化,在入射角接近全反射角的范围内,P偏振光和S偏振光对水的折射率的变化最敏感,二者的信号区别也最大;反射光经第二透镜聚焦后,通过偏振分束器将反射光中的s偏振光和p偏振光分开成两束,分别由高带宽的平衡探测器的两个探头接收;s偏振光和p偏振光的强度差转变成电压信号后被示波器接收,在示波器上观察到的电压曲线为对应s偏振光和p偏振光的强度差随时间的变化曲线;或者,s偏振光和p偏振光的强度差转变成电压信号后由采集卡进行数据采集。

[0021] 本发明的基于全反射的光声成像方法,包括以下步骤:

[0022] 1)制备光声成像探头:

[0023] 将匹配液体层粘附在棱镜下底表面,匹配液体层采用水滴或水槽;;

[0024] 2)搭建光路:

[0025] 探测光装置发出圆偏振光,经第一透镜聚焦后作为探测光,光声成像探头的棱镜的侧面入射至棱镜内,聚焦在棱镜的下底面,并在焦点处发生全内反射,在焦点处形成探测窗口,通过微调,将入射角减小 $10^{-7} \sim 10^{-5}$ 度,刚好不发生全反射,此时反射光经平衡探测器后,在示波器上的信号幅值达到最大;以这个接近全反射角的角度作为入射角,反射光经第二透镜聚焦后,通过偏振分束器将反射光中的s偏振光和p偏振光分开成两束,分别由高带宽的平衡探测器的两个探头接收;

[0026] 3)光声信号调节:

[0027] 将成像样本放置在二维扫描台上,成像样本紧贴匹配液体层后的探测窗口的位置;激发光照射在成像样本上,激发成像样本产生超声波,引起水的折射率改变,调制反射光中的P偏振光和S偏振光的能量发生不同响应的非线性变化,在入射角接近全反射角的范围内,P偏振光和S偏振光对水的折射率的变化最敏感,二者的信号区别也最大;在全反射角附近调节探测光的入射角、激发光的焦点以及成像样本的位置,使得探测光点和激发光点重合并聚焦在成像样本上,通过示波器观察到信噪比最高的信号;

[0028] 4)光声信号探测:

[0029] 将高带宽的平衡探测器输出的信号连接至采集卡,由采集卡采集电压信号,同时,由二维扫描台带动成像样本做二维扫描,对采集后的数据进行重建,形成成像样本的光声图像。

[0030] 本发明的优点:

[0031] (1)本发明通过全内反射装置下,接近全反射角时,探测光对介质折射率极为敏感的效应,利用光探测方法的高带宽的优点,能够探测传统超声换能器所不能探测的宽频超声信号;

[0032] (2)本发明基于全反射的原理,在反射点处探测超声波信号,工艺简单、操作方便,易小型化集成阵列实现大面积的超声波探测。

附图说明

[0033] 图1为本发明的基于全反射的超声探测装置的实施例一的示意图;

[0034] 图2为本发明的基于全反射的超声探测装置的实施例一的超声探头的放大示意

图；

[0035] 图3为本发明的基于全反射的超声探测装置的实施例一的频谱相应曲线图

[0036] 图4为本发明的基于全反射的光声成像装置的实施例二的示意图；

[0037] 图5为本发明的基于全反射的光声成像装置的实施例二的光声图像。

具体实施方式

[0038] 下面结合附图,通过具体实施例,进一步阐述本发明。

[0039] 实施例一

[0040] 如图1所示,本实施例的基于全反射的超声探测装置包括:探测光装置1、超声探头2、偏振分束器3、平衡探测器4和示波器5。探测光装置包括:激光器11、衰减片12、起偏器13和1/4玻片14,激光器11发出激光,通过衰减片12调节强度后,通过起偏器13变为线偏振光,经过1/4玻片14转为圆偏振光,经第一透镜L1聚焦后作为探测光,入射至超声探头的棱镜,如图2所示。超声探头2包括棱镜22和匹配液体层21,匹配液体层采用粘附在棱镜下底表面的水槽;探测光,从超声探头的棱镜22的侧面入射至棱镜内,聚焦在棱镜的下底面,并在焦点处发生全内反射,在焦点处形成探测窗口,如图2所示;通过微调减小入射角 $10^{-7} \sim 10^{-5}$,刚好不发生全反射;以这个接近全反射角的角度作为入射角,反射光经反射镜M反射后经第二透镜L2聚焦,通过偏振分束器3将反射光中的s偏振光和p偏振光分开成两束,分别由高带宽的平衡探测器4的两个探头接收;s偏振光和p偏振光的强度差转变成电压信号后被示波器5接收记录,在示波器上观察到的电压曲线为对应s偏振光和p偏振光的强度差随时间的变化曲线;然后,将高带宽的平衡探测器4的输出信号连接至采集卡,从而超声波信号通过光信号的强度差的变化转化成可被探测的电压信号。

[0041] 在本实施例中,激光器11采用HeNe激光器,起偏器13采用偏振片。

[0042] 激发光为532nm的激光,本发明的探测器在-3dB衰减处的频率约为105MHz,实现了宽频的探测。

[0043] 用532nm的激光激发出宽频的超声波,探测此超声波,本发明的探测装置在约-6dB衰减处的频率约为137.2MHz,实现了宽频的探测,如图3所示。

[0044] 实施例二

[0045] 如图4所示,本实施例的基于全反射的超声探测装置包括:探测光装置1、光声成像探头7、二维扫描台6、激发光、偏振分束器3、平衡探测器4、示波器5、数据采集卡和二维扫描台;其中,光声成像探头2放置在二维扫描台上;光声成像探头2包括匹配液体层21和棱镜22;探测光装置1包括:激光器11、衰减片12、起偏器13和1/4玻片14,激光器11发出激光,通过衰减片12调节强度后,通过起偏器13变为线偏振光,经过1/4玻片14转为圆偏振光,经第一透镜L1聚焦后,以全反射角的方向入射至光声成像探头的棱镜。成像样本放置在二维扫描台6上,激发光照射到成像样本上,产生超声信号。

[0046] 本发明的基于全反射的光声成像方法,包括以下步骤:

[0047] 1)制备光声成像探头:

[0048] 将匹配液体层粘附在棱镜下底表面,匹配液体层采用水滴或水槽;;

[0049] 2)搭建光路:

[0050] 探测光装置发出圆偏振光,经第一透镜聚焦后作为探测光,光声成像探头的棱镜

的侧面入射至棱镜内,聚焦在棱镜的下底面,并在焦点处发生全内反射,在焦点处形成探测窗口,通过微调减小入射角到刚好不发生全反射,此时示波器的信号幅值最大;以这个接近全反射角的角度作为入射角,反射光经第二透镜聚焦后,通过偏振分束器将反射光中的s偏振光和p偏振光分开成两束,分别由高带宽的平衡探测器的两个探头接收;

[0051] 3)光声信号调节:

[0052] 将成像样本放置在二维扫描台上,成像样本紧贴匹配液体层后的探测窗口的位置;激发光照射在成像样本上,激发成像样本产生超声波,引起水的折射率改变,调制反射光中的P偏振光和S偏振光的能量发生不同响应的非线性变化,在入射角接近全反射角的范围内,P偏振光和S偏振光对水的折射率的变化最敏感,二者的信号区别也最大;在全反射角附近调节探测光的入射角、激发光的焦点以及成像样本的位置,使得探测光点和激发光点重合并聚焦在成像样本上,通过示波器观察到信噪比最高的信号;

[0053] 4)光声信号探测:

[0054] 将信号连接至采集卡,由采集卡采集电压信号,同时,由二维扫描台带动成像样本做二维扫描,对采集后的数据进行重建形成成像样本的光声图像。

[0055] 本实施例中,以小白鼠以耳朵的血管为成像样本,用532nm的激光激发出宽频的超声波,并把小白鼠与二维平移台固定,耳朵通过几滴水滴紧贴棱镜下底表面,进行二维扫描成像,实现了光声成像,如图5所示。

[0056] 最后需要注意的是,公布实施例的目的在于帮助进一步理解本发明,但是本领域的技术人员可以理解:在不脱离本发明及所附的权利要求的精神和范围内,各种替换和修改都是可能的。因此,本发明不应局限于实施例所公开的内容,本发明要求保护的范围以权利要求书界定的范围为准。

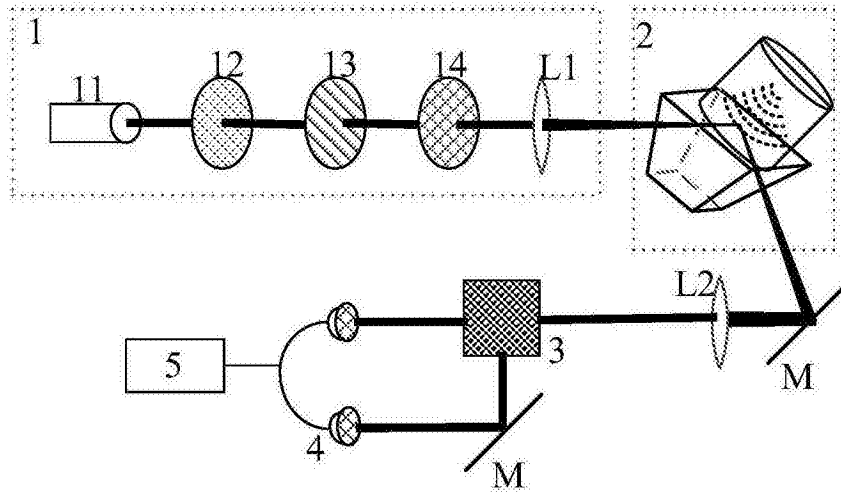


图1

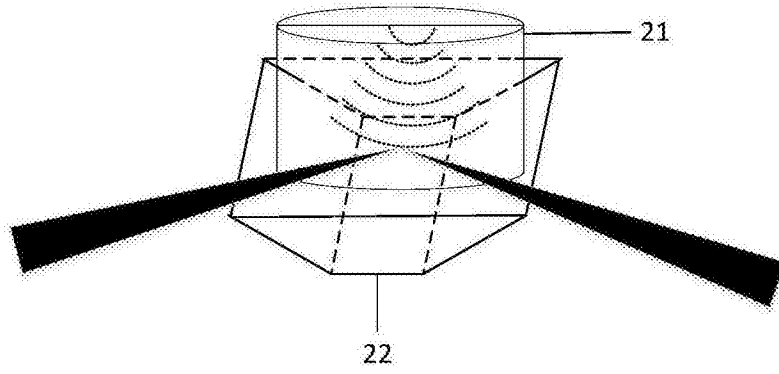


图2

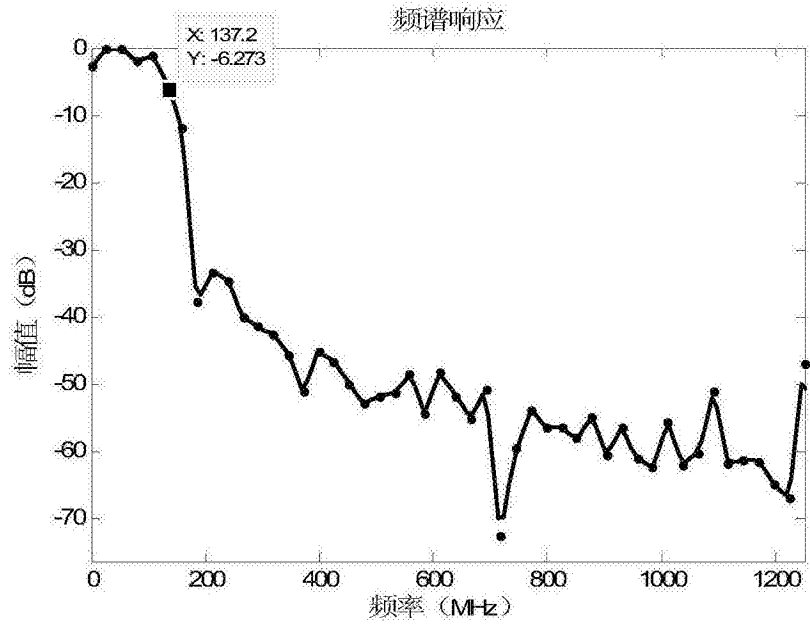


图3

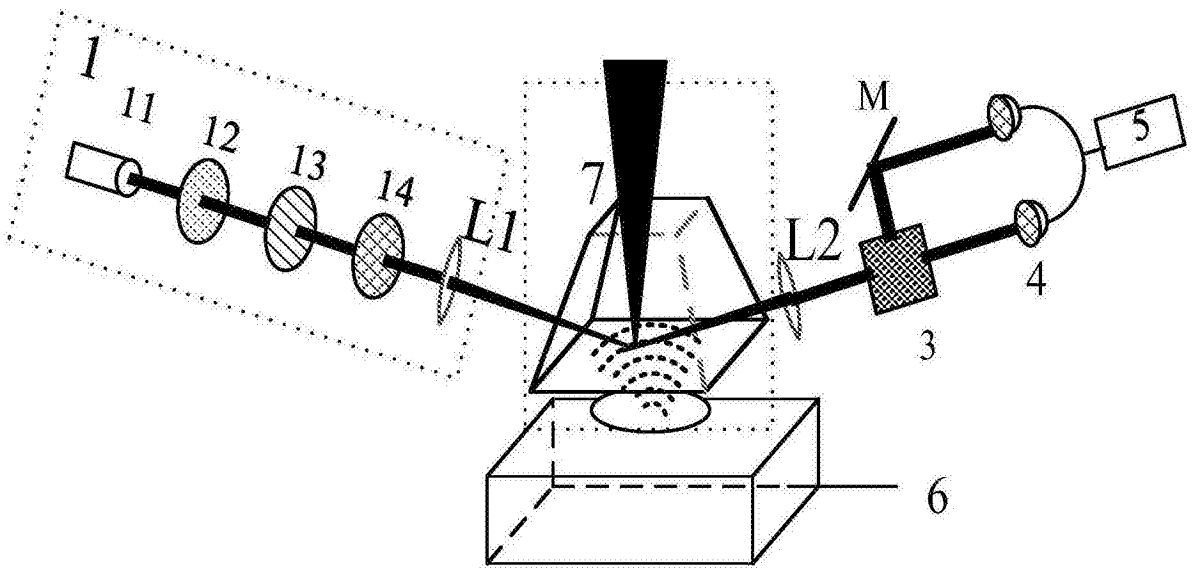


图4

耳朵血管

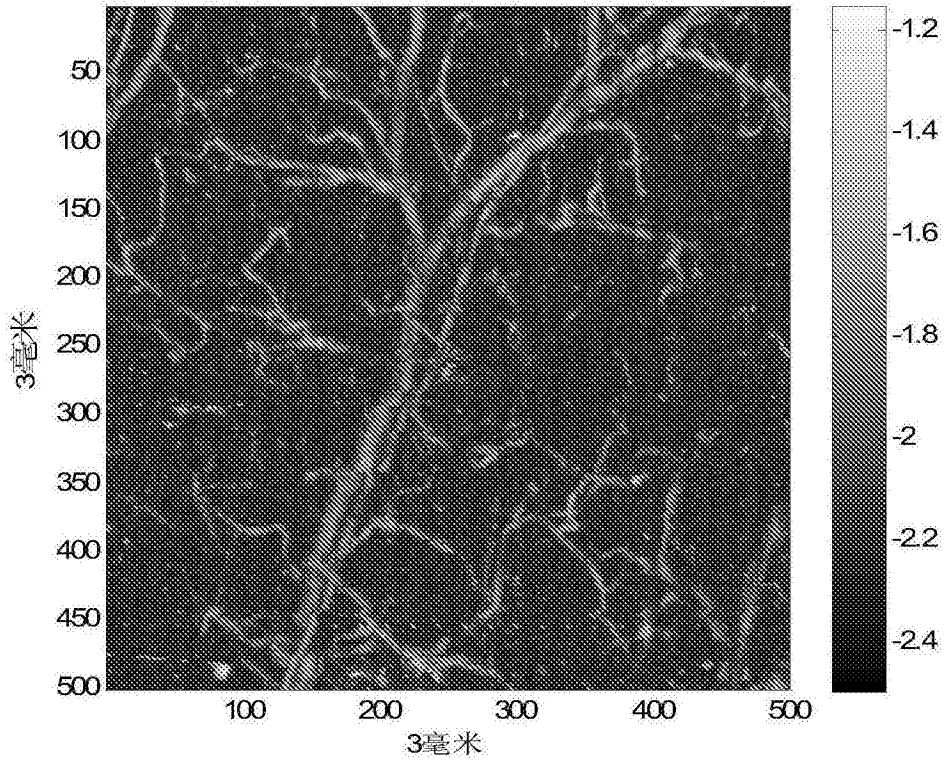


图5

专利名称(译)	一种基于全反射的超声探测和光声成像装置及其方法		
公开(公告)号	CN106236145A	公开(公告)日	2016-12-21
申请号	CN201610807818.3	申请日	2016-09-07
[标]申请(专利权)人(译)	北京大学		
申请(专利权)人(译)	北京大学		
当前申请(专利权)人(译)	北京大学		
[标]发明人	李长辉 朱晓昶 李文昭 黄智宇 王国鹤 任秋实		
发明人	李长辉 朱晓昶 李文昭 黄智宇 王国鹤 任秋实		
IPC分类号	A61B8/00 A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/0095 A61B8/44 A61B8/4444 A61B2503/40		
代理人(译)	王岩		
其他公开文献	CN106236145B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种基于全反射的超声探测和光声成像装置及其方法。本发明在棱镜上直接粘附匹配液体层，在全反射角附近微调刚好不发生全反射，此时的反射光中P偏振光和S偏振光对水的折射率的变化最敏感，二者的信号区别也最大；本发明通过全内反射装置下，接近全反射角时，探测光对介质折射率极为敏感的效应，利用光探测方法的高带宽的优点，能够探测传统超声换能器所不能探测的宽频超声信号；本发明基于全反射的原理，在反射点处探测超声波信号，工艺简单、操作方便，易小型化集成阵列实现大面积的超声波探测。

