



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108714021 A

(43)申请公布日 2018.10.30

(21)申请号 201810254913.4

(22)申请日 2018.03.26

(71)申请人 上海科技大学

地址 200120 上海市浦东新区华夏中路393号

(72)发明人 高飞 段廷阳

(74)专利代理机构 上海申汇专利代理有限公司
31001

代理人 翁若莹 柏子霓

(51)Int.Cl.

A61B 5/00(2006.01)

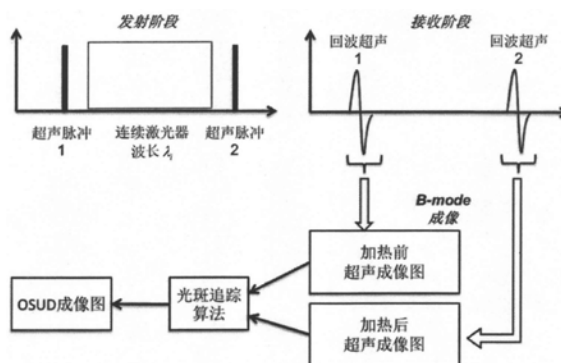
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

基于光学光谱的超声位移差异成像方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于光学光谱的超声位移差异成像方法,其特征在于,包括以下步骤:超声探头照射样品后,得到加热前超声成像图;由连续激光器加热样品;加热结束后,得到加热后超声成像图;根据时间延迟得到加热前后样品的温度变化,由此得到加热前后超声成像的散斑变化;利用光斑追踪算法,将加热前超声成像图与加热后超声成像图融合成最终的样品成像。本发明将传统的昂贵可调的脉冲激光光源换成了低成本的连续激光器和超声成像系统,在大大缩减激光光源成本的情况下获得传统脉冲-回波式超声成像系统的高分辨率和高穿透深度。



1. 一种基于光学光谱的超声位移差异成像方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1、超声探头照射样品后,利用接收到的加热前脉冲-回波式超声信号成像,得到加热前超声成像图;

步骤2、由连续激光器加热样品;

步骤3、加热结束后,用步骤1的超声探头再次照射样品,利用接收到的加热后脉冲-回波式超声信号成像,得到加热后超声成像图;

步骤4、加热后脉冲-回波式超声信号与加热前脉冲-回波式超声信号的时间延迟与特定波长下的光吸收常数线性相关,根据时间延迟得到声速变化,再根据声速变化得到加热前后样品的温度变化,由此得到加热前后超声成像的散斑变化,其中,时间延迟是指样品加热前后经过样品的超声信号的穿越时间差;

步骤5、根据步骤4得到的散斑变化,利用光斑追踪算法,将加热前超声成像图与加热后超声成像图融合成最终的样品成像。

2. 如权利要求1所述的一种基于光学光谱的超声位移差异成像方法,其特征在于,在上述步骤1中,样品由介质包围,则:

在所述步骤4中,由于加热引起的声速变化 $v_t(\lambda_i)$ 表示为:

$$v_t(\lambda_i) = v_i + a(T + \Delta T(\lambda_i)) = v_i + a\left(T + \frac{\eta_{th}\mu_a(\lambda_i)F}{\rho C_v}\right)$$

式中,i表示多个连续激光器的序号, λ_i 表示第i个连续激光器的波长, v_i 表示介质在0℃时的声速,a表示声速随温度增加时的变化因子,T表示样品周围环境温度, $\Delta T(\lambda_i)$ 表示样品由于连续激光器加热引起的瞬态升温, η_{th} 表示光热转换效率, $\mu_a(\lambda_i)$ 表示在波长为 λ_i 时对应的光热吸收常数,F表示光通量, ρ 表示样品密度, C_v 表示等容比热容。

基于光学光谱的超声位移差异成像方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种光声成像方法,属于光学光谱特性提取、超声成像、光声成像技术领域。

背景技术

[0002] 光声成像是基于光声效应的、发展迅速的非侵入式成像技术。在这类系统中,样品经由激光照射后产生超声信号,被特定中心频率的探头接收用作二维或三维图像重构,可将样品的截面、断层或整体图像重现出来。在最近十年中,超声成像技术在生物医学领域获得了广泛的关注,它同时具有超声检测的高穿透特性和光学成像的高对比度。光声成像系统分类众多,较普遍的分类为两类:光声断层扫描成像和光声显微成像。然而目前这两类系统的低成本小型化设计均受到昂贵且体积庞大的激光源的限制。尽管已有部分研究旨在克服和突破光源带来的阻碍,例如采用激光二极管做激发源,但比起高输出功率、高重复频率的脉冲式激光器而言,它的成像的分辨率和对比度也将有相应程度的下降。

发明内容

[0003] 本发明的目的是:在大大缩减激光源成本的情况下,获得和脉冲式高输出功率的激光器达到相同成像质量的光声成像方法。

[0004] 为了达到上述目的,本发明的技术方案是提供了一种基于光学光谱的超声位移差异成像方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0005] 步骤1、超声探头照射样品后,利用接收到的加热前脉冲-回波式超声信号成像,得到加热前超声成像图;

[0006] 步骤2、由连续激光器加热样品;

[0007] 步骤3、加热结束后,用步骤1的超声探头再次照射样品,利用接收到的加热后脉冲-回波式超声信号成像,得到加热后超声成像图;

[0008] 步骤4、加热后脉冲-回波式超声信号与加热前脉冲-回波式超声信号的时间延迟与特定波长下的光吸收常数线性相关,根据时间延迟得到声速变化,再根据声速变化得到加热前后样品的温度变化,由此得到加热前后超声成像的散斑变化,其中,时间延迟是指样品加热前后经过样品的超声信号的穿越时间差;

[0009] 步骤5、根据步骤4得到的散斑变化,利用光斑追踪算法,将加热前超声成像图与加热后超声成像图融合成最终的样品成像。

[0010] 优选地,在所述步骤1中,样品由介质包围,则:

[0011] 在所述步骤4中,由于加热引起的声速变化 $v_t(\lambda_i)$ 表示为:

$$[0012] \quad v_t(\lambda_i) = v_i + a(T + \Delta T(\lambda_i)) = v_i + a\left(T + \frac{\eta_{th}\mu_a(\lambda_i)F}{\rho C_v}\right)$$

[0013] 式中,i表示多个连续激光器的序号, λ_i 表示第i个连续激光器的波长, v_i 表示介质

在 0°C 时的声速, a 表示声速随温度增加时的变化因子, T 表示样品周围环境温度, $\Delta T(\lambda_i)$ 表示样品由于连续激光器加热引起的瞬态升温, η_{th} 表示光热转换效率, $\mu_a(\lambda_i)$ 表示在波长为 λ_i 时对应的光热吸收常数, F 表示光通量, ρ 表示样品密度, C_v 表示等容比热容。

[0014] 本发明将传统的昂贵可调的脉冲激光源换成了低成本的连续激光器和超声成像系统,在大大缩减激光源成本的情况下获得传统脉冲-回波式超声成像系统的高分辨率和高穿透深度。

附图说明

[0015] 图1为本发明提供的方法的流程图;

[0016] 图2为用于实现本发明方法的装置简图;

[0017] 图3(a)为蓝墨水经671纳米连续激光器加热前后的脉冲-回波式超声信号;

[0018] 图3(b)为纯水经671纳米连续激光器加热前后的脉冲-回波式超声信号;

[0019] 图4(a)-图4(c)为经激光加热前蓝墨水管和纯水胶管剖面图;图4(d)-图4(f)为分别经671纳米、808纳米和980纳米激光源加热后的蓝墨水管和纯水胶管剖面图;图4(g)-图4(i)为各波长下本发明的图像;

[0020] 图5(a)为利用本发明的方法得到的吸收光谱图;

[0021] 图5(b)为传统超声和本发明的方法的成像对比度对比图。

具体实施方式

[0022] 为使本发明更明显易懂,兹以优选实施例,并配合附图作详细说明如下。

[0023] 本发明公开了一种基于光学光谱的超声位移差异的成像方法(以下简称为OSUD)。如图1所示,在OSUD成像方法中,多个波长连续激光器用作样品的局部加热和瞬时升温。而样品内部的局部升温将会导致声波在穿越其中的时发生变化,为检测这个变化,本发明采用光斑追踪算法捕捉在采用连续激光加热样品前后的超声信号差异。因此,该方法可以获得传统脉冲-回波式超声成像系统的高分辨率和高穿透深度。值得注意的是,该OSUD方法将传统的昂贵可调的脉冲激光源换成了低成本的连续激光器和超声成像系统。

[0024] 用于验证OSUD的系统简图如图2所示。该系统包含了多波长(如本实施例用到的671纳米,808纳米,980纳米)的连续激光器(峰值功率为1W)并将输出光耦合进芯径为400微米的多模光纤中。光纤可轻松拆除方便安装及固定。在输出光纤端,安置两个聚光透镜来校准并聚焦输出光至样品表面。聚焦点可以根据分辨率要求来加以调节,在本实施例中聚焦光斑面积约为 1mm^2 。聚焦式浸水超声探头(I10C8F20,多普勒公司;直径1cm,中心频率为10MHz)被安置于水箱中,聚焦点对准激光光斑处。脉冲收发器(5072PR,奥林普斯)用于控制超声探头,按照一发一收的模式使探头发射超声脉冲和接收回波超声。光纤头、聚焦镜和超声探头连同安装的架杆均被固定于步进电机上,由电脑控制下使成像系统能够按照一定的步长和速度对样品做垂直和水平方向的二维扫描,获得样品各点处的深度信息。脉冲收发器接收到的信号经数据采集卡(9814,ADLink,采样率80MSPS)采集后传输至电脑端等待处理。电脑端同步处理整个采集系统的工作,包括电机的扫描、超声的接收、数据采集卡的通信和激光器的开关等。值得注意的是激光器的加热信号脉冲应当置于两次超声发射/接收之间且连续激光器的加热时间不宜太长,否则会使样品内部温度过高而损坏样品。在本实

验中,加热时间被设定为1ms。经加热后的超声接收信号的脉冲触发信号应当小于1微秒,使得由加热转化得到的内部热量还来不及扩散掉。在初步的验证实验中,样品由两只透明胶管组成,管中分别注入了纯水和蓝墨水,加热前将有相同的超声反射信号而在经近红外连续激光加热后会有显著的光学吸收差异。

[0025] 基于上述系统,本发明提供的一种基于光学光谱的超声位移差异成像方法包括以下步骤:

[0026] 步骤1、聚焦式浸水超声探头照射样品后,利用接收到的加热前脉冲-回波式超声信号采用B-mode成像方法成像,得到加热前超声成像图;

[0027] 步骤2、由连续激光器加热样品;

[0028] 步骤3、加热结束后,用聚焦式浸水超声探头再次照射样品,利用接收到的加热后脉冲-回波式超声信号采用B-mode成像方法成像,得到加热后超声成像图;

[0029] 步骤4、根据加热后脉冲-回波式超声信号与加热前脉冲-回波式超声信号的时间延迟得到声速变化,根据声速变化得到加热前后样品的温度变化,由此得到加热前后超声成像的散斑变化;

[0030] 步骤5、根据步骤4得到的散斑变化,利用光斑追踪算法,将加热前超声成像图与加热后超声成像图融合成最终的样品成像。

[0031] 在上述步骤4中,本发明将升高的温度和声速变化联系起来,作为位移差异的成像的基础。具体为,由于加热引起的声速变化 $v_t(\lambda_i)$ 可以表示为:

$$[0032] \quad v_t(\lambda_i) = v_i + a(T + \Delta T(\lambda_i)) = v_i + a\left(T + \frac{\eta_{th}\mu_a(\lambda_i)F}{\rho C_v}\right)$$

[0033] 式中,i表示多个连续激光器的序号, λ_i 表示第i个连续激光器的波长, v_i 表示介质在0℃时的声速,a表示声速随温度增加时的变化因子,T表示样品周围环境温度, $\Delta T(\lambda_i)$ 表示样品由于连续激光器加热引起的瞬态升温, η_{th} 表示光热转换效率, $\mu_a(\lambda_i)$ 表示在波长为 λ_i 时对应的光热吸收常数,F表示光通量, ρ 表示样品密度, C_v 表示等容比热容。

[0034] 同时,上述所示声速的变化可以被两个经连续激光器加热前后脉冲-回波式超声信号的时间延迟所表征。对于圆柱形对光敏感样品,如本实施例采用的注入墨水的胶管,这个时间延迟 Δt_{delay} 与声速的关系即可表征为:

$$\begin{aligned}
\Delta t_{\text{delay}} &= t_{\text{delay}1} - t_{\text{delay}2} = d_r \left[\frac{1}{v_t} - \frac{1}{v_t(\lambda_i)} \right] = d_r \left[\frac{1}{v_i + aT} - \frac{1}{v_i + a(T + \Delta T(\lambda_i))} \right] \\
[0035] \quad &= d_r \left[\frac{1}{v_i + aT} - \frac{1}{v_i + a \left(T + \frac{\eta_{th} \mu_a(\lambda_i) F}{\rho C_v} \right)} \right] = d_r \left[\frac{\frac{a \eta_{th} \mu_a(\lambda_i) F}{\rho C_v}}{(v_i + aT)^2 + a(v_i + aT) \frac{\eta_{th} \mu_a(\lambda_i) F}{\rho C_v}} \right] \\
&\approx d_r \left[\frac{a \eta_{th} \mu_a(\lambda_i) F}{(v_i + aT)^2 \rho C_v} \right], \text{ when } (v_i + aT) \gg \frac{a \eta_{th} \mu_a(\lambda_i) F}{\rho C_v} \\
&= \Gamma \mu_a(\lambda_i) F, \text{ where } \Gamma = d_r \frac{a \eta_{th}}{(v_i + aT)^2 \rho C_v}
\end{aligned}$$

[0036] 式中, $t_{\text{delay}1}$ 和 $t_{\text{delay}2}$ 分别为加热前和后经过样品的超声信号的穿越时间, d_r 为圆柱形样品直径, v_t 表示由加热引起的声速变化。时间延迟 Δt_{delay} 与特定波长下的光吸收常数是成线性相关的。

[0037] 由于加热引起的时间延时差异将直接在重构图像上的位移差异体现出来。因此, 本发明首先将加热前后的样品图像重构出来, 取其差异成像结果后在目标像素附近比较极小区域内的图像差异, 这也即简化版光斑追踪算法。

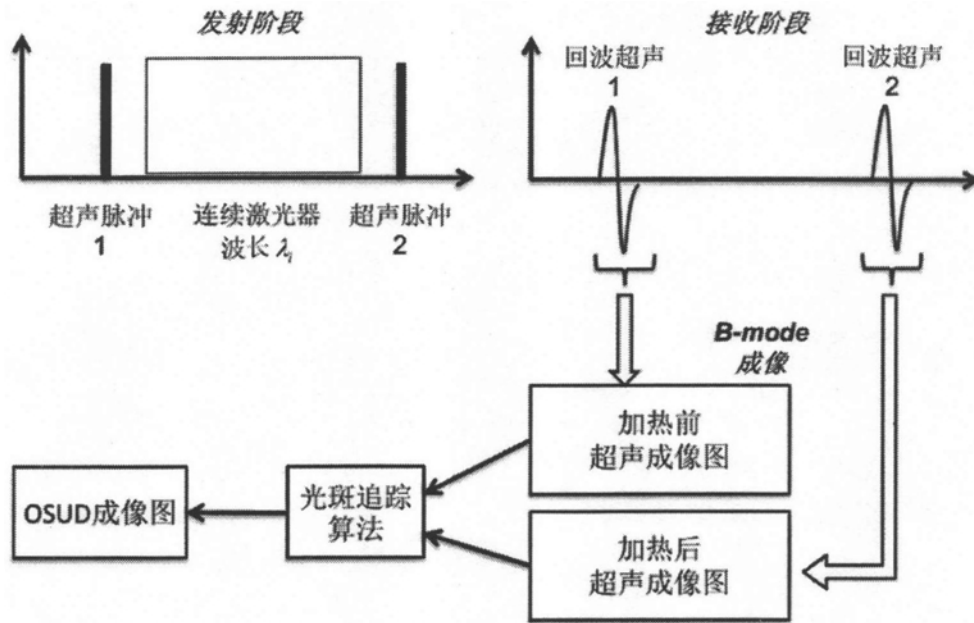


图1

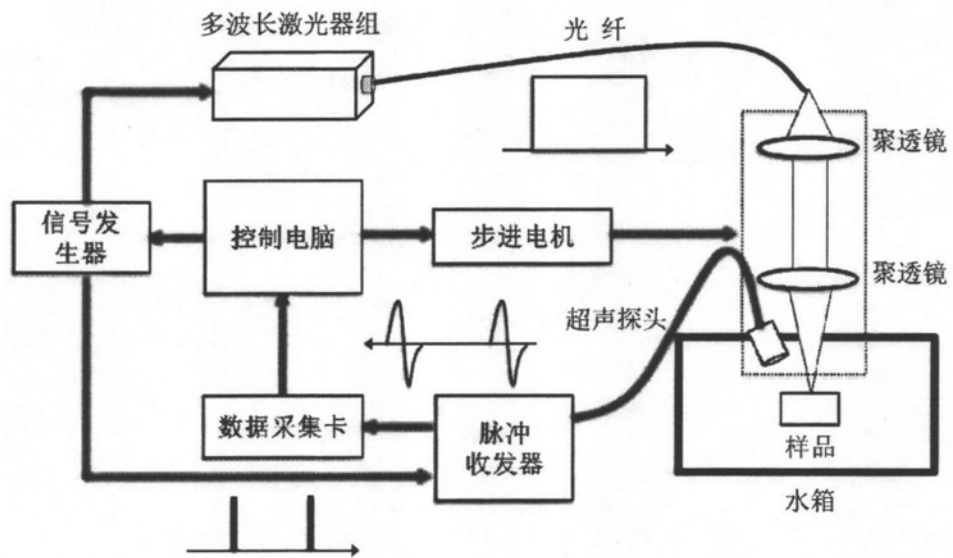


图2

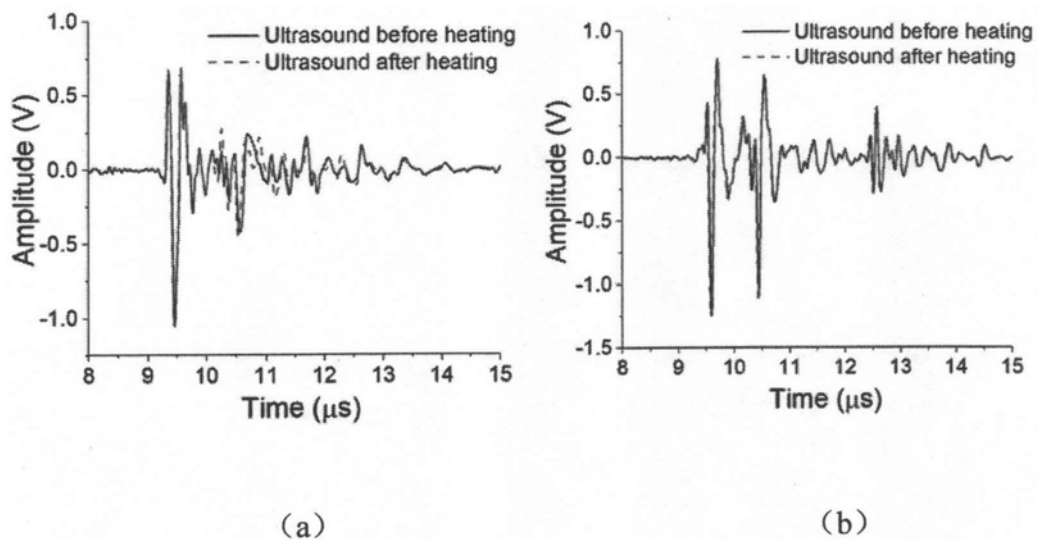


图3

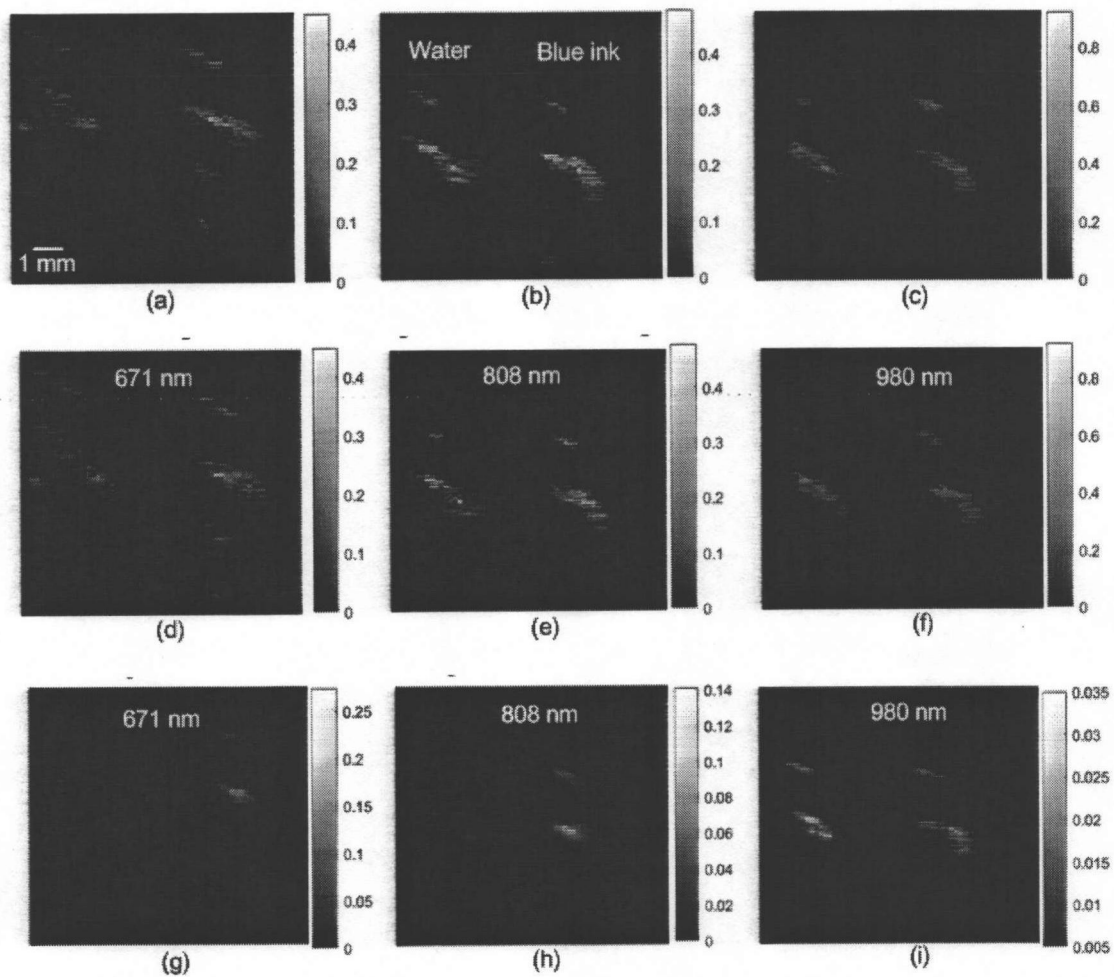


图4

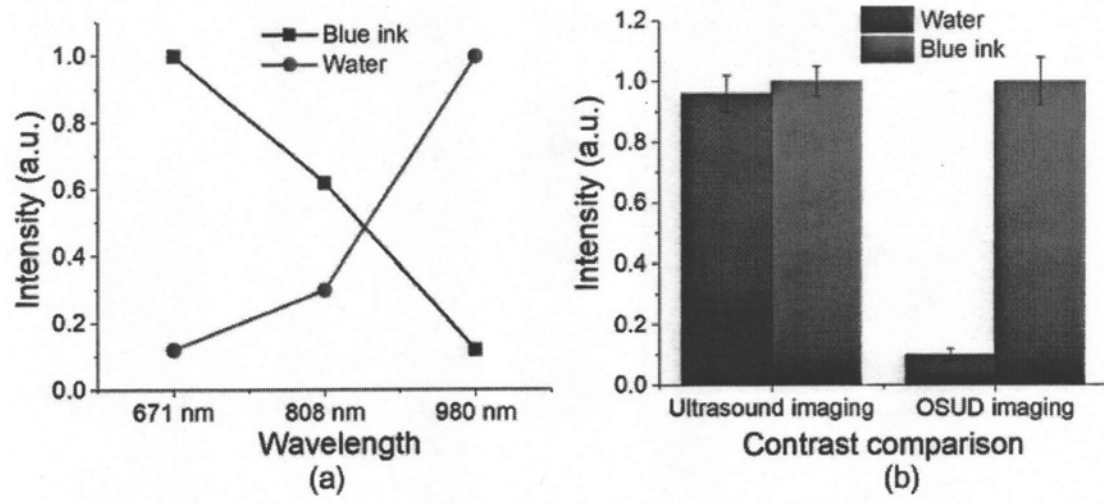


图5

专利名称(译)	基于光学光谱的超声位移差异成像方法		
公开(公告)号	CN108714021A	公开(公告)日	2018-10-30
申请号	CN201810254913.4	申请日	2018-03-26
[标]申请(专利权)人(译)	上海科技大学		
申请(专利权)人(译)	上海科技大学		
当前申请(专利权)人(译)	上海科技大学		
[标]发明人	高飞 段廷阳		
发明人	高飞 段廷阳		
IPC分类号	A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/0095		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明涉及一种基于光学光谱的超声位移差异成像方法，其特征在于，包括以下步骤：超声探头照射样品后，得到加热前超声成像图；由连续激光器加热样品；加热结束后，得到加热后超声成像图；根据时间延迟得到加热前后样品的温度变化，由此得到加热前后超声成像的散斑变化；利用光斑追踪算法，将加热前超声成像图与加热后超声成像图融合成最终的样品成像。本发明将传统的昂贵可调的脉冲激光源换成了低成本的连续激光器和超声成像系统，在大大缩减激光源成本的情况下获得传统脉冲-回波式超声成像系统的高分辨率和高穿透深度。

