



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111134591 A

(43)申请公布日 2020.05.12

(21)申请号 201911376532.4

(22)申请日 2019.12.27

(71)申请人 华南师范大学

地址 510631 广东省广州市天河区中山大
道西55号华南师范大学生物光子学研
究院

(72)发明人 杨思华 张昊昱 马海钢 邢达

(74)专利代理机构 广州市华学知识产权代理有
限公司 44245

代理人 李斌

(51)Int.Cl.

A61B 1/00(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

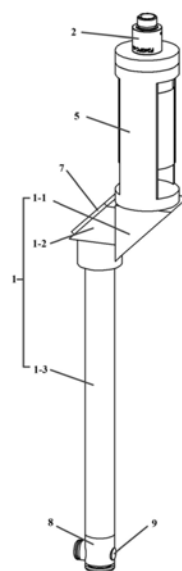
权利要求书3页 说明书8页 附图4页

(54)发明名称

一种光声显微成像笔及成像方法

(57)摘要

本发明公开了一种光声显微成像笔及成像方法,成像笔包括外壳、光纤准直器、长焦深透镜、聚焦透镜、光焦点轴向调节器、反光镜、微型扫描镜、前/侧向超声耦合器以及超声换能器,从光纤出射的激光经光纤准直器准直后,依次射入长焦深透镜、聚焦透镜,然后依次由反光镜、微型扫描镜反射,经过前/侧向超声耦合器到达样品。本发明优势在于将光声显微成像仪器做成了笔式结构,体积轻便,可以手持,并且既可以进行前向检测,也可以进行侧向检测,使得能够检测口腔、咽喉、宫颈、腹腔内脏等区域,大大扩展了光声显微仪器的应用范围;另外,通过微型扫描镜的高速扫描实现了快速的三维图像重建,极大地缩短了时间成本,能够应用于各种复杂的检测环境中。



1. 一种光声显微成像笔,其特征在于,包括外壳、光纤准直器、长焦深透镜、聚焦透镜、光焦点轴向调节器、反光镜、微型扫描镜、前/侧向超声耦合器以及超声换能器,

所述外壳包括反光镜模块、微型扫描镜模块和外壳主体,所述微型扫描镜模块设置在外壳主体的顶部,所述反光镜模块设置在微型扫描镜模块上;

所述反光镜模块一方面连接光焦点轴向调节器,所述的光焦点轴向调节器的可调节范围大于10mm;另一方面所述反光镜模块设有一个与水平方向成45度角的斜面,所述斜面上安装反光镜;所述反光镜用于使外壳主体、光焦点轴向调节器和前/侧向超声耦合器的中心轴平行,使得光声显微成像笔整体呈笔状;

所述微型扫描镜模块设有一个与水平方向成45度的斜面,该斜面上安装微型扫描镜;

所述外壳主体下方的直径小于12mm,该外壳主体的底部连接前/侧向超声耦合器;

所述超声换能器设置在前/侧向超声耦合器的外壳上;

所述光纤准直器与光焦点轴向调节器连接;

所述长焦深透镜设置在光焦点轴向调节器上,该长焦深透镜能将焦深扩展至0.5mm;

所述聚焦透镜设置在光焦点轴向调节器上,该聚焦透镜的焦距大于180mm;

连接完毕后,所述的光纤准直器、长焦深透镜、聚焦透镜、光焦点轴向调节器、前/侧向超声耦合器均与激光同轴设置。

2. 根据权利要求1所述的光声显微成像笔,其特征在于,所述光焦点轴向调节器包括支撑外壳、螺旋支柱、透镜固定模块和锁死模块,其中支撑外壳通过螺纹孔分别与光声显微成像笔外壳的反光镜模块以及螺旋支柱紧密连接;所述螺旋支柱上有外螺纹,透镜固定模块和锁死模块通过螺纹固定在螺旋支柱上,通过旋转透镜固定模块来实现光焦点的轴向调节,另外,在螺旋支柱的末端留有螺纹孔,用于与光纤准直器紧密连接;

所述透镜固定模块包括模块主体、长焦深透镜压片和聚焦透镜压片,模块主体中留有螺纹孔,尺寸与长焦深透镜和聚焦透镜直径相匹配,将长焦深透镜和聚焦透镜分别放入对应的螺纹孔中,然后通过旋转圆环状的长焦深透镜压片和聚焦透镜压片来分别压紧长焦深透镜和聚焦透镜。

3. 根据权利要求1所述的光声显微成像笔,其特征在于,所述微型扫描镜包括光滑的镀膜反光镜片、带动镜片偏转的芯片和第一信号线,上电后,镀膜反光镜片被锁死在初始位置,将镀膜反光镜片与水平方向成45度角设置,使经反光镜反射后的水平方向的聚焦光经其反射后,竖直入射前/侧向超声耦合器的光入射面;带动镜片偏转的芯片上有通孔,配合螺丝与光声显微成像笔外壳的微型扫描镜模块上的螺纹孔,就可以将微型扫描镜固定在外壳的微型扫描镜模块上;微型扫描镜设置好后,通过螺丝压紧微型扫描镜,微型扫描镜控制模块通过信号线控制芯片带动镜片偏转,镜片的偏转角与控制电压的幅值成正比。

4. 根据权利要求1所述的光声显微成像笔,其特征在于,所述的前/侧向超声耦合器包括前/侧向超声耦合器的外壳、透光密封板、透光反声镜/透声反光镜、超声耦合物质和密封膜;所述前/侧向超声耦合器的外壳为类圆柱状,从上方挖出一个圆槽,用于放置透光密封板,然后在圆槽下方再挖一个45度角倾斜的斜槽,用于放置透光反声镜/透声反光镜,前/侧向超声耦合器的外壳侧面有一圆凸台,用于侧向检测时使用,凸台表面为侧向检测面,在圆凸台的轴向上挖了一个圆通槽,一部分用于放置圆柱状的超声换能器,剩下的空间用于在进行侧向检测时通过激光,另外,前/侧向超声耦合器的外壳上方有外螺纹,用于与光声显

微成像笔外壳主体连接,前/侧向超声耦合器外壳的上下表面有一圆孔轴向互通;光从前/侧向超声耦合器的上方入射,下方或侧方出射,光入射面为水平设置,前向检测面为水平设置,侧向检测面为竖直设置,保证光垂直于光入射面入射、垂直于检测面出射,避免了光束在传播过程中由于光的折射偏离轴心;

其中透光反声镜/透声反光镜并不同时安装使用,光声显微成像笔需要进行前向检测时,只使用透光反声镜,不使用透声反光镜,并用密封膜密封住侧向检测窗口;需要进行侧向检测时,只使用透声反光镜,不使用透光反声镜,并用密封膜密封住前向检测窗口。

5.根据权利要求4所述的光声显微成像笔,其特征在于,所述透光密封板厚度小于0.5mm、透光率在92%以上且表面光滑;所述的透光反声镜厚度小于0.2mm、透光率在92%以上且表面光滑;所述的透声反光镜厚度小于0.6mm,材料的声阻抗与超声耦合物质接近,光反射率在99%以上,超声透过率在88%以上;所述的超声耦合物质透明无色,透光率在88%以上;所述的密封膜厚度小于0.05mm、透光率在92%以上,表面光滑且延展性好,用于将超声耦合物质密封在超声耦合器内部,以上提到的透光率、光反射率均对应所用波长的光。

6.根据权利要求1所述的光声显微成像笔,其特征在于,所述的超声换能器包括超声换能器外壳、匹配层、压电材料、背衬块和第二信号线,所述超声换能器外壳为圆柱形,尺寸匹配超声耦合器下部水平方向的圆槽;所述匹配层的作用是进行声阻抗匹配,提高声能的传输效率,使超声波更多的传递到压电材料上,同时也有一定的保护压电材料的作用;所述压电材料的作用是将超声波转换为电信号;所述背衬块的作用是消除后向干扰,减小压电材料的震荡时间,实现窄脉冲,提高纵向分辨力;将超声换能器接收/发射超声的一端对准透光反声镜,使声场通过透光反声镜反射后与超声耦合器的上部同轴,将超声换能器接收/发射超声的一端与超声耦合器中的超声耦合物质紧密连接,所述的超声换能器为非聚焦或微聚焦超声换能器,超声换能器得到的电信号经信号线传到计算机处理系统。

7.根据权利要求1所述的光声显微成像笔,其特征在于,所述外壳主体为圆柱状,上方与下方分别设有一个螺纹孔,上方的螺纹孔用于与反光镜模块紧密连接,下方的螺纹孔用于与前/侧向超声耦合器紧密连接;所述外壳主体的整体长度大于150mm。

8.根据权利要求1所述的光声显微成像笔,其特征在于,所述光纤准直器自身带有螺纹,直接通过光焦点轴向调节器上的对应螺纹孔与其连接,另一端设有与光纤头耦合连接的螺纹结构。

9.根据权利要求1所述的光声显微成像笔,其特征在于,所述反光镜用于反射光束,对所用波长的光的反射率大于90%,所述反光镜安装在与水平方向成45度的斜面上,使激光由竖直方向转为水平方向,激光再由微型扫描镜反射恢复到竖直方向,使得光声显微成像笔整体呈笔状。

10.根据权利要求1-9中任一项所述光声显微成像笔的成像方法,其特征在于,包括下述步骤:

(1)样品待测表面涂少许超声耦合液,紧贴于所述光声显微成像笔的检测窗口;

(2)微型扫描镜上电,激光发射模块出射激光;

(3)根据A扫信号的大小,旋转光焦点轴向调节器的透镜固定模块,以调整光焦点与检测平面的相对位置,使光焦点位于样品检测面处,实现高分辨率成像;

(4)计算机处理系统同时给微型扫描镜控制模块和信号采集模块同步触发信号,以进

行聚焦光在声场对应区域内的高速二维扫描和光声信号的同步采集、存储；

(5) 计算机处理系统利用GPU将采集到的光声信号,通过二维扫描点对点投影和时间反推深度,快速重建出反映样品不同结构对激光不同吸收情况的三维光声图像,极大地缩短了时间成本,能够应用于各种复杂的检测环境中。

一种光声显微成像笔及成像方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光声显微成像技术及装置领域,具体涉及一种光声显微成像笔及成像方法。

背景技术

[0002] 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。当脉冲激光照射到生物组织中时,组织的光吸收域将产生超声信号,我们称这种由光激发产生的超声信号为光声信号。生物组织产生的光声信号携带了组织的光吸收特征信息,通过探测光声信号能重建出组织中的光吸收分布图像。光声成像结合了纯光学组织成像中高选择特性和纯超声组织成像中深穿透特性的优点,可得到高分辨率和高对比度的组织图像,从原理上避开了光散射的影响,突破了高分辨率光学成像深度“软极限”(~1mm),可实现50mm的深层活体内组织成像。

[0003] 光声显微成像是光声成像领域中目前发展最为成熟的分支,通过对光激发或声检测进行聚焦实现高分辨率成像,并扫描光或声焦点来实现对样品的三维信息采集。传统的光声显微成像系统使用电机带动探头或样品移动进行扫描,而电机质量大、惯性大,基本不可能实现快速扫描,即使实现了光的快速扫描,传统的光声成像方法由于使用速度较慢的PCI总线传输数据、CPU处理数据,也难以实时成像。另外,由于电机的体积、重量较大,传统的光声显微成像系统体积大且笨重,无法用于检测口腔、腹腔等狭窄部位。

[0004] 虽然,光声内窥镜适用于检测狭窄腔道,但是光声内窥镜多使用侧向旋转扫描、水囊耦合,并通过旋转回撤的方式获得三维图像,这适用于检测肠道、食道等圆形管道,却不利于检测口腔、腹腔内脏等非管道形状的部位,检测口腔、腹腔等部位需要前侧向的光栅扫描来进行成像。

[0005] 发明专利号为201510400905.2的专利公开了一种用于光学、超声、光声多模显微成像的集成化扫描头,可获得检测部位的多参量物理信息和多尺度的结构成像,该集成化扫描头使用了扫描电机,体积较大,扫描速度慢,而现有的工程技术水平无法将电机缩小到足以手持;发明专利号为201610850278.7的专利公开了一种多尺度光声显微成像装置能实现在同一位置不同深度上的多焦点光声共焦成像,获取一定范围内高的、均匀的图像分辨率及对比度,该光声显微成像装置使用了电控调节平台、三维移动台,这也导致难以实现手持;申请号为201711122134.0的专利公开了一种基于微机电扫描振镜的小型光学分辨率光声显微镜,该光声显微镜虽然可实现手持式快速扫描成像,但是只能进行前向检测,难以适用于复杂的临床检测环境,如对口腔侧壁、咽喉、腹腔内脏等部位的检测。

[0006] 综上所述,现有的光声显微成像系统成像速度慢,整体体积大,检测模式单一,限制了光声显微成像技术在临床环境的应用,不利于光声显微成像技术的应用转化。

发明内容

[0007] 本发明的主要目的在于克服现有技术的缺点与不足,提供一种光声显微成像笔,

使用微型扫描镜代替电机对光进行扫描,在减小体积的同时,大大加快扫描成像速度,将光声显微检测的时间成本减少了两个量级,还不会影响成像效果,能够应用于各种复杂的检测环境中。另外,将光声显微成像仪器做成一支笔,具有前向检测和侧向检测两种模式,符合医生的使用需求。

[0008] 本发明的另一目的在于提供一种光声显微成像笔的成像方法,实现高分辨率实时成像。

[0009] 为了达到上述第一目的,本发明采用以下技术方案:

[0010] 一种光声显微成像笔,包括外壳、光纤准直器、长焦深透镜、聚焦透镜、光焦点轴向调节器、反光镜、微型扫描镜、前/侧向超声耦合器以及超声换能器,

[0011] 所述外壳包括反光镜模块、微型扫描镜模块和外壳主体,所述微型扫描镜模块设置在外壳主体的顶部,所述反光镜模块设置在微型扫描镜模块上;

[0012] 所述反光镜模块一方面连接光焦点轴向调节器,所述的光焦点轴向调节器的可调节范围大于10mm;另一方面所述反光镜模块设有一个与水平方向成45度角的斜面,所述斜面上安装反光镜;所述反光镜用于使外壳主体、光焦点轴向调节器和前/侧向超声耦合器的中心轴平行,使得光声显微成像笔整体呈笔状;

[0013] 所述微型扫描镜模块设有一个与水平方向成45度的斜面,该斜面上安装微型扫描镜;

[0014] 所述外壳主体下方的直径小于12mm,该外壳主体的底部连接前/侧向超声耦合器;

[0015] 所述超声换能器设置在前/侧向超声耦合器的外壳上;

[0016] 所述光纤准直器与光焦点轴向调节器连接;

[0017] 所述长焦深透镜设置在光焦点轴向调节器上,该长焦深透镜能将焦深扩展至0.5mm;

[0018] 所述聚焦透镜设置在光焦点轴向调节器上,该聚焦透镜的焦距大于180mm;

[0019] 连接完毕后,所述的光纤准直器、长焦深透镜、聚焦透镜、光焦点轴向调节器、前/侧向超声耦合器均与激光同轴设置。

[0020] 作为优选的技术方案,所述光焦点轴向调节器包括支撑外壳、螺旋支柱、透镜固定模块和锁死模块,其中支撑外壳通过螺纹孔分别与光声显微成像笔外壳的反光镜模块以及螺旋支柱紧密连接;所述螺旋支柱上有外螺纹,透镜固定模块和锁死模块通过螺纹固定在螺旋支柱上,通过旋转透镜固定模块来实现光焦点的轴向调节,另外,在螺旋支柱的末端留有螺纹孔,用于与光纤准直器紧密连接;

[0021] 所述透镜固定模块包括模块主体、长焦深透镜压片和聚焦透镜压片,模块主体中留有螺纹孔,尺寸与长焦深透镜和聚焦透镜直径相匹配,将长焦深透镜和聚焦透镜分别放入对应的螺纹孔中,然后通过旋转圆环状的长焦深透镜压片和聚焦透镜压片来分别压紧长焦深透镜和聚焦透镜。

[0022] 作为优选的技术方案,所述微型扫描镜包括光滑的镀膜反光镜片、带动镜片偏转的芯片和第一信号线,上电后,镀膜反光镜片被锁死在初始位置,将镀膜反光镜片与水平方向成45度角设置,使经反光镜反射后的水平方向的聚焦光经其反射后,竖直入射前/侧向超声耦合器的光入射面;带动镜片偏转的芯片上有通孔,配合螺丝与光声显微成像笔外壳的微型扫描镜模块上的螺纹孔,就可以将微型扫描镜固定在外壳的微型扫描镜模块上;微型

扫描镜设置好后,通过螺丝压紧微型扫描镜,微型扫描镜控制模块通过信号线控制芯片带动镜片偏转,镜片的偏转角与控制电压的幅值成正比。

[0023] 作为优选的技术方案,所述的前/侧向超声耦合器包括前/侧向超声耦合器的外壳、透光密封板、透光反声镜/透声反光镜、超声耦合物质和密封膜;所述前/侧向超声耦合器的外壳为类圆柱状,从上方挖出一个圆槽,用于放置透光密封板,然后在圆槽下方再挖一个45度角倾斜的斜槽,用于放置透光反声镜/透声反光镜,前/侧向超声耦合器的外壳侧面有一圆凸台,用于侧向检测时使用,凸台表面为侧向检测面,在圆凸台的轴向上挖了一个圆通槽,一部分用于放置圆柱状的超声换能器,剩下的空间用于在进行侧向检测时通过激光,另外,前/侧向超声耦合器的外壳上方有外螺纹,用于与光声显微成像笔外壳主体连接,前/侧向超声耦合器外壳的上下表面有一圆孔轴向互通;光从前/侧向超声耦合器的上方入射,下方或侧方出射,光入射面为水平设置,前向检测面为水平设置,侧向检测面为竖直设置,保证光垂直于光入射面入射、垂直于检测面出射,避免了光束在传播过程中由于光的折射偏离轴心;

[0024] 其中透光反声镜/透声反光镜并不同时安装使用,光声显微成像笔需要进行前向检测时,只使用透光反声镜,不使用透声反光镜,并用密封膜密封住侧向检测窗口;需要进行侧向检测时,只使用透声反光镜,不使用透光反声镜,并用密封膜密封住前向检测窗口。

[0025] 作为优选的技术方案,所述透光密封板厚度小于0.5mm、透光率在92%以上且表面光滑;所述的透光反声镜厚度小于0.2mm、透光率在92%以上且表面光滑;所述的透声反光镜厚度小于0.6mm,材料的声阻抗与超声耦合物质接近,光反射率在99%以上,超声透过率在88%以上;所述的超声耦合物质透明无色,透光率在88%以上;所述的密封膜厚度小于0.05mm、透光率在92%以上,表面光滑且延展性好,用于将超声耦合物质密封在超声耦合器内部,以上提到的透光率、光反射率均对应所用波长的光。

[0026] 作为优选的技术方案,所述的超声换能器包括超声换能器外壳、匹配层、压电材料、背衬块和第二信号线,所述超声换能器外壳为圆柱形,尺寸匹配超声耦合器下部水平方向的圆槽;所述匹配层的作用是进行声阻抗匹配,提高声能的传输效率,使超声波更多的传递到压电材料上,同时也有一定的保护压电材料的作用;所述压电材料的作用是将超声波转换为电信号;所述背衬块的作用是消除后向干扰,减小压电材料的震荡时间,实现窄脉冲,提高纵向分辨力;将超声换能器接收/发射超声的一端对准透光反声镜,使声场通过透光反声镜反射后与超声耦合器的上部同轴,将超声换能器接收/发射超声的一端与超声耦合器中的超声耦合物质紧密连接,所述的超声换能器为非聚焦或微聚焦超声换能器,超声换能器得到的电信号经信号线传到计算机处理系统。

[0027] 作为优选的技术方案,所述外壳主体为圆柱状,上方与下方分别设有一个螺纹孔,上方的螺纹孔用于与反光镜模块紧密连接,下方的螺纹孔用于与前/侧向超声耦合器紧密连接;所述外壳主体的整体长度大于150mm。

[0028] 作为优选的技术方案,所述光纤准直器自身带有螺纹,直接通过光焦点轴向调节器上的对应螺纹孔与其连接,另一端设有与光纤头耦合连接的螺纹结构。

[0029] 作为优选的技术方案,所述反光镜用于反射光束,对所用波长的光的反射率大于90%,所述反光镜安装在成45度的斜面上,使激光由竖直方向转为水平方向,激光再由微型扫描镜反射恢复到竖直方向,使得光声显微成像笔整体呈笔状。

[0030] 为了达到上述第二目的,本发明采用以下技术方案:

[0031] 一种光声显微成像笔的成像方法,包括下述步骤:

[0032] (1) 样品待测表面涂少许超声耦合液,紧贴于所述光声显微成像笔的检测窗口;

[0033] (2) 微型扫描镜上电,激光发射模块出射激光;

[0034] (3) 根据A扫信号的大小,旋转光焦点轴向调节器的透镜固定模块,以调整光焦点与检测平面的相对位置,使光焦点位于样品检测面处,实现高分辨率成像;

[0035] (4) 计算机处理系统同时给微型扫描镜控制模块和信号采集模块同步触发信号,以进行聚焦光在声场对应区域内的高速二维扫描和光声信号的同步采集、存储;

[0036] (5) 计算机处理系统利用GPU将采集到的光声信号,通过二维扫描点对点投影和时间反推深度,快速重建出反映样品不同结构对激光不同吸收情况的三维光声图像,极大地缩短了时间成本,能够应用于各种复杂的检测环境中。

[0037] 本发明与现有技术相比,具有如下优点和有益效果:

[0038] 1、本发明使用微型扫描镜代替电机进行光扫描实现光声显微检测,所述微型扫描镜的整体尺寸小于 $30 \times 30 \times 30 \text{mm}^3$,远小于目前常用的二维扫描振镜,减小了光声探头的体积、重量、成本和工作噪声,并将光声显微检测的时间成本减少了两个量级。

[0039] 2、本发明的一种光声显微成像笔,利用反光镜使光声显微成像笔外壳主体、光焦点轴向调节器和超声耦合器的中心轴平行,使得光声显微成像笔整体呈笔状,将光声显微成像仪器做成了笔式结构,体积轻便,可以手持,并且既可以进行前向检测,也可以进行侧向检测,使得能够检测口腔、咽喉、宫颈、腹腔内脏等距离体表较深的部位,大大扩展了光声显微仪器的应用范围。

[0040] 3、本发明的计算机处理系统通过PCIe总线传输采集到的光声信号,并使用GPU对光声显微成像笔传出的光声信号进行快速图像重建,实现了实时成像。

[0041] 4、本发明中使用反射式接收/激发光声信号的方式。前向检测时,利用透光反光镜将生物组织产生的光声信号反射至位于光声探头侧面的超声换能器;侧向检测时,利用透光反光镜将激光反射至样品,位于光声探头侧面的超声换能器直接接收超声。与使用中空超声换能器,光从中空超声换能器中间穿过照射到样品上,中空超声换能器直接接收光声信号的方式相比,使用反射式接收/激发光声信号的好处是扫描成像范围不会受到中空超声换能器的中空孔径限制。

附图说明

[0042] 图1是本发明一种光声显微成像笔的结构示意图。

[0043] 图2是本发明一种光声显微成像笔的左剖视图。

[0044] 图3是本发明中的微型扫描镜的结构示意图。

[0045] 图4(a)、图4(b)是本发明中的超声换能器的立体结构示意图及剖视图。

[0046] 图5是利用实施例所述光声显微成像笔和成像方法得到的光声成像结果(大鼠耳朵上的血管)。

[0047] 附图标号说明:1为外壳,1-1为反光镜模块,1-2为微型扫描镜模块,1-3为外壳主体,2为光纤准直器,3为长焦深透镜,4为聚焦透镜,5为光焦点轴向调节器,5-1为支撑外壳,5-2为螺旋支柱,5-3为透镜固定模块;5-3-1为模块主体,5-3-2为长焦深透镜压片,5-3-3为

聚焦透镜压片,5-4为锁死模块,6为反光镜,7为微型扫描镜,7-1为镀膜反光镜片,7-2为带动镜片偏转的芯片,7-3为第一信号线,8为前/侧向超声耦合器,8-1为前/侧向超声耦合器的外壳,8-2为透光密封板、8-3为透光反声镜/透声反光镜、8-4为超声耦合物质,8-5为密封膜,9为超声换能器,9-1为匹配层,9-2为压电材料,9-3为背衬块,9-4为超声换能器外壳,9-5为第二信号线。

具体实施方式

[0048] 下面结合实施例及附图对本发明作进一步详细的描述,但本发明的实施方式不限于此。

[0049] 实施例

[0050] 如图1、图2所示,本发明公开一种光声显微成像笔,包括:外壳1、光纤准直器2、长焦深透镜3、聚焦透镜4、光焦点轴向调节器5、反光镜6、微型扫描镜7、前/侧向超声耦合器8以及超声换能器9,连接完毕后,所述的光纤准直器、长焦深透镜、聚焦透镜、光焦点轴向调节器、前/侧向超声耦合器均与激光同轴设置;从光纤出射的激光经光纤准直器准直后,依次射入长焦深透镜、聚焦透镜,然后依次由反光镜、微型扫描镜反射,经过前/侧向超声耦合器到达样品。样品吸收光后,产生声信号,由超声换能器接收后转换为电信号,传入计算机处理系统。结合高重复频率的脉冲激光和微型扫描镜的高速扫描,并通过PCIe总线传输数据,实现快速的三维空间信息的采集,然后通过GPU进行快速图像重建,实现实时三维成像。

[0051] 所述外壳1的作用是连接其他各个部分;所述光纤准直器2的作用是将光纤出射的发散光进行准直;所述长焦深透镜3的作用是将高斯光变换为类似贝塞尔光,增长焦深;所述聚焦透镜4的作用是聚焦光束;所述光焦点轴向调节器5的作用是调节光焦点的轴向位置;所述反光镜6的作用是反射光束;所述微型扫描镜7的作用是使激光在超声换能器的声场区域内进行快速扫描;所述前/侧向超声耦合器8的作用是将样品产生的声信号传到超声换能器;所述超声换能器9的作用是将声信号转换为电信号。

[0052] 下面对本发明中光声显微成像笔的结构做进一步的阐述:

[0053] 所述的外壳1包括反光镜模块1-1、微型扫描镜模块1-2和外壳主体1-3,材料均为高机械强度的医用材料如peek,三者通过螺纹孔紧密连接;所述反光镜模块1-1一方面设有螺纹孔,用于连接光焦点轴向调节器5,另一方面设有一个与水平方向成45度的斜面,斜面上有一圆槽,用于安装反光镜6;所述微型扫描镜模块1-2有一个与水平方向成45度的斜面,斜面上设有螺纹孔,用于固定微型扫描镜7,使其与斜面平行放置,另外设置有两处螺纹结构,分别用于与反光镜模块1-1以及外壳主体1-3紧密连接;所述外壳主体1-3为圆柱状,上方与下方分别设有一个螺纹孔,上方的螺纹孔用于与微型扫描镜模块1-2紧密连接,下方的螺纹孔用于与前/侧向超声耦合器8紧密连接,外壳主体1-3的下方直径要求小于12mm,满足腹腔微创手术的要求,使得光声显微术能够应用于人体腹腔内脏的检测,另外,外壳主体1-3的整体长度大于150mm,使光声显微成像笔适用于检测咽喉、宫颈、腹腔内脏等距离体表较深的部位。

[0054] 所述光纤准直器2自身带有螺纹,直接通过光焦点轴向调节器5上的对应螺纹孔与其连接,另一端设有与光纤头耦合连接的螺纹结构。

[0055] 所述的长焦深透镜3为透明圆片,拥有将高斯光束转换成类似贝塞尔光束的功能,

这种光束相较于高斯光束,焦点更为细长,即焦深更长,在轴向的一定距离内光斑大小能保持在最佳水平,能够解决扫描镜7大角度扇扫时导致的高斯光焦点不在同一水平面的问题,还能够解决检测样品表面不平整引起的成像分辨率变差的问题,这使得扫描样品表面时,扫描区域外围的聚焦光斑大小与中心的聚焦光斑大小基本一致,从而保证整个扫描成像区域内的横向分辨率均为最佳分辨率。

[0056] 进一步的,所述长焦深透镜3要求能够把焦深扩展至0.5mm以上,这是为了解决扫描镜7大角度扇扫或者检测样品表面不平整时导致的高斯光焦点不在同一水平面,使得成像分辨率变差的问题。

[0057] 所述的聚焦透镜4拥有长焦距聚焦光束的功能,使激光在扫描区域平面内聚焦为极小的光点,实现高分辨率成像。所述的聚焦透镜4的焦距要求大于180mm,这是为了配合光声显微成像笔整体的尺寸,检测时需要将光焦点设置在样品检测面上,这样才能得到高分辨率的光声图像。

[0058] 所述的光焦点轴向调节器5的可调节范围要求大于10mm,这是因为在使用不同种类的超声耦合物质8-4时,光折射率不同会导致光焦点的轴向位置不一样,而检测时需要将光焦点调节到样品表面。

[0059] 进一步的,所述的光焦点轴向调节器5包括支撑外壳5-1、螺旋支柱5-2、透镜固定模块5-3和锁死模块5-4,其中支撑外壳5-1通过螺纹孔分别与光声显微成像笔外壳的反光镜模块1-1以及螺旋支柱5-2紧密连接;所述螺旋支柱5-2上有外螺纹,圆环状的透镜固定模块5-3和锁死模块5-4通过螺纹固定在螺旋支柱上,通过旋转透镜的固定模块5-3来实现光焦点的轴向调节,另外,在螺旋支柱5-2的末端留有螺纹孔,用于与光纤准直器2紧密连接。

[0060] 更进一步的,所述透镜固定模块5-3包括模块主体5-3-1、长焦深透镜压片5-3-2和聚焦透镜压片5-3-3,模块主体5-3-1中留有螺纹孔,尺寸与长焦深透镜3和聚焦透镜4直径相匹配,将长焦深透镜3和聚焦透镜4分别放入对应的螺纹孔中,然后通过旋转圆环状的长焦深透镜压片5-3-2和聚焦透镜压片5-3-3来分别压紧长焦深透镜3和聚焦透镜4。

[0061] 所述反光镜6的作用是使光声显微成像笔的外壳主体1-3、光焦点轴向调节器5和前/侧向超声耦合器8的中心轴平行,使得光声显微成像笔整体呈笔状,方便手持使用。所述的反光镜6拥有反射光束的功能,对所用波长的光的反射率大于90%,安装到与水平方向成45度的斜面上,使激光由竖直方向转为水平方向,激光再由微型扫描镜7反射恢复到竖直方向,使得光声显微成像笔整体呈笔状,方便手持使用。

[0062] 所述微型扫描镜7的整体尺寸小于 $30 \times 30 \times 30 \text{mm}^3$,如微机电扫描振镜,远小于目前常用的扫描振镜,大大减小光声显微成像笔的整体体积,使其便于手持。

[0063] 进一步的,如图3所示,所述的微型扫描镜7包括光滑的镀膜反光镜片7-1、带动镜片偏转的芯片7-2和第一信号线7-3,上电后,镀膜反光镜片被锁死在初始位置,将镀膜反光镜片与水平方向成45度角设置,使经反光镜6反射后的水平方向的聚焦光经其反射后,竖直射入前/侧向超声耦合器8的光入射面;带动镜片偏转的芯片上有通孔,配合螺丝与光声显微成像笔外壳的微型扫描镜模块1-2上的螺纹孔,就可以将微型扫描镜7固定在外壳的微型扫描镜模块1-3上;微型扫描镜设置好后,通过螺丝压紧微型扫描镜,微型扫描镜控制模块通过信号线控制芯片带动镜片偏转,镜片的偏转角与控制电压的幅值成正比。

[0064] 所述前/侧向超声耦合器8整体呈类圆柱状,直径小于12mm,满足腹腔微创手术的

要求,使得光声显微术能够应用于人体腹腔内脏的检测。

[0065] 所述的前/侧向超声耦合器8包括超声耦合器的外壳8-1、透光密封板8-2、透光反声镜/透声反光镜8-3、超声耦合物质8-4和密封膜8-5,其中透光反声镜和透声反光镜并不同时安装使用,光声显微成像笔需要进行前向检测时,只使用透光反声镜,不使用透声反光镜,并用密封膜密封住侧向检测窗口;需要进行侧向检测时,只使用透声反光镜,不使用透光反声镜,并用密封膜密封住前向检测窗口。

[0066] 所述前/侧向超声耦合器的外壳8-1为类圆柱状,直径小于12mm,满足腹腔微创手术的要求,使得光声显微术能够应用于人体腹腔内脏的检测;从上方挖出一个圆槽,用于放置透光密封板8-2,然后在圆槽下方再挖一个45度角倾斜的斜槽,用于放置透光反声镜/透声反光镜8-3,超声耦合器的外壳侧面有一圆凸台,用于侧向检测时使用,凸台表面为侧向检测面,在圆凸台的轴向上挖了一个圆通槽,一部分用于放置圆柱状的超声换能器,剩下的空间用于在侧向检测时通过激光,另外,外壳上方有外螺纹,用于与光声显微成像笔外壳主体1-3连接,超声耦合器外壳的上下表面有一圆孔轴向互通,使得在进行前向检测时,光能够从超声耦合器的上表面垂直入射,下表面垂直出射,下表面即为前向检测时的光声显微成像笔的检测窗口。

[0067] 进一步的,所述透光密封板8-2厚度小于0.5mm、透光率在92%以上且表面光滑,如薄玻璃片;所述的透光反声镜厚度小于0.2mm、透光率在92%以上且表面光滑,如薄玻璃片;所述的透声反光镜的厚度小于0.6mm,光反射率在99%以上,如镀有反光膜的聚苯乙烯(PS)材料薄板;所述的超声耦合物质8-4透明无色,透光率在88%以上,如水;所述的密封膜8-5厚度小于0.05mm、透光率在92%以上,表面光滑且延展性好,用于将耦合物质密封在超声耦合器内部,以上提到的透光率、光反射率均对应所用波长的光。

[0068] 进一步的,光从前/侧向超声耦合器的上方入射,下方或侧方出射,光入射面为水平设置,前向检测面为水平设置,侧向检测面为竖直设置,保证光垂直于光入射面入射、垂直于检测面出射,避免了光束在传播过程中由于光的折射偏离轴心。

[0069] 所述超声换能器9设置在前/侧向超声耦合器的外壳8-1上。如图4(a)、图4(b)所示,所述的超声换能器9包括匹配层9-1、压电材料9-2、背衬块9-3、超声换能器外壳9-4和第二信号线9-5,所述超声换能器外壳为圆柱形,尺寸匹配超声耦合器下部水平方向的圆槽;所述匹配层的作用是进行声阻抗匹配,提高声能的传输效率,使超声波更多的传递到压电材料上,同时也有一定的保护压电材料的作用;所述压电材料的作用是将超声波转换为电信号;所述背衬块的作用是消除后向干扰,减小压电材料的震荡时间,实现窄脉冲,提高纵向分辨力;将超声换能器接收/发射超声的一端对准透光反声镜/透声反光镜,前向检测时,声场通过透光反声镜反射后与超声耦合器的上部同轴;侧向检测时,声场则直接穿过透声反光镜。将超声换能器接收/发射超声的一端与超声耦合器中的超声耦合物质紧密连接,所述的超声换能器为非聚焦或微聚焦超声换能器,超声换能器得到的电信号经信号线传到计算机处理系统。

[0070] 本实施例中,应用上述光声显微成像笔的成像方法,步骤如下:

[0071] (1) 样品待测表面涂少许超声耦合液,紧贴于所述光声显微成像笔的检测窗口;

[0072] (2) 微型扫描镜7上电,激光发射模块出射激光;

[0073] (3) 根据A扫信号的大小,旋转光焦点轴向调节器5的透镜固定模块5-3,以调整光

焦点与检测平面的相对位置,使光焦点刚好位于样品表面处,实现高分辨率成像;

[0074] (4) 计算机处理系统同时给微型扫描镜控制模块和信号采集模块同步触发信号,以进行聚焦光在声场对应区域内的高速二维扫描和光声信号的同步采集、存储;

[0075] (5) 计算机处理系统利用GPU将采集到的光声信号,通过二维扫描点对点投影和时间反推深度,快速重建出反映样品不同结构对激光不同吸收情况的三维光声图像,极大地缩短了时间成本,能够应用于各种复杂的检测环境中。

[0076] 图5是利用实施例所述光声显微成像笔和成像方法得到的光声成像结果。使用的激光波长为532nm,成像样品为大鼠耳朵上的微血管。从所成图像可以看出,所述光声显微成像笔和成像方法能够得到清晰的大鼠耳朵上的微血管的高分辨率光声图像。

[0077] 上述实施例为本发明较佳的实施方式,但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制,其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化,均应为等效的置换方式,都包含在本发明的保护范围之内。

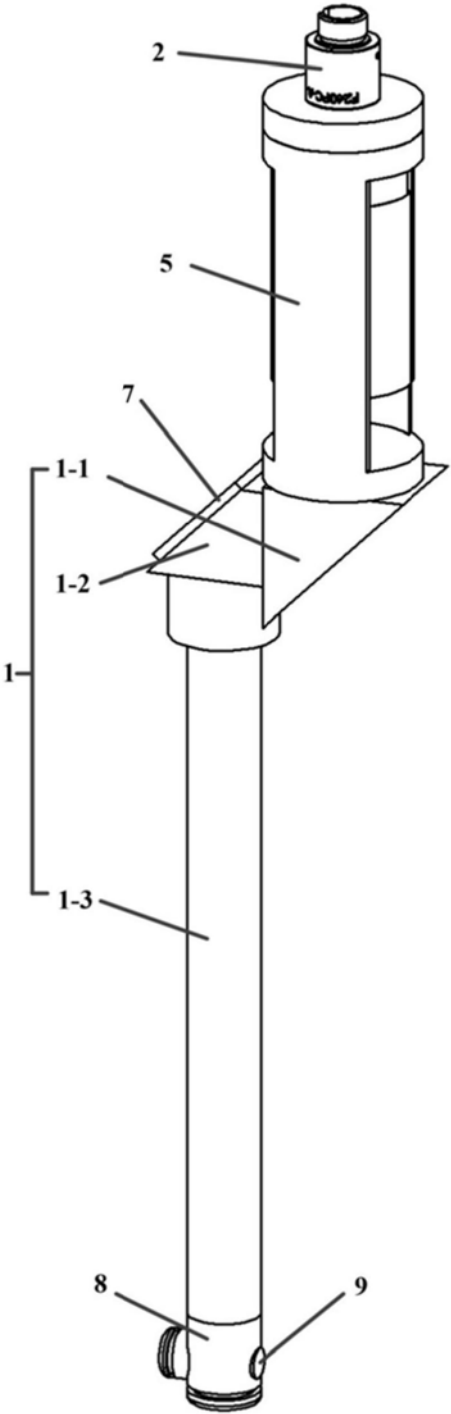


图1

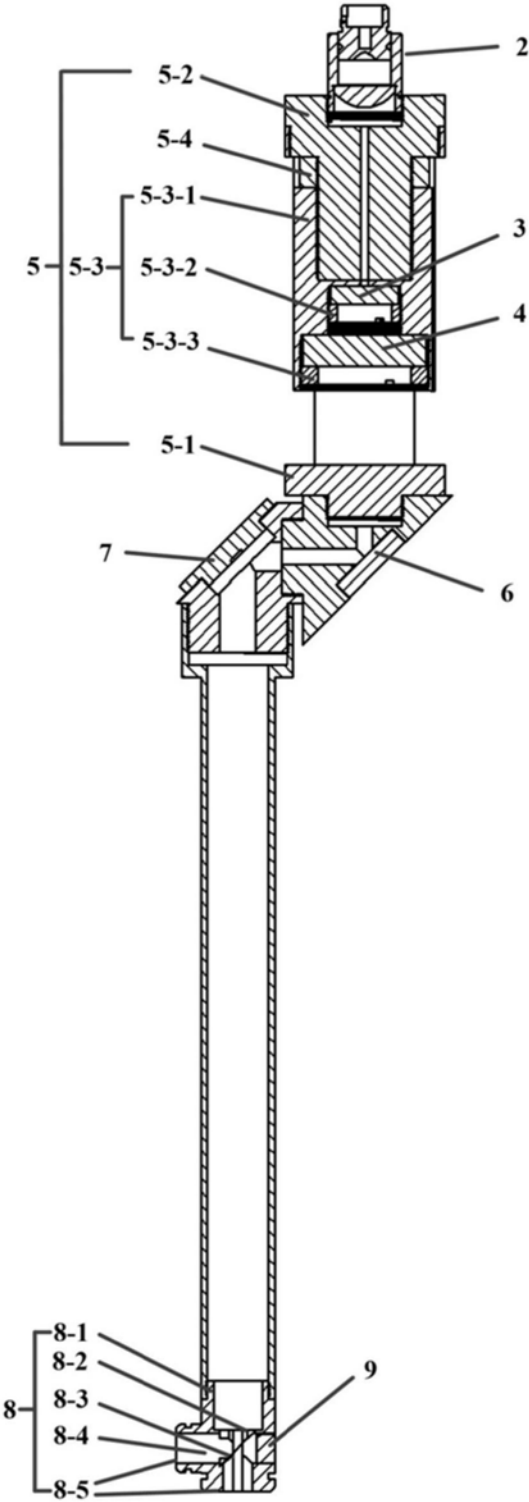


图2

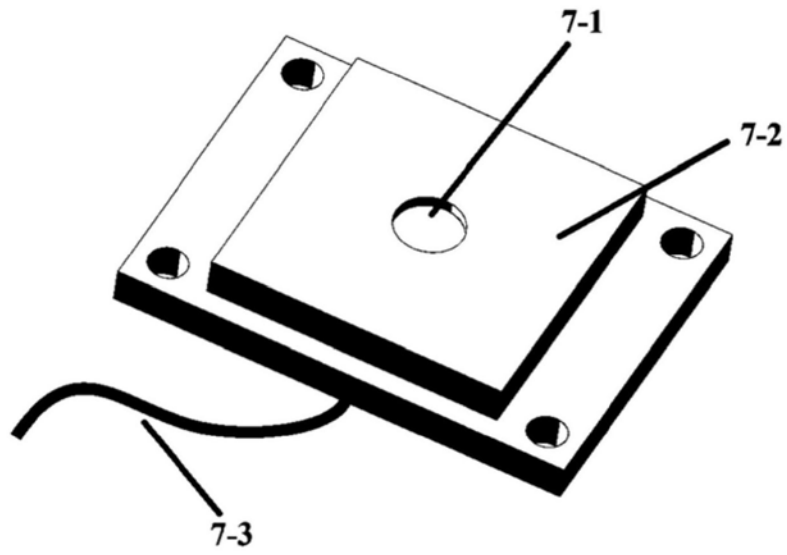


图3

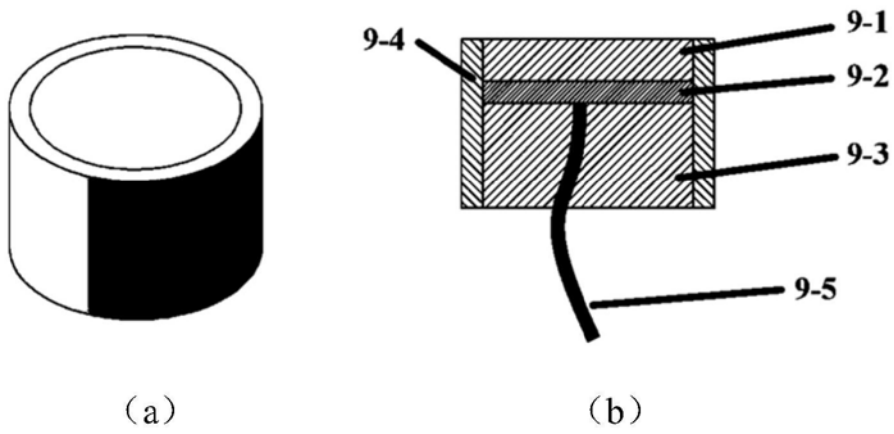


图4

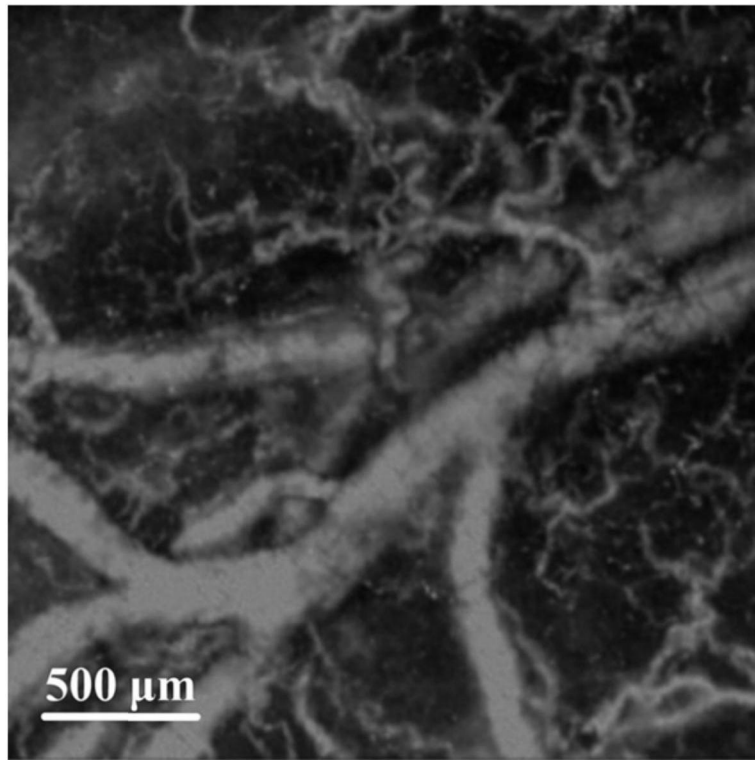


图5

专利名称(译)	一种光声显微成像笔及成像方法		
公开(公告)号	CN111134591A	公开(公告)日	2020-05-12
申请号	CN201911376532.4	申请日	2019-12-27
[标]申请(专利权)人(译)	华南师范大学		
申请(专利权)人(译)	华南师范大学		
当前申请(专利权)人(译)	华南师范大学		
[标]发明人	杨思华 张吴昱 马海钢 邢达		
发明人	杨思华 张吴昱 马海钢 邢达		
IPC分类号	A61B1/00 A61B5/00		
代理人(译)	李斌		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明公开了一种光声显微成像笔及成像方法，成像笔包括外壳、光纤准直器、长焦深透镜、聚焦透镜、光焦点轴向调节器、反光镜、微型扫描镜、前/侧向超声耦合器以及超声换能器，从光纤出射的激光经光纤准直器准直后，依次射入长焦深透镜、聚焦透镜，然后依次由反光镜、微型扫描镜反射，经过前/侧向超声耦合器到达样品。本发明优势在于将光声显微成像仪器做成了笔式结构，体积轻便，可以手持，并且既可以进行前向检测，也可以进行侧向检测，使得能够检测口腔、咽喉、宫颈、腹腔内脏等区域，大大扩展了光声显微仪器的应用范围；另外，通过微型扫描镜的高速扫描实现了快速的三维图像重建，极大地缩短了时间成本，能够应用于各种复杂的检测环境中。

