



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 115316940 B

(45) 授权公告日 2025. 10. 03

(21) 申请号 202110756156.2

(22) 申请日 2021.07.05

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 115316940 A

(43) 申请公布日 2022.11.11

(30) 优先权数据
17/302,703 2021.05.11 US

(73) 专利权人 香港理工大学
地址 中国香港九龙

(72) 发明人 林国豪 林日强 施东良

(74) 专利代理机构 北京世峰知识产权代理有限公司 11713
专利代理师 卓霖 张春媛

(51) Int. Cl.

A61B 5/00 (2006.01)

A61B 8/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 108703744 A, 2018.10.26

审查员 孙伟

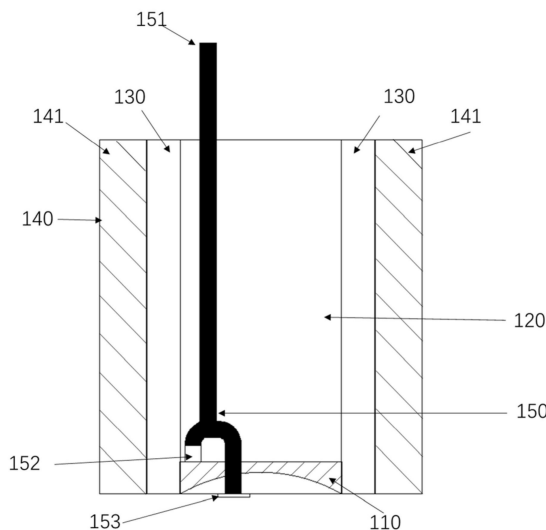
权利要求书2页 说明书7页 附图7页

(54) 发明名称

利用光束成形的透明超声换能器及其组装方法

(57) 摘要

提供了一种用于在目标物上进行多模式光学成像的透明超声换能器装置。该装置包括透明压电换能器、一根或多根导线以及光学透镜。具有第一声阻抗的透明压电换能器被配置为接收来自目标物的声波。透明压电换能器具有第一表面和第二表面。第一表面和第二表面涂覆有透明导电涂层。光学透镜与透明压电换能器的第一表面接触并光学耦合到该第一表面。光学透镜由具有第二声阻抗的材料制成，并且第一声阻抗和第二声阻抗基本上是相似的，以最小化声阻抗失配，从而提高装置的灵敏度。



1. 一种用于在目标物上进行多模式光学成像的透明超声换能器装置,该装置包括:

具有第一声阻抗的透明压电换能器,该透明压电换能器被配置为接收来自所述目标物的声波,其中,所述透明压电换能器包括第一表面和第二表面,并且其中,所述第一表面和所述第二表面涂覆有透明导电涂层;

将所述第一表面和所述第二表面连接到外部连接器的一根或多根导线,其中,所述第一表面是平坦表面,所述第二表面是具有基于焦距确定的曲率半径的凹入表面;和

光学透镜,该光学透镜与所述透明压电换能器的所述第一表面直接接触并且光学耦合到所述透明压电换能器的所述第一表面,所述光学透镜用作用于提高所述透明压电换能器的信噪比的背衬层,并且被配置为用于将光束传输到所述目标物,

其中:

所述光学透镜由具有第二声阻抗的材料制成;并且

所述第一声阻抗和所述第二声阻抗基本上是相似的,以最小化声阻抗失配,从而提高所述装置的灵敏度。

2. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述光学透镜是梯度折射率GRIN透镜。

3. 根据权利要求2所述的装置,其中,所述GRIN透镜被设计用于通过改变折射率而将所述光束成形为聚焦光束、准直光束或发散光束。

4. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述材料是透明光学材料。

5. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述材料是石英、二氧化硅或玻璃。

6. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述光学透镜被粘合地附接到所述透明压电换能器的所述第一表面。

7. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述透明导电涂层由氧化铟锡(ITO)、氧化锡、氧化铟、氧化锌或其任何组合制成。

8. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述透明压电换能器由铌酸锂(LNO)、聚偏二氟乙烯(PVDF)、铌酸铅镁-钛酸铅(PMN-PT)、透明聚合物、和透明陶瓷中的一种制成。

9. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述凹入表面用于聚焦来自所述目标物的声波并从所述透明超声换能器装置发射声波。

10. 根据权利要求1所述的装置,还包括透明壳体,所述透明壳体布置成容纳通过使所述光学透镜与所述透明压电换能器的所述第一表面接触而形成的换能器单元,其中,所述透明壳体由玻璃或丙烯酸制成。

11. 根据权利要求10所述的装置,还包括聚对二甲苯膜,该聚对二甲苯膜作为覆盖所述透明壳体的最外层被涂覆。

12. 根据权利要求10所述的装置,还包括透明环氧树脂,所述透明环氧树脂填充所述透明壳体与所述换能器单元之间的间隙。

13. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述光学透镜是聚焦透镜、准直透镜或发散透镜。

14. 一种用于组装透明超声换能器装置的方法,所述透明超声换能器装置用于在目标物上进行多模式光学成像,该透明超声换能器装置包括具有第一表面和第二表面的透明压电换能器以及光学透镜,其中,所述第一表面是平坦表面,该方法包括以下步骤:

加工压电基片以形成具有凹入表面的第二表面,其中,抛光所述压电基片以获得具有

基于焦距确定的曲率半径的所述凹入表面；

利用透明导电涂层涂覆所述第一表面和所述第二表面；

使所述光学透镜与所述透明压电换能器的所述第一表面直接接触并且光学耦合到所述透明压电换能器的所述第一表面以获得换能器单元,所述光学透镜用作用于提高所述透明压电换能器的信噪比的背衬层;和

将一根或多根导线从所述第一表面和所述第二表面连接到外部连接器。

15. 根据权利要求14所述的方法,还包括以下步骤:

将所述换能器单元组装到透明壳体中;和

利用透明环氧树脂填充所述透明壳体和所述换能器单元之间的间隙。

16. 根据权利要求15所述的方法,还包括利用聚对二甲苯膜作为最外层涂覆所述透明壳体的步骤。

17. 根据权利要求15所述的方法,其中,利用所述透明环氧树脂填充所述间隙的步骤包括从所述透明环氧树脂中抽出气体的步骤。

18. 根据权利要求14所述的方法,其中,使所述光学透镜与所述透明压电换能器的所述第一表面直接接触的步骤包括将所述光学透镜粘合地附接到所述透明压电换能器的所述第一表面的步骤。

19. 根据权利要求14所述的方法,其中,所述凹入表面用于聚焦来自所述目标物的声波,并从所述透明超声换能器装置发射所述声波。

20. 根据权利要求14所述的方法,其中,使用导电胶将所述一根或多根导线连接到所述第一表面和所述第二表面。

利用光束成形的透明超声换能器及其组装方法

技术领域

[0001] 本公开总体上涉及成像和生物学成像的技术领域,并且特别地涉及一种能够对用于多模式光学成像的多模式成像系统的光束进行成形的TUST装置。

背景技术

[0002] 在生物学成像的领域中,PAM是一种基于光声效应的成像方法,该成像方法将光学照明和声学检测相结合以实现较大深度下的高分辨率图像。为了进行PAM,产生激发光束并将激发光束聚焦在身体组织上。由于光吸收分子的瞬时热弹性膨胀,因此所吸收的光能被转换为声波。因此,声波由压电换能器传递和检测。在光源和超声接收器必须位于身体组织的同一侧的情况下,光束和声波在同一成像系统中的集成可能面临挑战,并且既需要光学部件也需要声学部件。然而,通常使用的超声换能器是由不透光材料制成的,并且可能会完全阻挡光的传输。另一方面,光学部件具有比空气更高的声阻抗,这可能会反射或散射声信号并降低信号幅度。

[0003] 为了解决这个问题,提出了通过使用棱镜或反射镜围绕超声换能器弯曲光束[6]或者通过中空或环形换能器的开口[5]将光传送到身体组织。然而,结构和光束几何形状的复杂性可能具有挑战性,而使得设计可行性较差并且不利于整体性能。

[0004] 还提出了一些TUST装置。Brodie等人于2014年推出了第一台TUST装置[1],其在图1A中示出。光学透明的TUST装置在LNO单晶的晶片上涂敷有ITO,用于超声粒子操纵。尽管在为了PAM目的使用光学透明的LNO中进行了早期的努力,但该提议不受明确定义的声学焦点的支持,并且TUST装置无法为PA信号提供最佳的检测条件。

[0005] Dangi等人在2019年推出了另一种用于低频(14.5MHz)应用的TUST装置[2],并申请为国际专利W0 2020167870 A1。在图1B中示出了具有铜壳体20并且与光纤10集成在一起的2.5mm×2.5mm的透明光声换能器30。通过利用透明的ITO电极涂覆LNO的顶表面和底表面来制造TUST装置。所得到的TUST装置在选定的波长范围内显示出>80%的光学透明性,并且反射的光声图像是通过光栅扫描形成的。TUST装置未聚焦,因此未聚焦的光束会导致低成像分辨率。

[0006] Ruimin等人开发了另一种用于高频(36.9MHz)应用的TUST装置[3],如图1C所示。该TUST装置使用LNO单晶和ITO电极,并且在可见到近红外光谱中实现了高达90%的光学透射率。特别地,该TUST装置包括聚对二甲苯薄膜、用于支承的绝缘且光学透明的环氧树脂以及具有ITO电极的透明LNO,它们安装在黄铜壳体上。

[0007] Fang等人提出了TUST装置的另一个示例[4],并且在图1D中示出该示例。在该论文中,描述了一种聚焦的TUST装置,该装置使用涂敷有ITO和金属电极的PVDF膜。该TUST装置的光学透射率为60%(532nm),具有光激发和声焦点更容易对准并且配置紧凑的优点。然而,由于其非常低的介电常数,因此难以制造具有小孔径(例如,<2mm)的TUST装置。

[0008] 随着基于光声效应的用于PAM的TUST装置的前述开发,提出的所有TUST结构并未固有地与任何光学元件组合。因此,需要TUST装置与光学成像系统结合,从而需要更多的空

间来将光学成像系统固定在其上。而且,在TUST装置上使用了不透光的金属壳体,这限制了TUST装置的某些应用,特别是在执行多模式成像中的应用。

[0009] 由于超声成像已被广泛使用,特别是在临床诊断中使用。超声成像可用于乳腺癌的检测、血管内动脉粥样硬化斑块的检测、胃肠道肿瘤的检测和阴道疾病的检测等。然而,使用单一成像模式获得的诊断信息是有限的。近年来,已经研制出越来越多的多模式成像系统,以期希望为临床诊断提供更全面的信息。由于不透光的超声换能器,因此常规装置通常非常复杂。

[0010] 因此,在本领域中需要一种TUST装置,该TUST装置试图解决PAM中遇到的至少一些上述问题和局限性。此外,结合附图和本公开的背景,根据随后的详细描述和所附权利要求,其他期望的特征和特性将变得显而易见。

发明内容

[0011] 本文提供一种用于执行生物医学成像的TUST装置。本公开的目的是提供一种能够成形用于多模式成像系统的光束的完全透明的TUST装置。

[0012] TUST装置包括具有第一声阻抗的透明压电换能器、一根或多根导线以及光学透镜。透明压电换能器被配置为接收来自目标物的声波,其中透明压电换能器包括第一表面和第二表面。第一表面和第二表面涂覆有透明导电涂层。一根或多根导线将第一表面和第二表面连接到外部连接器。光学透镜与作为背衬材料的透明压电换能器的第一表面接触并光学耦合到透明压电换能器的第一表面,用于将光束传输到目标物。光学透镜由具有第二声阻抗的材料制成。第一声阻抗和第二声阻抗基本上是相似的,以最小化声阻抗失配,从而提高装置的灵敏度。

[0013] 在某些实施例中,光学透镜是GRIN透镜。GRIN透镜设计用于通过改变折射率以及节距长度,可将光束成形为聚焦光束、准直光束或发散光束。

[0014] 在某些实施例中,第二表面是具有基于焦距确定的曲率半径的凹入表面,该凹入表面用于聚焦来自目标物的声波并发射来自TUST装置的聚焦声波。

[0015] 在某些实施例中,TUST装置还包括透明壳体,该透明壳体被布置成容纳通过使光学透镜与透明压电换能器的第一表面接触而形成的换能器单元,其中该透明壳体由诸如玻璃或丙烯酸纤维的透明材料制成。

[0016] 在又一个实施例中,公开了一种用于在目标物上组装用于多模式光学成像的TUST装置的方法。该TUST装置包括具有第一表面和第二表面的透明压电换能器以及光学透镜。该方法包括以下步骤:(1)处理压电基片以形成具有凹入表面的第二表面;(2)利用透明导电涂层涂覆第一表面和第二表面;(3)使光学透镜与透明压电换能器接触以获得换能器单元;以及(4)将一根或多根导线从第一表面和第二表面连接到外部连接器。

[0017] 在某些实施例中,该方法还包括(5)将换能器单元组装到透明壳体中;以及(6)利用透明环氧树脂填充透明壳体和换能器单元之间的间隙。

[0018] 在某些实施例中,处理压电衬底以形成具有凹入表面的第二表面的步骤还包括抛光压电衬底以获得具有基于焦距确定的曲率半径的凹入表面,该凹入表面用于聚焦来自目标物的声波并发射来自TUST装置的聚焦声波。

[0019] 提供本发明内容以简化形式引入一些概念,这些概念将在下面的详细描述中进一

步描述。本发明内容既不旨在标识所要求保护的的主题的关键特征或基本特征,也不旨在用于帮助确定所要求保护的的主题的范围。如下文的实施例所示,公开了本发明的其他方面和优点。

附图说明

[0020] 附图包含用于进一步说明和阐述本公开的以上和其他方面、优点和特征的图。将理解的是,这些附图仅描绘了本公开的某些实施例,而不旨在限制其范围。还应当理解的是,这些附图是为了简化和清楚而示出的,并且不一定按比例绘制。现在将通过使用附图以附加的特性和细节来描述和解释本公开,在附图中:

- [0021] 图1A是根据Brodie等人的公开内容的TUST装置[1]的照片;
- [0022] 图1B是根据Dangi等人的公开内容的基于LN0的TUST装置[2]的照片;
- [0023] 图1C是根据Chen等人的公开内容的高频TUST装置[3]的照片;
- [0024] 图1D是根据Fang等人的公开内容的使用PVDF膜的聚焦的TUST装置[4]的照片;
- [0025] 图2描绘了根据本公开的实施例的TUST装置的透视图;
- [0026] 图3A描绘了根据本公开的实施例的用于制备透明压电换能器的第一步骤;
- [0027] 图3B描绘了根据本公开的实施例的用于制备透明压电换能器的第二步骤;
- [0028] 图3C描绘了根据本公开的实施例的用于制备透明压电换能器的第三步骤;
- [0029] 图4A描绘了根据本公开的实施例的用于制造图2的TUST装置的第一步骤;
- [0030] 图4B描绘了根据本公开的实施例的用于制造图2的TUST装置的第二步骤;
- [0031] 图4C描绘了根据本公开的实施例的用于制造图2的TUST装置的第三步骤;
- [0032] 图4D描绘了根据本公开的实施例的用于制造图2的TUST装置的第四步骤;
- [0033] 图5A描绘了根据本公开的实施例的用于聚焦光束的图2的TUST装置的操作;
- [0034] 图5B描绘了根据本公开的实施例的用于准直光束的图2的TUST装置的操作;以及
- [0035] 图5C描绘了根据本公开的实施例的用于发散光束的图2的TUST装置的操作。

具体实施方式

[0036] 以下详细描述本质上仅是示例性的,并不旨在限制本公开或其应用和/或用途。应当理解,存在大量的变化。详细的描述将使本领域普通技术人员能够在没有过度实验的情况下实现本公开的示例性实施例,并且应当理解,在不脱离如所附权利要求书中阐述的本公开的范围的情况下,可以在示例性实施例中描述的功能和结构上进行各种改变或修改。

[0037] 益处、优点、问题的解决方案以及可能导致任何益处、优点或解决方案出现或变得更加明显的任何要素均不应被解释为任何或所有权利要求的关键的、必需的或基本的特征或要素。本发明仅由所附权利要求书来限定,包括在本申请待决期间所作的任何修改以及如所发表的那些权利要求的所有等同形式。

[0038] 如本文所用的,术语“光束”是指任何电磁辐射束,包括但不限于可见光、紫外线、红外线和微波。光束可以由诸如激光器(单波长激光器或多波长激光器)、激光二极管、LED或微波发生器之类的光源产生。在某些实施例中,可以通过光纤来提供光源。可以使用两种或更多种类型的光源的组合。光源可以发射具有预定波长范围的光束。例如,光束的波长可以在400nm至2000nm之间变化。在另一个示例中,光束的波长可以在400nm至700nm之间变

化。

[0039] 为了便于描述,在本文中使用的诸如“内部”、“外部”、“最外部”、“顶部”、“底部”及其变体之类的术语,以便于解释元件的定位或一个元件相对于另一元件的定位,并且不旨在限制于特定的取向或位置。垂直轴线V由重力限定,如图2所示,从TUST装置100的底部向TUST装置100的顶部延伸。本文中的诸如“第一”、“第二”及其变体之类的术语用于描述各种元件、区域、部分等,并且并非旨在进行限制。

[0040] 诸如“连接”、“附接”、“耦合”及其变体之类的术语被广泛使用,并且涵盖直接和间接的连接、附接和安装;并且不限于电气、物理、光学或机械连接、附接或安装。

[0041] 本公开总体上涉及成像和生物医学成像的技术领域。更具体地但非限制性地,本公开涉及一种能够对用于多模式成像系统的光束进行成形以提供多模式光学成像的TUST装置100。在某些实施例中,多模式光学成像包括光声成像和OCT成像。显然,在不脱离本公开的范围和精神的情况下,本公开可以应用于其他组合的光声成像。参照图2,TUST装置100可以被实现为光学透明且紧凑的装置,该装置包括透明压电换能器110、光学透镜120、透明环氧树脂130、透明壳体140和导线150。

[0042] TUST装置100被配置为在目标物上执行多模式光学成像、特别是光声成像,并且从其接收声波。在图5A至图5C中,目标物和声波被分别表示为300和230。目标物300可以是人体、人体器官、胎儿、人体内部的非有机物体、动物、动物器官、动物体内的非有机物体或者可以吸收光能并通过瞬态热弹性膨胀将光能转换为声波230的任何物体(活体或非活体)。TUST装置100用于执行PAM,其本质上以光束的形式提供激发信号的光学照明,并将光束聚焦到目标物上。激发信号被目标物300吸收,并通过目标物300中的吸光分子的瞬时热弹性膨胀转化为声波230,从而声波230被传回到TUST装置100,以由透明压电换能器110检测。

[0043] 透明压电换能器110布置成从目标物300接收呈由瞬态热弹性膨胀产生的声波230形式的光声响应。透明压电换能器110优选地由LNO制成,并且在某些实施例中,可以由诸如PVDF、PMN-PT、透明聚合物、透明陶瓷或单晶LNO之类的其他透明材料制成。对于单晶LNO,透明压电换能器110具有通常大约34.1MRayls的第一声阻抗。对于PMN-PT,第一声阻抗通常大约为30.85MRayls。对于PVDF,第一声阻抗大约为3.8MRayls。图3A至图3C示出了用于制备透明压电换能器110的步骤。

[0044] 为了制备透明压电换能器110,可以使用压电基片111,压电基片111也称为透明压电晶片。透明压电换能器110或压电基片111包括第一表面112和第二表面113。这在图3B中示出。第一表面是平坦表面,并且通常被称为透明压电换能器110的后侧。第二表面113具有凹入表面113B,并且通常被称为透明压电换能器110的前侧。显而易见的是,如本文中所使用的,术语“前”和“后”仅指代与目标物的相应接近度,并且不旨在限制于特定的取向或位置。

[0045] 第二表面113的凹入表面113B通常是光滑且连续的,其曲率半径是基于焦距确定的,该凹入表面用于聚焦来自目标物300的声波并发射来自TUST装置100的聚焦声波。在某些实施例中,凹入表面113B的周缘113A是光滑且平坦的。压电基片111在前侧被处理以形成具有凹入表面113B和周缘113A的第二表面113。相反,第一表面112总体上基本是光滑的。术语“光滑”是指表面基本上没有突起、凹陷等。实际上,由于压电基片111的易碎性质,很难制造第二表面113的凹入表面。本公开提供了一种通过抛光压电基片111来获得凹入表面113B

的方法。在不脱离本公开的范围和精神的情况下,抛光步骤也可以通过各种手段和方法来实现。获得的所得到的凹入表面可以聚焦在由曲率半径限定的位置上,以接收声波230。

[0046] 第一表面112和第二表面113可以涂覆有透明导电涂层114,以获得透明压电换能器110,如图3C中概念性地示出的。优选地,透明导电涂层114由ITO制成。在一些其他情况下,也可以使用氧化锡、氧化铟、氧化锌或其任何组合。在涂覆之后,第一表面112可以被认为是第一换能器电极,并且第二表面113可以被认为是第二换能器电极。也可以是其他材料构成其他透明电极。两个换能器电极在物理上和电气上是分开的。可选地,可以在两个换能器电极之间添加屏蔽导线,以防止形成任何短路路径。

[0047] 参照图4A至图4D,根据本公开示出了用于制造TUST装置100的步骤。光学透镜120被布置成沿着垂直轴线V与作为背衬材料的透明压电换能器110接触并光学耦合到透明压电换能器110以获得换能器单元105。在一个实施例中,通过将光学透镜120粘合地附接到透明压电换能器110的第一表面112来牢固地固定触点。光学透镜120用作换能器单元105的背衬层。在某些实施例中,光学透镜120是GRIN透镜,该GRIN透镜由具有第二声阻抗的材料制成。由于材料可以是石英、二氧化硅或玻璃,因此第二声阻抗通常大约为11至16MRayls。所述材料也可以是合适的透明光学材料。有利地,两种材料的第一声阻抗和第二声阻抗基本上是相似的,以最小化声阻抗失配,使得穿过光学透镜112到达透明压电换能器110的光具有更少的反射。因此,通过使用光学透镜120作为背衬材料,提高了装置100的灵敏度,并且透明压电换能器110的信噪比非常高。相比之下,常规地,将光学透明的环氧树脂用作背衬材料,其具有大约1至3MRayls的声阻抗。因此,透明环氧树脂具有较高的声阻抗失配,从而影响检测灵敏度。

[0048] 接下来,连接换能器单元105以使得能够测量从目标物300反射的声波230。在一个实施例中,透明压电换能器110捕获光声响应。如图4B中所示,使用导电胶将一根或多根导线150连接到第一表面112和第二表面113。应当适当地控制导电胶的量,以避免第一表面112和第二表面113之间的短路。第一表面112和第二表面113分别经由第一端子152和第二端子153连接到在远端151处的外部连接器(未示出)。在一个实施例中,第一端子152是电连接到第一表面112的正端子,并且第二端子153是电连接到第二表面113的负端子。一根或多根导线150可以是例如纳米银导线、同轴导线、绝缘导线、双绞导线等。外部连接器允许电连接到多模式光学成像系统,以分析声学响应。

[0049] 参照图4C和图4D,换能器单元105被组装在透明壳体140内。透明壳体140由玻璃或丙烯酸或其他透明材料制成。透明壳体140具有比换能器单元105更大的直径,换能器单元105被布置为用作换能器单元105的外部保护层。优选地,TUST装置100还包括聚对二甲苯膜141,该聚对二甲苯膜141作为覆盖透明壳体140的最外层被涂覆。聚对二甲苯膜141是TUST装置100的匹配层和防水层。在一个实施例中,TUST装置100还包括透明环氧树脂130,该透明环氧树脂130填充透明壳体140和换能器单元105的内部结构之间的间隙。透明环氧树脂130也是透明的,并且为换能器单元105提供额外的支撑和保护。在将透明环氧树脂130施加在换能器单元105上期间,应当从透明环氧树脂130中抽出气体以确保间隙中的真空,用于促进固化均匀的透明环氧树脂130。

[0050] 本公开的另一方面提供了光学透镜120的用途,用于修改从TUST装置100发射出的光束220的图案,这在图5A至图5C中示出。光源210被配置为产生光束220以向目标物300提

供光照明和激发。在某些实施例中,光源210可以包括从输入端接收光并从输出端发射光的光纤。在一些其他实施例中,光源210可以包括一个或多个LED或本领域中已知的其他光源。本公开的TUST装置100是基本上透明的(除了一根或多根导线150之外),其允许在限定的波长范围内的光的至少90%或近似100%通过。这使得TUST装置100能够用于各种光学成像应用。

[0051] 光学透镜120被配置为通过聚焦、准直或发散光束220来使光束220成形,这使得能够进行多模式成像。在一个实施例中,光学透镜120可以包括选自由一个或多个反射镜、透镜、准直仪、棱镜、发散元件和衍射元件组成的组的一个或多个光学元件。因此,通过适当地布置光学元件,可以将光学透镜120定制为聚焦透镜120A、准直透镜120B或发散透镜120C。在另一个实施例中,光学透镜120可以是GRIN透镜。由于GRIN透镜通过改变透镜主体121内的折射率和透镜主体121的长度来影响光路,因此可以将GRIN透镜设计为将光束成形为聚焦光束、准直光束或发散光束。

[0052] 在某些实施例中,光学透镜120被定制为聚焦透镜120A,如图5A中所示。入射光束220被一个或多个光学元件折射成透镜主体121内部的聚焦光束,以因此将光束220聚焦到预定焦点上。

[0053] 在另一个实施例中,光学透镜120被定制为准直透镜120B,如图5B中所示。入射光束220被一个或多个光学元件折射为透镜主体121内部的准直光束,以准直光束220并朝着目标物300发射出。

[0054] 在又一个实施例中,如图5C中所示,光学透镜120被定制为发散透镜120C。入射光束220被一个或多个光学元件折射成透镜主体121内部的发散光束,以使光束220发散并朝着目标物300发射出。

[0055] 如图所示,TUST装置100使用光学透镜120作为背衬层,其提供比现有技术中常规使用的透明环氧树脂更高的声阻抗。该设计简单,而无需将光和声信号组合在一起的复杂和笨重的配置。整个装置(一根或多根导线150除外)几乎是透明的,这使光束220以不同的方式通过,从而能够实现多模式成像。透明的性质还使得TUST装置100能够与多种不同的光学成像模式结合,不同的光学成像模式包括白光成像、光声成像、光学相干断层扫描、荧光成像和其他成像模式。

[0056] 上面描述的TUST装置100易于制造并且与最常用的超声装置和照明装置兼容,以实现高灵敏度的多模式光学成像。TUST装置100可以是可扩展的以适合各种应用,并且可以具有不同的大小和尺寸。在某些实施例中,TUST装置100可以被安装到不同的测试设备、便携式装置、平板电脑或其他测量系统。

[0057] 这示出了根据本公开的TUST装置100,该TUST装置100能够成形用于多模式成像系统的光束220以提供多模式光学成像。显而易见的是,以上公开的其他特征和功能的变型或其替代物可以组合到许多其他装置中。因此,本实施例在所有方面都应被认为是说明性的而不是限制性的。本公开的范围由所附权利要求而不是由先前的说明书指示,并且因此旨在将落入权利要求的等同含义和范围内的所有改变包括在其中。

[0058] 参考文献列表

[0059] 以下是说明书中偶尔引用的参考文献的列表。这些参考文献的每一个公开内容通过引用整体并入本文。

- [0060] [1]Graham W.J.Brodie等人的“用于超声粒子操纵的光学透明压电换能器”,关于超声、铁电和频率控制的IEEE会刊,第61卷,第3号,2014年3月。
- [0061] [2]Ajay Dangi等人的“用于光声成像的基于铌酸锂的透明超声换能器”美国光学学会,光学快报,第44卷,第21号,2019年11月1日。
- [0062] [3]Ruimin Chen等人的“用于光声显微镜应用的透明高频超声换能器”,关于超声、铁电和频率控制的IEEE会刊,第67卷,第9号,2020年9月。
- [0063] [4]Cheng Fang等人的“用于光声显微镜的聚焦光学透明PVDF换能器”,IEEE传感器杂志,第20卷,第5号,2020年3月1日。
- [0064] [5]T.Wang等人的“具有300kHz A线速率的小鼠大脑的多参数光声显微镜”神经光子学,第3卷,第4号,2016,文章号045006。
- [0065] [6]Hu,S.等人的“具有改进的灵敏度和速度的第二代光学分辨率光声显微镜”,光学快报,第36卷,第7号,2011年4月1日,第1134至1136页。
- [0066] 缩略语列表
- [0067] GRIN 梯度指数
- [0068] ITO 铟锡氧化物
- [0069] LED 发光二极管
- [0070] LNO 铌酸锂 (LiNbO_3)
- [0071] OCT 光学相干断层扫描
- [0072] PA 信号光声信号
- [0073] PAM 光声显微镜
- [0074] PMN-PT 铌酸镁铅/钛酸铅
- [0075] PVDF 聚偏二氟乙烯
- [0076] TUST 透明超声换能器。



图1A(现有技术)

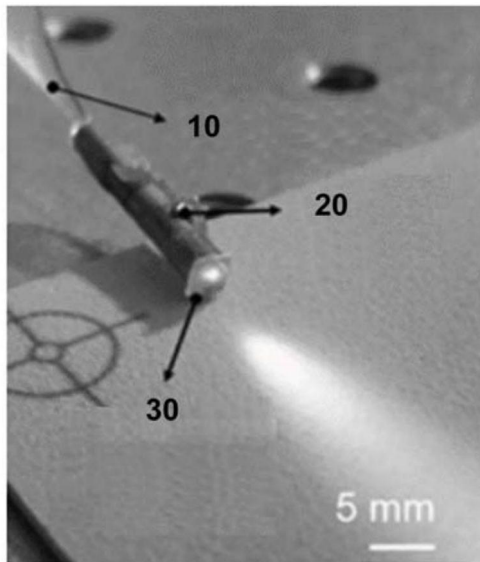


图1B(现有技术)

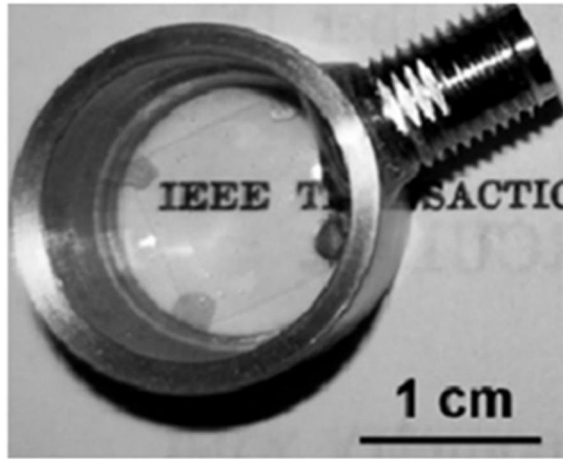


图1C(现有技术)

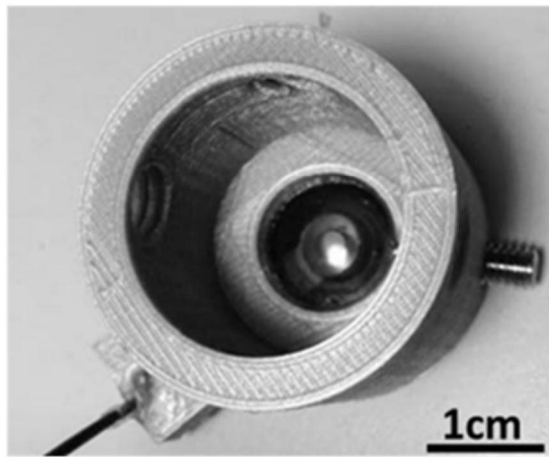


图1D(现有技术)

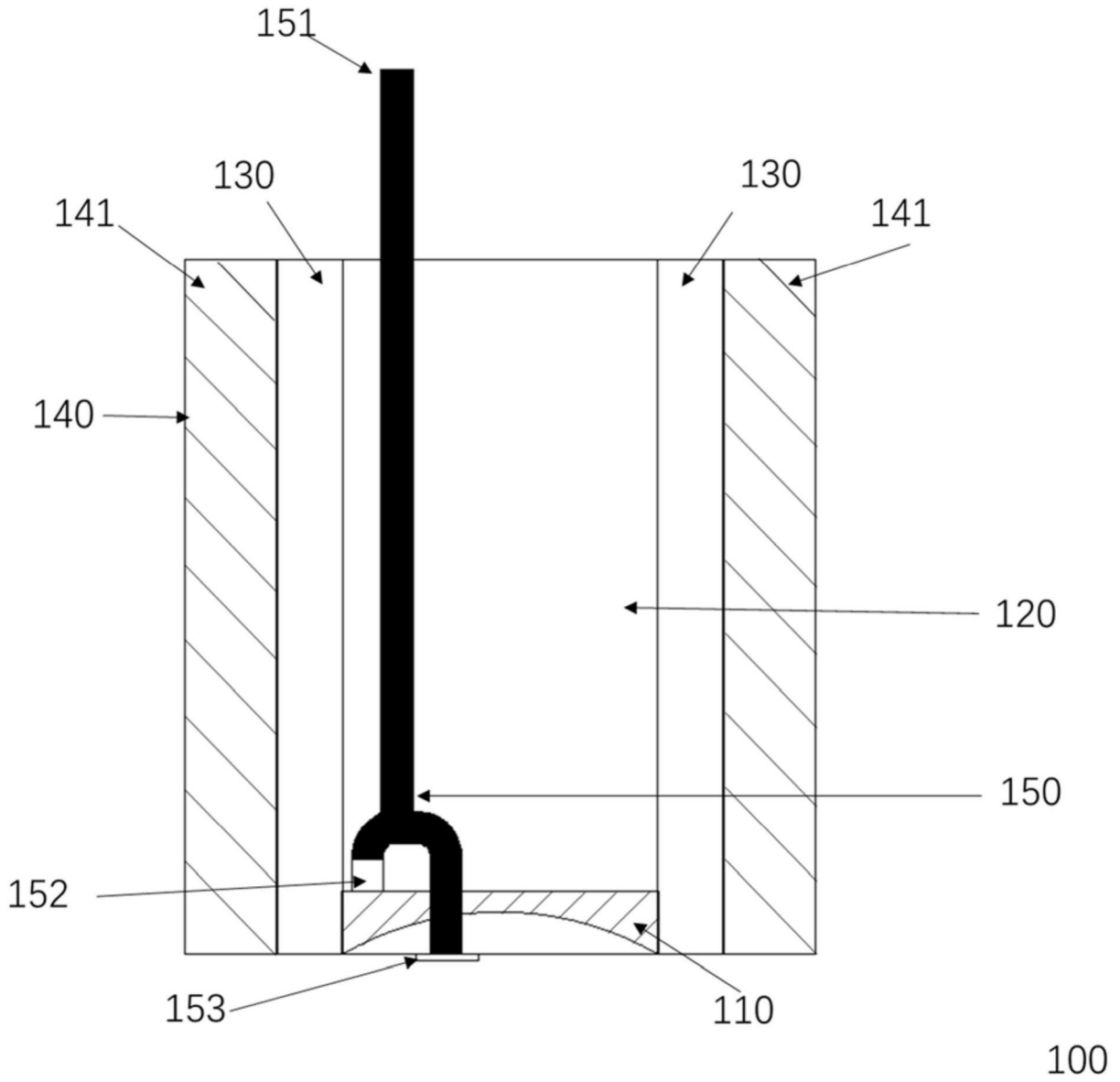


图2



图3A

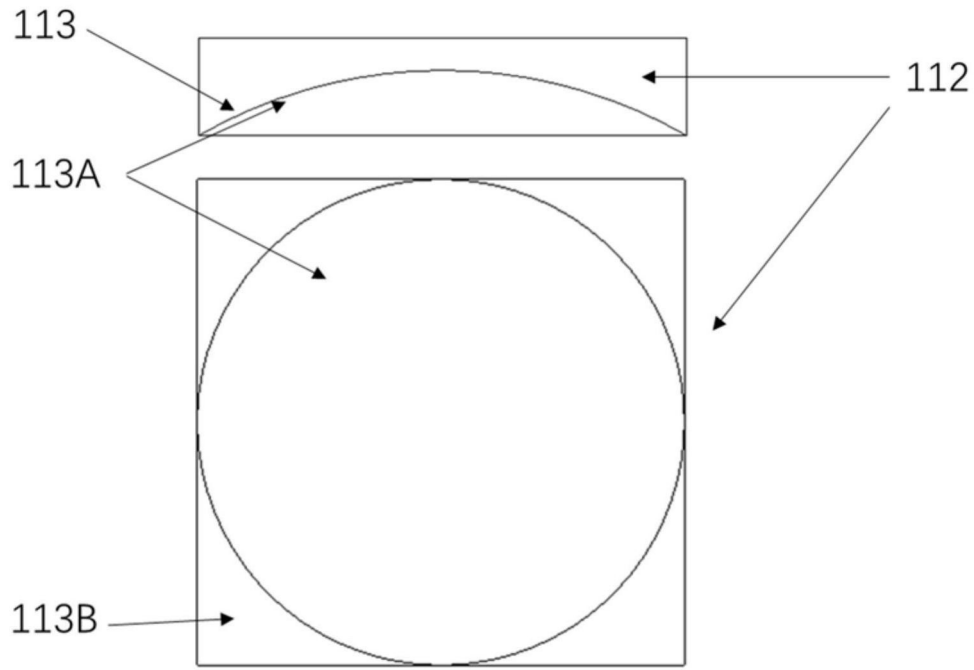


图3B

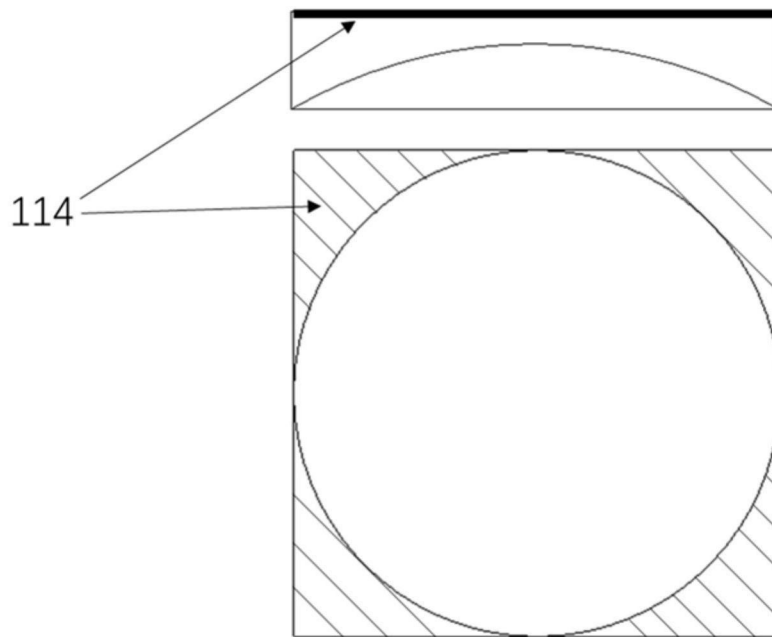


图3C

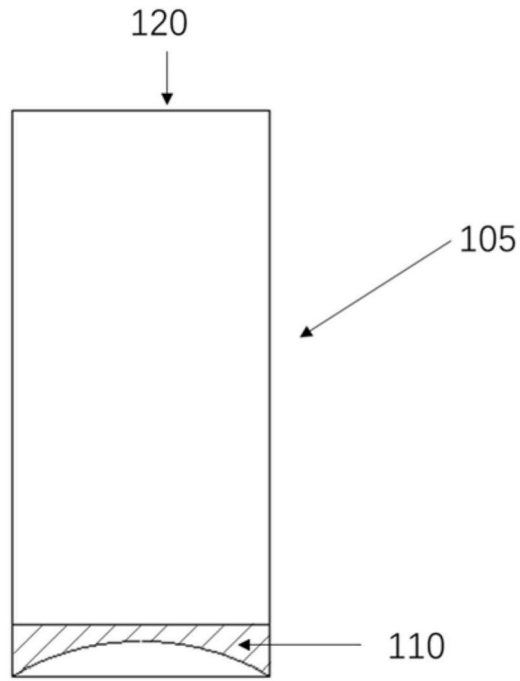


图4A

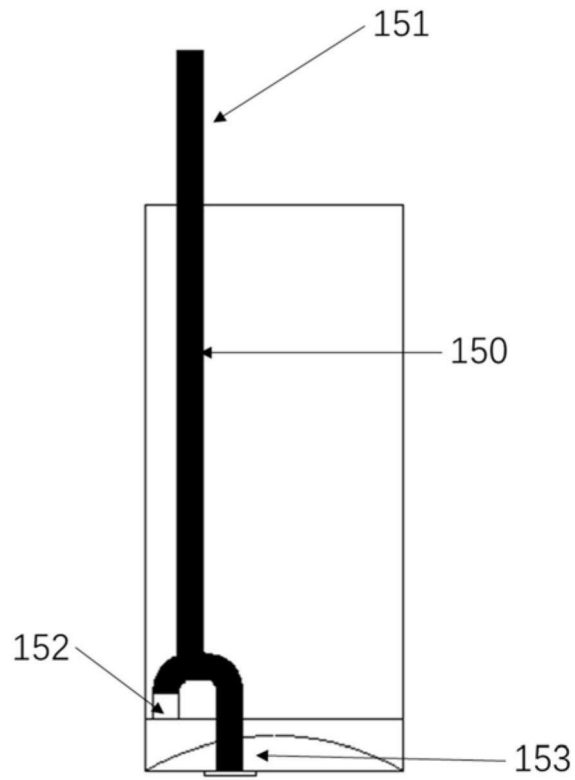


图4B

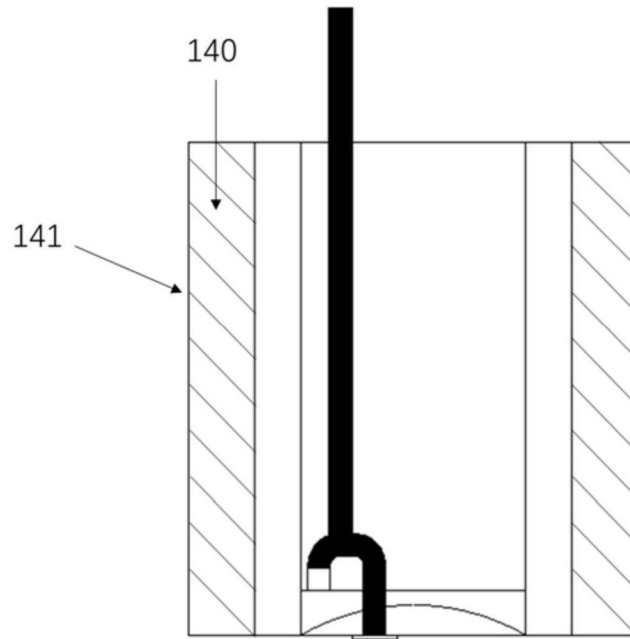


图4C

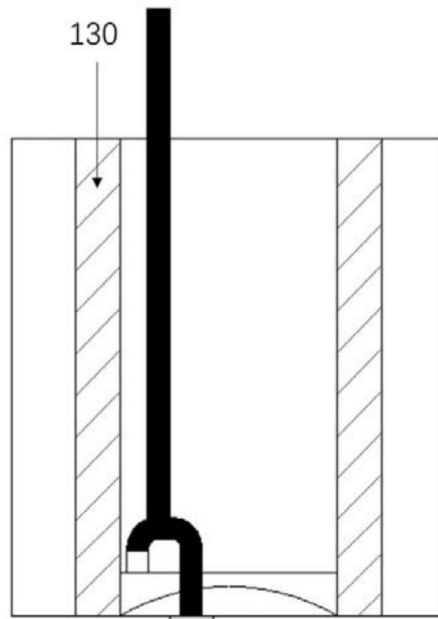


图4D

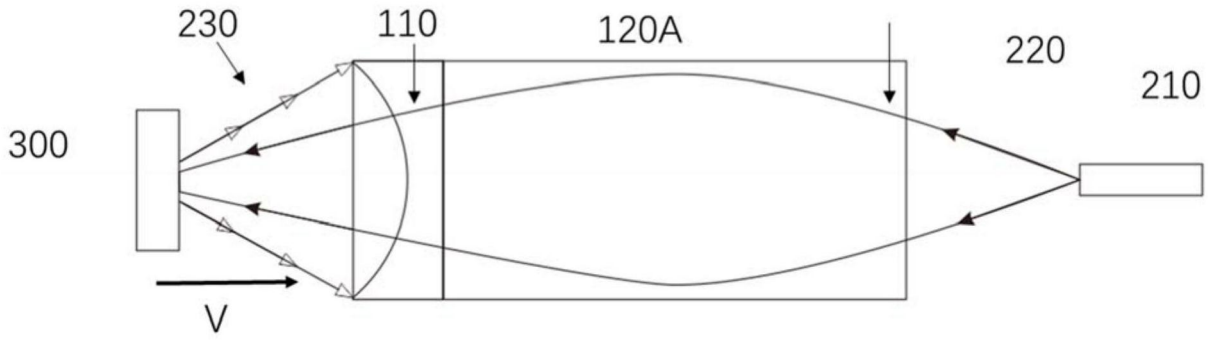


图5A

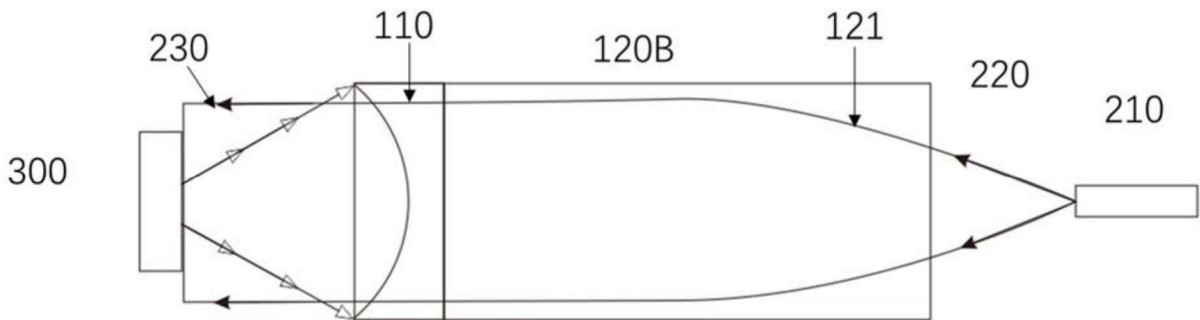


图5B

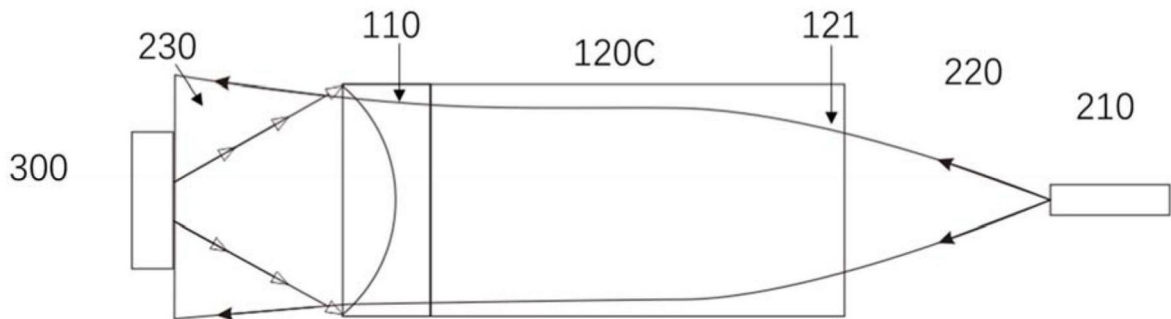


图5C