



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107669270 A

(43)申请公布日 2018.02.09

(21)申请号 201710739708.2

(22)申请日 2017.08.25

(71)申请人 中国科学院电工研究所

地址 100190 北京市海淀区中关村北二条6号

(72)发明人 夏慧 刘国强 夏正武 李艳红
李士强 李晓南

(74)专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责
任公司 11251

代理人 关玲

(51)Int.Cl.

A61B 5/05(2006.01)

A61B 5/053(2006.01)

A61B 5/00(2006.01)

A61B 8/08(2006.01)

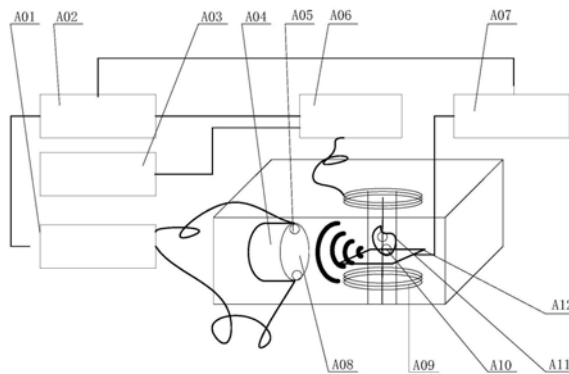
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种电磁聚焦超声激励的磁声电成像方法与装置

(57)摘要

一种电磁聚焦超声激励的磁声电成像方法与装置,电磁激励源通过电极发射激励信号作用到超声增强介质上,在超声增强介质上产生聚焦超声,聚焦超声作用到目标成像体,在外加静磁场的作用下目标成像体作用区域内产生正负电荷分离,在目标成像体内形成局部电场源。通过检测线圈或检测电极接收电信号后,利用重建算法重建目标成像体的电参数图像。本发明磁声电成像装置中,电磁聚焦超声激励模块通过耦合液连接耦合模块,耦合模块位于水槽内,耦合模块通过检测线圈或者检测电极连接检测与重建模块,控制与同步模块分别连接电磁聚焦超声激励模块和检测与重建模块。



1. 一种电磁聚焦超声激励的磁声电成像方法,其特征在于:所述的电磁聚焦超声激励的磁声电成像方法为:电磁激励源通过电极发射激励信号作用到超声增强介质上,在超声增强介质上产生聚焦超声,聚焦超声作用到目标成像体;聚焦超声在外加静磁场的作用下在目标成像体作用区域内产生正负电荷分离,在目标成像体内形成局部电场源,通过检测线圈或检测电极接收目标成像体的电信号,利用重建算法重建目标成像体电参数图像。

2. 应用权利要求1所述的电磁聚焦超声激励方法的磁声电成像装置,其特征在于:所述的装置包括:电磁聚焦超声激励模块、耦合模块、检测与重建模块和控制与同步模块;电磁聚焦超声激励模块通过耦合液连接耦合模块,耦合模块位于水槽内,耦合模块通过检测线圈或者检测电极连接检测与重建模块,控制与同步模块分别连接电磁聚焦超声激励模块和检测与重建模块。

3. 如权利要求2所述的磁声电成像装置,其特征在于:所述的电磁聚焦超声激励模块由电磁激励源,超声增强介质载体、超声增强介质涂层和超声增强介质注入电极组成;电磁激励源与超声增强介质注入电极连接,超声增强介质注入电极通过导电胶与超声增强介质涂层相连接,超声增强介质涂层固定在超声增强介质载体上。

4. 如权利要求3所述的磁声电成像装置,其特征在于:所述的超声增强介质载体内表面为凹形;超声增强介质涂层为凸面形,位于超声增强介质载体的内表面;超声增强介质涂层凸面的曲率半径对应聚焦超声的焦距。

5. 如权利要求3所述的磁声电成像装置,其特征在于:所述的超声增强介质内表面的形状优选柱状凹面形,对应的超声增强介质涂层则为柱状凸面形。

6. 如权利要求3所述的磁声电成像装置,其特征在于:所述的超声增强介质载体的材质优选K9玻璃,还可以选择紫外熔融石英、氟化钙、氟化钡、氟化镁、硅、锗、塑料或聚二甲基硅氧烷(PDMS)。

7. 如权利要求3所述的磁声电成像装置,其特征在于:当所述的超声增强介质涂层为固体涂层时,超声增强介质注入电极为金属电极;超声增强介质涂层与超声增强介质注入电极之间通过导电胶连接;所述的固体涂层通过气相沉积方法将金属膜固化在超声增强介质载体的内表面上形成,或者将金属薄膜贴于超声增强介质载体的内表面形成;

所述的超声增强介质涂层为液体涂层时;液体电极充入软管内,为与超声增强介质涂层材料相同的液体,软管插入液体涂层中;利用固化的聚二甲基硅氧烷将液体涂层密封在超声增强介质的内表面;液体涂层为磁性纳米颗粒溶液或碳纳米颗粒溶液;磁性纳米颗粒溶液或碳纳米颗粒溶液由液体涂层入口和液体涂层出口导入和导出;液体涂层入口和液体涂层出口相对布置,两者之间的夹角为180度。

8. 如权利要求2所述的磁声电成像装置,其特征在于:所述的耦合模块包括水槽、置于水槽内用于传输超声信号的耦合液,以及位于水槽内支撑目标成像体(A11)的可移动支撑架(A12);目标成像体放在可移动支撑架(A12)上;磁体位于水槽外,产生的静磁场的方向与聚焦超声的方向垂直。

9. 如权利要求2所述的磁声电成像装置,其特征在于:所述的检测与重建模块包括检测电极(A10)或检测线圈、微弱电磁信号检测系统(A06)和电参数重建模块(A03);所述的微弱信号检测系统(A06)包括前置放大器、滤波器和二级放大器;前置放大器的输入端连接检测电极或者检测线圈,前置放大器的输出端连接滤波器的输入端,滤波器的输出端连接二级

放大器的输入端,二级放大器的输出端连接电参数重建模块的计算机,检测电极直接接触目标成像体,检测线圈与目标成像体非接触,通过检测电极(A10)获取的信号进入微弱电磁信号检测系统(A06)放大和处理后,进入电参数重建模块(A03)。

10.如权利要求2所述的磁声电成像装置,其特征在于:所述的控制与同步模块包括三维扫描平台(A07和)信号发生装置;信号发生装置发送一个同步信号用于触发电磁聚焦超声激励模块的电磁激励源(A01)、三维扫描平台(A07)、检测与重建模块的电参数重建模块(A03)及微弱电磁信号检测系统(A06),控制整个装置的工作协调一致;所述的三维扫描平台包括三维扫描平台控制器、三维扫描支架和步进电机,三维扫描平台控制器通过串口连接步进电机,步进电机安装于三维扫描支架的每一个维度,三维扫描平台控制器在信号发生装置的控制下控制步进电机的移动,步进电机每接收到一次指令,则在相应的维度上移动相应的步长,停止移动后则采集一个位置的数据,最终对采集的数据进行存储,存储后的数据通过电参数重建模块(A03)实现电参数的重建。

一种电磁聚焦超声激励的磁声电成像方法与装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种磁声电成像方法与装置,特别涉及一种电磁聚焦超声激励的磁声电成像方法与装置。

背景技术

[0002] 利用组织电学特性的电阻抗成像,具备无损和功能成像的技术优点,是继形态、结构成像之后的新一代医学成像方法,对于生命科学研究和疾病的早期诊断具有重要的价值,可为生命科学研究和临床提供一种全新的诊断信息。一方面,当生物组织发生早期病变而且尚未在形态结构上产生改变时,生物组织内各类化学物质所带电荷量和电荷的空间分布将首先发生变化,宏观上表现为病变部位生物组织的电特性(电阻抗、电导率、介电常数)发生改变,因此通过对组织电特性的成像就可以无损检测组织的病变情况,从而达到对病变组织早期诊断早期治疗的目的。Nature reviews 2008年发表的一篇小鼠皮下淋巴瘤治疗前后的过程检测中也发现结构没有发生变化,但肿瘤细胞数量明显减少,电特性变化明显,进一步证实肿瘤发生发展过程中,细胞离子浓度、电荷分配、水的极化度的变化与组织电特性分布直接相关。美国癌症研究所的专家Layton早于2006年12月撰文,证实了其在乳腺癌和前列腺癌的早期诊断上具有独特的优越性,预言电阻抗成像将以无创、快捷、高准确率、低成本的优势替代活检,成为临床癌症诊断的首选方法。另一方面,电阻抗成像方法可以显示人体各器官完成生理活动(如呼吸、心脏搏动)时的变化,不仅可以对人体心血管、食道、胃部等生理活动过程进行连续动态的监测,而且可以发现人体某些组织的病理改变,如癌变(Cherepenin 2001)、脑水肿等,因此该技术在研究人体生理功能和病变机理方面的具有重要的价值和广泛的应用前景。

[0003] 磁声电成像方法是2008首次提出用于电导率成像的新方法,随着成像技术的快速发展,该成像方法得到越来越多的关注。在方法学的研究基础上,目前主要研究集中在如何满足临床需求的低成本早期诊断成像系统上,为提高成像的分辨率和对比度,学者们分别从重建算法、超声激励源、微弱信号检测方法等方面进行研究,但目前在成像的灵敏度和分辨率方面都有待提高。

发明内容

[0004] 本发明的目的是克服现有的磁声电成像方法在分辨率和灵敏度方面的不足,提出一种电磁聚焦超声激励的磁声电成像方法和装置。本发明通过电磁激励方式产生聚焦超声,聚焦超声作用到目标成像体,目标成像体在外加静磁场的作用下产生电信号。

[0005] 本发明电磁聚焦超声激励的磁声电成像方法为:电磁激励源通过电极发射激励信号作用到超声增强介质上,在超声增强介质上产生聚焦超声,聚焦超声作用到目标成像体。所述的聚焦超声是一种磁热声信号,聚焦超声在外加静磁场的作用下在目标成像体作用区域内产生正负电荷分离,在目标成像体内形成局部电场源。通过检测线圈或检测电极接收目标成像体的电信号,利用重建算法重建目标成像体电参数图像。

[0006] 应用本发明电磁聚焦超声激励方法的磁声电成像装置包括：电磁聚焦超声激励模块、耦合模块、检测与重建模块和控制与同步模块。电磁聚焦超声激励模块通过耦合液连接耦合模块，耦合模块位于水槽内，耦合模块通过检测线圈或者检测电极连接检测与重建模块，控制与同步模块分别连接电磁聚焦超声激励模块和检测与重建模块。电磁聚焦超声激励模块可以产生强脉冲、高频率、焦斑可控的聚焦超声，产生的聚焦超声根据超声增强介质形状的不同，包括轴向聚焦超声和非轴向聚焦超声；耦合模块的功能是实现聚焦超声、目标成像体和电磁检测的多物理场耦合；检测与重建模块的主要功能是实现微弱电信号的检测和对目标成像体的重建；控制与同步模块的功能实现整个装置的同步与控制。

[0007] 所述的电磁聚焦超声激励模块主要由电磁激励源，超声增强介质载体、超声增强介质涂层和超声增强介质注入电极组成。电磁激励源与超声增强介质注入电极连接，超声增强介质注入电极通过导电胶与超声增强介质涂层相连接，超声增强介质涂层固定在超声增强介质载体上。

[0008] 电磁激励源发射电磁激励信号，发射的信号有脉冲激励信号、连续波调频激励信号和特定的调制激励信号。

[0009] 超声增强介质涂层为固体涂层或液体涂层，超声增强介质注入电极可以是金属电极，也可以是液体电极。当超声增强介质涂层为固体涂层时，则超声增强介质注入电极为金属电极，电极的材料为银电极、铜电极、镀金电极或者其它金属。超声增强介质涂层与超声增强介质注入电极之间通过导电胶连接。所述的固体涂层通过气相沉积方法将金属膜固化在超声增强介质载体的内表面上形成。另一种固体涂层的形成方法是将金属薄膜，包括铜箔、锡箔等，直接贴于超声增强介质载体的内表面。当超声增强介质涂层为液体涂层时，超声增强介质注入电极为液体电极。液体电极位于软管内，软管内的液体作为超声增强介质注入电极，与超声增强介质涂层材料相同。软管插入液体涂层中。为防止液体涂层外溢，利用固化的聚二甲基硅氧烷将液体涂层密封在超声增强介质载体的内表面。液体涂层为磁性纳米颗粒溶液或碳纳米颗粒溶液。磁性纳米颗粒溶液或碳纳米颗粒溶液由软管导入。所述的软管既用来装载液体电极，同时又作为液体涂层入口和液体涂层出口，与液体涂层相连通。液体涂层入口和液体涂层出口是为了方便液体涂层的更换。超声增强介质涂层固定在超声增强介质载体上。

[0010] 所述的超声增强介质载体对超声增强介质涂层起到固定形状和支撑的作用。超声增强介质载体内表面为凹形，超声增强介质涂层为凸面形，位于超声增强介质载体的内表面。超声增强介质涂层凸面的曲率半径对应聚焦超声的焦距，以获取小焦斑，长焦距聚焦超声。超声增强介质载体材质优选K9玻璃，还可以选择紫外熔融石英、氟化钙、氟化钡、氟化镁、硅、锗、塑料或可塑形的聚二甲基硅氧烷(PDMS)。为获取轴向聚焦超声，超声增强介质内表面优选柱状凹面形，对应的超声增强介质涂层则为柱状凸面形。超声增强介质载体的形状为球面和柱面。

[0011] 所述的耦合模块包括水槽、置于水槽内用于传输超声信号的耦合液、磁体以及位于水槽内支撑目标成像体的可移动支撑架。目标成像体放在可移动支撑架上。耦合模块实现聚焦超声、目标成像体和电磁检测的多物理场耦合。所述的静磁场可以由永磁体产生，也可以由电磁体或超导磁体产生，磁体位于水槽外，产生的静磁场的方向与聚焦超声的方向垂直，静磁场在目标成像体内可以看做一个均匀磁场。由电磁聚焦超声激励模块产生的聚

焦超声通过耦合液作用到目标成像体,在静磁场的作用下,目标成像体局部产生正负离子的分离,因此在目标成像体的表面通过检测电极或者检测线圈可以实现电流或者感应电动势的检测。

[0012] 所述的检测与重建模块包括检测电极或检测线圈、微弱电磁信号检测系统和电参数重建模块,实现微弱电信号的检测和对目标成像体的重建。电磁激励源和超声增强介质注入电极连接,电磁激励源产生的激励信号传送到超声增强介质注入电极,超声增强介质注入电极发射激励信号作用到超声增强介质上,在超声增强介质上产生聚焦的超声,聚焦超声作用到目标成像体,在外加静磁场的作用下产生正负电荷分离,进而在目标成像体内形成局部电场源,通过检测电极或检测线圈获取的信号进入微弱电磁信号检测系统放大和处理后,进入电参数重建模块。所述的微弱信号检测系统包括前置放大器、滤波器和二级放大器三部分,前置放大器的输入端连接检测电极或者检测线圈,前置放大器的输出端连接滤波器的输入端,滤波器的输出端连接二级放大器的输入端,二级放大器的输出端连接电参数重建模块的计算机,检测电极直接接触目标成像体,检测线圈与目标成像体非接触,通过检测电极获取的信号进入微弱电磁信号检测系统放大和处理,然后进入电参数重建模块,电参数重建模块实现电参数重建。

[0013] 所述的控制与同步模块包括三维扫描平台和信号发生装置,实现整个装置的同步和控制。信号发生装置发送一个同步信号用于触发电磁聚焦超声激励模块的电磁激励源、三维扫描平台、检测与重建模块的电参数重建模块及微弱电磁信号检测系统,实现整个装置的工作协调一致。所述的三维扫描平台包括三维扫描平台控制器、三维扫描支架和步进电机,三维扫描平台控制器通过串口连接步进电机,步进电机安装于三维扫描支架的每个维度,也即三个维度三个步进电机,三维扫描平台控制器在信号发生装置的控制下控制步进电机的移动,步进电机每接收到一次指令,则在相应的维度上移动相应的步长,停止移动后则采集一个位置的数据,最终对采集的数据进行存储,存储后的数据通过电参数重建模块实现电参数的重建。

[0014] 所述的电磁激励信号的频率范围在0.5MHz-5MHz范围内,可以是单脉冲信号,也可以是连续波调频信号,还可以是特定调制信号。例如针对1MHz而言,连续波调频信号可以在0.5MHz到1.5MHz的范围内对电磁激励信号进行调频,特定调制信号包括三角波和正弦波的耦合调制。

[0015] 电磁激励源可以通过信号波形发生器和功率放大器组合产生,首先利用信号发生器产生所需要的窄脉冲信号、线性调频信号等信号波形,所产生的信号传送到与信号波形发生器连接的功率放大器,对信号放大,放大后的信号传送到超声增强介质注入电极,进而产生聚焦超声信号。

[0016] 电参数重建原理如下:

[0017] 目标成像体在聚焦超声和静磁场的共同作用下产生洛伦兹力:

$$[0018] \quad F = qV \times B_0 \quad (1)$$

[0019] 其中, V 为离子振动速度, B_0 为静磁场的磁感应强度, F 为洛伦兹力, q 为电荷;

[0020] 在洛伦兹力的作用下,目标成像体内局部正负离子分离,产生电流,局部电流密度为:

$$[0021] \quad J_e = \sigma V \times B_0 \quad (2)$$

[0022] 其中 J_e 为电流密度, σ 为目标成像体的局部电导率;

[0023] 假设超声激励的方向为x方向,静磁场的方向为z方向,则在y方向的电流密度可以表示为:

$$[0024] \quad I_y(t) = WB_0 \int \sigma(x) v(x, t) dx \quad (3)$$

[0025] 其中 $I_y(t)$ 为随时间t变化的y方向电流密度,W为超声束的直径, \int 为积分符号, $\sigma(x)$ 为x位置处的电导率, $v(x, t)$ 为在t时刻x位置处的离子振动速度。

[0026] 利用声压方程:

$$[0027] \quad \rho(x) \frac{\partial v(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial p(x, t)}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

[0028] 其中, $p(x, t)$ 为声压表达式, $\rho(x)$ 为密度,则式(3)变为:

$$[0029] \quad I_y(t) = -WB_0 \int \frac{\sigma(x)}{\rho(x)} \int \frac{\partial p(x, t)}{\partial x} dt dx \quad (5)$$

[0030] 根据公式(5),可以认为在聚焦点处目标成像体的密度和电导率是固定的,因此可以认为电流密度与局部电导率是成比例的,通过接收到的电信号可以直接通过幅值变化反应电参数的变化。

附图说明

[0031] 图1本发明电磁聚焦超声激励的磁声电成像装置结构示意图;

[0032] 图2超声增强介质图层结构示意图,其中图2a为液体涂层结构示意图,图2b轴式聚焦超声增强介质图层示意图,图2c为固体图层结构示意图;

[0033] 图中:A01电磁激励源,A02同步与控制模块,A03电参数重建模块,A04超声增强介质载体,A05超声增强介质注入电极,A06微弱电磁信号检测系统,A07三维扫描平台,A08超声增强介质涂层,A09静磁场装置,A10检测电极,A11目标成像体,A12可移动支撑架,B01液体涂层,B02液体涂层入口,B03轴式聚焦超声增强介质B04固体涂层B05液体涂层出口。

具体实施方式

[0034] 以下结合附图和具体实施方式进一步说明本发明。

[0035] 本发明电磁聚焦超声激励的磁声电成像方法为:电磁激励源通过电极发射激励信号作用到超声增强介质上,在超声增强介质上产生聚焦超声,聚焦超声作用到目标成像体,在外加静磁场的作用下产生正负电荷分离,在目标成像体内形成局部电场源。通过检测线圈或检测电极接收目标成像体的电信号后,利用重建算法重建目标成像体电参数图像。

[0036] 如图1所示,应用本发明电磁聚焦超声激励方法的磁声电成像装置包括:电磁聚焦超声激励模块、耦合模块、检测与重建模块和控制与同步模块。电磁聚焦超声激励模块通过耦合液连接耦合模块,耦合模块位于水槽内,耦合模块通过检测线圈或者检测电极连接检测与重建模块,控制与同步模块分别连接电磁聚焦超声激励模块和检测与重建模块。电磁聚焦超声激励模块产生强脉冲、高频率、焦斑可控的聚焦超声,产生的聚焦超声可以是轴向聚焦超声也可以是非轴向聚焦超声;耦合模块的功能是实现聚焦超声、目标成像体和电磁检测的多物理场耦合;检测与重建模块的主要功能是实现微弱电信号的检测和对目标成像体的重建;控制与同步模块的功能是实现整个装置的同步与控制。

[0037] 所述的耦合模块包括水槽、置于水槽内用于传输超声信号的耦合液、静磁场以及位于水槽内支撑目标成像体A11的可移动支撑架A12。目标成像体A11放在可移动支撑架A12上。耦合模块实现聚焦超声、目标成像体和电磁检测的多物理场耦合。所述的静磁场可以由永磁体产生,也可以由电磁体和超导磁体产生,产生的静磁场的方向与聚焦超声的方向垂直,产生的静磁场在目标成像体内可以看做是一个均匀磁场,产生静磁场的磁体位于水槽外。由电磁聚焦超声激励模块产生的聚焦超声通过耦合液作用到目标成像体,在静磁场的作用下,目标成像体A11局部产生正负离子的分离,因此在目标成像体A11的表面通过检测电极A10或者检测线圈可以实现电流或者感应电动势的检测。

[0038] 所述的电磁聚焦超声激励模块主要由电磁激励源A01,超声增强介质载体A04、超声增强介质A08和超声增强介质注入电极A05组成。电磁激励源A01输出端输出电磁激励信号,电磁激励源A01的输出端通过导线连接超声增强介质注入电极A05。超声增强介质注入电极A05通过导电胶与超声增强介质涂层相连接,超声增强介质涂层固定在超声增强介质载体A04上。所述的电磁激励源发射的信号有脉冲激励信号、连续波调频激励信号和特定的调制激励信号。

[0039] 超声增强介质注入电极A05可以是金属电极,也可以是液体电极。当超声增强介质A08涂层为固体涂层时,则超声增强介质注入电极A05则为金属电极,其电极的材料为银电极、铜电极、镀金电极或者其它金属材料的电极,超声增强介质注入电极A05通过导电胶与超声增强介质A08涂层相连接。当超声增强介质涂层A08为液体涂层时,液体电极位于软管内,软管内充入与超声增强介质涂层材料相同的液体,此液体作为超声增强介质注入电极A05,软管插入液体涂层中。为保证液体涂层不外溢,利用固化的聚二甲基硅氧烷将液体涂层密封在超声增强介质的内表面。液体涂层为磁性纳米颗粒溶液或碳纳米颗粒溶液。磁性纳米颗粒溶液或碳纳米颗粒溶液由液体涂层入口和液体涂层出口导入和导出。所述的软管既用来装载液体电极同时又与液体涂层入口和液体涂层出口相连通,液体涂层入口和液体涂层出口相对布置,两者之间的夹角为180度。液体涂层入口和液体涂层出口是为了方便液体涂层的更换。超声增强介质涂层固定在超声增强介质载体A04上。

[0040] 所述的超声增强介质载体A04对超声增强介质涂层起到形状固定和支撑的作用,超声增强介质载体A04内表面为凹形。超声增强介质A08涂层为凸面形,位于超声增强介质载体的内表面。超声增强介质涂层A08凸面的曲率半径对应聚焦超声的焦距,以获取小焦斑,长焦距聚焦超声。为获取轴向聚焦超声,超声增强介质内表面为柱状凹面形,超声增强介质涂层A08为柱状凸面形,超声增强介质涂层A08贴附于超声增强介质载体A04的内表面。超声增强介质载体A04的材质优选K9玻璃,还可以选择紫外熔融石英、氟化钙、氟化钡、氟化镁、硅、锗、塑料或可塑形的聚二甲基硅氧烷(PDMS)。

[0041] 电磁激励源的输出端产生激励信号,其输出端通过导线连接超声增强介质注入电极A05。超声增强介质涂层A08有固体涂层B04和液体涂层B01两种结构。如图2a所示,液体涂层B01的材料为磁性纳米颗粒溶液或碳纳米颗粒溶液。液体涂层B01由液体涂层入口B02和液体涂层出口B05导入,软管作为液体涂层入口B02和液体涂层出口B05,软管内的液体作为超声增强介质注入电极A05。

[0042] 液体涂层入口B02和涂层出口B05与液体涂层B01相连通,液体涂层入口B02和液体涂层出口B05相对布置。超声增强介质载体A04的材质可以是玻璃、塑料或一种可塑形

的聚二甲基硅氧烷 (PDMS), 超声增强介质载体A04的形状为球面和柱面; 如图2b和图2c所示, 超声增强介质载体A04的柱面为轴式聚焦超声增强介质B03, 聚焦超声介质采用液体涂层B01或固体涂层B05, 所述的固体涂层B05主要是通过气相沉积方法将金属膜固化在超声增强介质载体的内表面上, 另一种固体涂层B05是将金属膜, 包括铜箔、锡箔等金属薄膜, 直接贴于超声增强介质载体A04的内表面。电磁激励源A01可以通过信号波形发生器和功率放大器组合产生, 首先利用信号发生器产生所需要的窄脉冲信号、线性调频信号等信号波形, 所产生的信号通过导线连接功率放大器的输入端对信号进行放大, 放大后的信号通过导线连接到超声增强介质注入电极A05, 进而产生聚焦超声信号。

[0043] 本发明电磁激励源通过电极发射电磁激励信号作用到超声增强介质上, 在超声增强介质上产生聚焦超声, 聚焦超声作用到目标成像体A11, 在外加静磁场的作用下产生正负电荷分离, 进而在成像体内形成局部电场源, 通过检测线圈或检测电极接收电信号后, 利用电参数重建模块A03重建目标成像体A11的电参数图像。所述的静磁场可以由永磁体产生也可以由电磁体产生, 产生的电磁场的方向与电磁聚焦超声激励模块产生的聚焦超声信号垂直即可。

[0044] 所述的电磁激励信号的频率范围在0.5MHz-5MHz范围内, 可以是单脉冲信号、也可以是连续波调频信号、还可以是特定调制信号。例如针对1MHz而言, 连续波调频信号可以在0.5MHz到1.5MHz的范围内对电磁激励信号进行调频, 特定调制信号包括三角波和正弦波的耦合调制。

[0045] 所述的耦合模块包括水槽、置于水槽内用于传输超声信号的耦合液, 以及位于水槽内支撑目标成像体A11的可移动支撑架A12。耦合模块实现聚焦超声、目标成像体A11和电磁检测的多物理场耦合。由电磁聚焦超声激励模块产生的聚焦超声通过耦合液作用到目标成像体A11, 在静磁场的作用下, 目标成像体A11局部产生正负离子的分离, 在目标成像体的表面通过检测电极A10或者检测线圈可以检测到电流或者感应电动势。

[0046] 所述的检测与重建模块包括检测电极A10或检测线圈、微弱电磁信号检测系统A06和电参数重建模块A03, 实现微弱电信号的检测和对目标成像体A11的重建。所述的微弱信号检测系统A06包括前置放大器、滤波器和二级放大器三部分, 前置放大器的输入端连接检测电极或者检测线圈, 前置放大器的输出端连接滤波器的输入端, 滤波器的输出端连接二级放大器的输入端, 二级放大器的输出端连接电参数重建模块的计算机, 检测电极直接接触目标成像体, 检测线圈与目标成像体非接触, 通过检测电极A10获取的信号进入微弱电磁信号检测系统A06放大和处理后, 进入电参数重建模块A03。

[0047] 所述的控制与同步模块包括三维扫描平台A07和信号发生装置, 实现整个装置的同步和控制。信号发生装置发送一个同步信号用于触发电磁聚焦超声激励模块的电磁激励源A01、三维扫描平台A07、检测与重建模块的电参数重建模块A03及微弱电磁信号检测系统A06, 实现整个装置的工作协调一致。所述的三维扫描平台包括三维扫描平台控制器、三维扫描支架和步进电机, 三维扫描平台控制器通过串口连接步进电机, 步进电机安装于三维扫描支架的每一个维度, 也即三个维度三个步进电机, 三维扫描平台控制器在信号发生装置的控制下控制步进电机的移动, 步进电机每接收到一次指令, 则在相应的维度上移动相应的步长, 停止移动后则采集一个位置的数据, 最终对采集的数据进行存储, 存储后的数据通过电参数重建模块A03实现电参数的重建。

[0048] 电参数重建的原理如下：

[0049] 目标成像体A11在聚焦超声和静磁场的共同作用下，产生洛伦兹力：

$$[0050] \quad F = qV \times B_0 \quad (1)$$

[0051] 其中， V 为离子振动速度， B_0 静磁场的磁感应强度， F 为洛伦兹力， q 为电荷；

[0052] 在洛伦兹力的作用下，目标成像体A11内局部产生正负离子分离，产生的局部电流密度为：

$$[0053] \quad J_e = \sigma V \times B_0 \quad (2)$$

[0054] 其中， J_e 为电流密度， σ 为目标成像体A11的局部电导率；

[0055] 只考虑一个方向，假设超声激励的方向为 x 方向，静磁场的方向为 z 方向，则在 y 方向的电流密度可以表示为：

$$[0056] \quad I_y(t) = WB_0 \int \sigma(x) v(x, t) dx \quad (3)$$

[0057] 其中 $I_y(t)$ 为随时间 t 变化的 y 方向电流密度， W 为超声束的直径， \int 为积分符号， $\sigma(x)$ 为 x 位置处的电导率， $v(x, t)$ 为在 t 时刻 x 位置处的离子振动速度。

[0058] 考虑到声压方程：

$$[0059] \quad \rho(x) \frac{\partial v(x, t)}{\partial t} + \frac{\partial p(x, t)}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

[0060] $p(x, t)$ 为声压表达式， $\rho(x)$ 为密度，则式(3)变为：

$$[0061] \quad I_y(t) = -WB_0 \int \frac{\sigma(x)}{\rho(x)} \int \frac{\partial p(x, t)}{\partial x} dt dx \quad (5)$$

[0062] 根据公式(5)，可以认为在聚焦点处目标成像体的密度和电导率是固定的，因此可以认为电流密度与局部电导率是成比例的，通过接收到的电信号可以通过幅值变化直接反应电参数的变化。

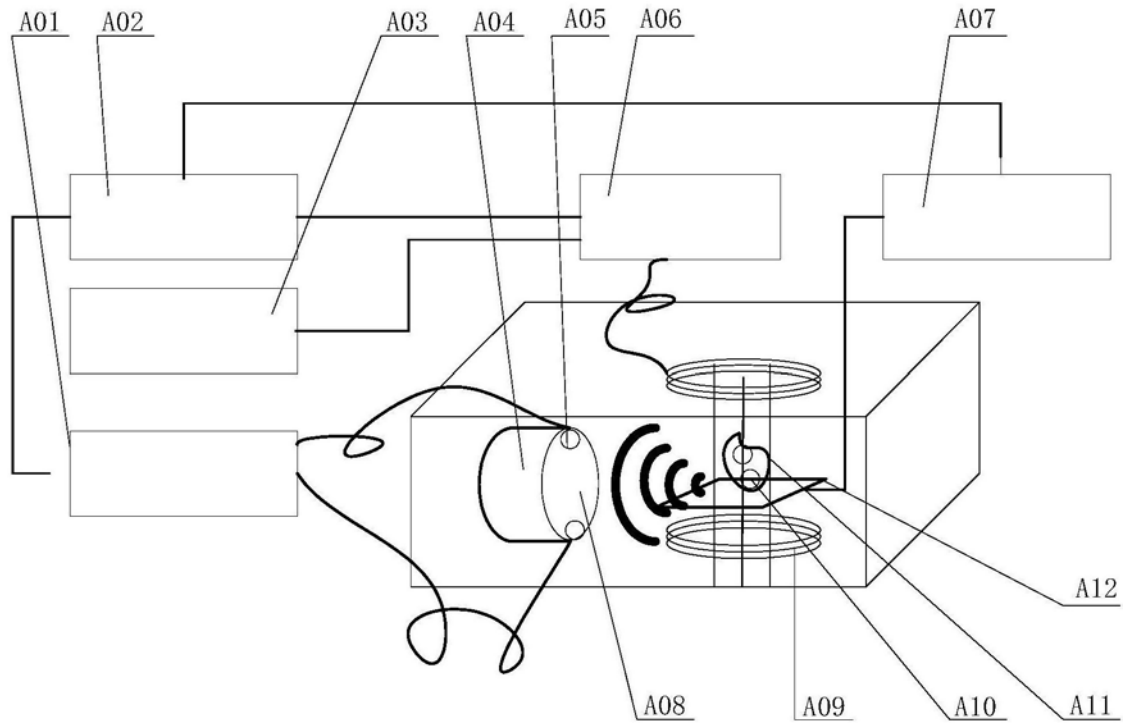


图1

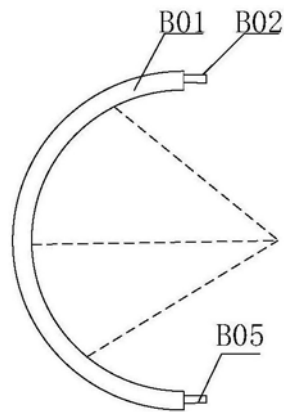


图2a

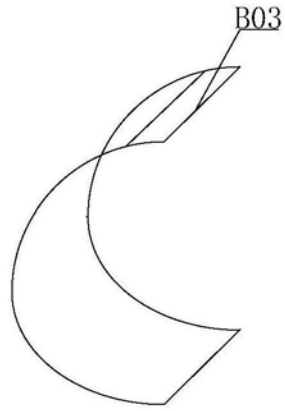


图2b

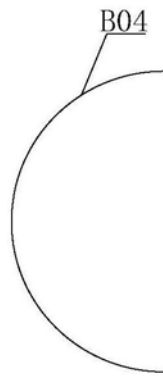


图2c

专利名称(译)	一种电磁聚焦超声激励的磁声电成像方法与装置		
公开(公告)号	CN107669270A	公开(公告)日	2018-02-09
申请号	CN2017110739708.2	申请日	2017-08-25
[标]申请(专利权)人(译)	中国科学院电工研究所		
申请(专利权)人(译)	中国科学院电工研究所		
当前申请(专利权)人(译)	中国科学院电工研究所		
[标]发明人	夏慧 刘国强 夏正武 李艳红 李士强 李晓南		
发明人	夏慧 刘国强 夏正武 李艳红 李士强 李晓南		
IPC分类号	A61B5/05 A61B5/053 A61B5/00 A61B8/08		
CPC分类号	A61B5/0035 A61B5/0093 A61B5/05 A61B5/0536 A61B5/7225 A61B8/0833 A61B8/5261		
代理人(译)	关玲		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

一种电磁聚焦超声激励的磁声电成像方法与装置，电磁激励源通过电极发射激励信号作用到超声增强介质上，在超声增强介质上产生聚焦超声，聚焦超声作用到目标成像体，在外加静磁场的作用下目标成像体作用区域内产生正负电荷分离，在目标成像体内形成局部电场源。通过检测线圈或检测电极接收电信号后，利用重建算法重建目标成像体的电参数图像。本发明磁声电成像装置中，电磁聚焦超声激励模块通过耦合液连接耦合模块，耦合模块位于水槽内，耦合模块通过检测线圈或者检测电极连接检测与重建模块，控制与同步模块分别连接电磁聚焦超声激励模块和检测与重建模块。

