



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108309298 A

(43)申请公布日 2018.07.24

(21)申请号 201810035254.5

(22)申请日 2018.01.15

(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 丁广鑫 孙文秀  
夏正武

(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)

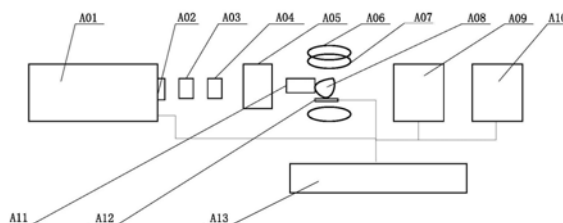
权利要求书3页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种基于激光超声的磁声电成像装置

(57)摘要

一种基于激光超声的磁声电成像装置,包括激光超声激励模块、检测与重建模块和控制与同步模块。控制与同步模块分别与激光超声激励模块及检测与重建模块连接。激光超声激励模块产生超声信号;检测与重建模块获取目标成像体的电参数图像;控制与同步模块控制所述磁声电成像装置协同一致工作。脉冲激光器发射的脉冲激光经过滤光片进行激光的衰减或滤光后,进入激光光束调整系统调整,然后进入激光超声激励系统,通过光声转化转变为超声束。超声束与静磁场相结合,在目标成像体内产生局部的电场源,通过非接触的检测线圈检测感应的电信号,再经过微弱信号处理子系统处理和图像重建,得到目标成像体的重建图像。



1. 一种基于激光超声的磁声电成像装置,其特征在于:所述的装置包括激光超声激励模块、检测与重建模块和控制与同步模块;控制与同步模块分别与激光超声激励模块及检测与重建模块连接;激光超声激励模块产生超声信号;检测与重建模块获取目标成像体(A08)的电参数图像;控制与同步模块控制所述磁声电成像装置协同一致工作。

2. 如权利要求1所述的基于激光超声的磁声电成像装置,其特征在于:所述的激光超声激励模块包括脉冲激光器(A01)、目标成像体(A08)、滤波片(A03)、小孔光阑(A04)、激光光束调整系统(A05)、磁体(A06),以及激光超声激励系统(A11);脉冲激光器(A01)、滤波片(A03)、小孔光阑(A04)、激光光束调整系统(A05)和激光超声激励系统(A11)从前向后依次顺序排列,即脉冲激光器(A01)后面是滤波片(A03),滤波片(A03)后面是小孔光阑(A04)、小孔光阑(A04)后面是激光光束调整系统(A05),激光光束调整系统(A05)后面是激光超声激励系统(A11);激光超声激励系统(A11)作用于目标成像体(A08);所述的脉冲激光器(A01)的出光口与滤波片(A03)的中心、小孔光阑(A04)的中心、激光光束调整系统(A05)的中心位于同一直线上;脉冲激光器A01的激光出射口(A02)发射的激光经过滤波片(A03)滤光,经过小孔光阑(A04)调整到需要的尺寸,然后射入激光光束调整系统(A05),再经过激光超声激励系统(A11)后转变为超声信号;所述的磁体(A06)位于目标成像体(A08)周围,磁体(A06)作用于目标成像体(A08),在目标成像体(A08)内产生静磁场;磁体(A06)与检测线圈(A07)连接,组成探测探头;所述的检测线圈(A07)位于磁体产生的磁场均匀区域,检测线圈(A07)的中心轴线与均匀区域的磁场方向平行。

3. 如权利要求1所述的基于激光超声的磁声电成像装置,其特征在于:所述的激光超声激励系统(A11)为激光超声激励换能器;需要产生平面超声时,激光超声激励系统(A11)的载体为平面载体(B01),平面载体(B01)的表面镀有一层平面激光超声增强介质(B02),平面激光超声增强介质(B02)之上有一层弹性膜(B03);需要产生聚焦超声时,激光超声激励系统的载体为聚焦载体(C01),在聚焦载体(C01)的上表面涂覆有一层聚焦激光超声增强介质(C02),聚焦激光超声增强介质(C02)之上是弹性膜(C03);平面载体(B01)为平面,聚焦载体(C01)为凹面;所述的激光超声激励系统(A11)通过耦合剂直接与目标成像体接触,或者直接作用到目标成像体(A08)的表面。

4. 如权利要求3所述的基于激光超声的磁声电成像装置,其特征在于:所述的目标成像体(A08)的表面作为激光激励超声系统;通过脉冲激光器(A01)调整后的激光束直接作用于目标成像体(A08)表面,目标成像体(A08)的表面产生的超声信号直接耦合到目标成像体(A08)的深处。

5. 如权利要求1所述的基于激光超声的磁声电成像装置,其特征在于:所述的控制与同步模块包括三维控制台支架(A12)和控制子系统(A13);控制子系统(A13)与三维控制台支架(A12)上的三个步进电机连接;首先控制子系统(A13)发送脉冲信号作为外触发信号,分别控制脉冲激光器(A01)、微弱电信号处理子系统(A09)、计算机显示子系统(A10)和三维控制台支架(A12);在控制子系统(A13)的控制下,脉冲激光器(A01)发射激光信号,微弱电信号处理子系统(A09)接收检测线圈(A07)的检测信号并处理,每采集一次信号后三维控制台支架(A12)在步进电机的带动下移动一步,进行下一个位置的采集,由此实现目标成像体(A08)的三维移动。

6. 如权利要求1所述的基于激光超声的磁声电成像装置,其特征在于:所述的检测与重

建模块包括检测线圈 (A07), 微弱信号处理子系统 (A09), 图像重建算法和计算机显示子系统 (A10), 微弱信号处理子系统 (A09) 连接计算机显示子系统 (A10), 图像重建算法和计算机显示子系统 (A10) 采集微弱信号处理子系统 (A09) 获取的数据, 进行图像重建; 检测线圈 (A07) 接收到的电信号送入微弱信号处理子系统 (A09) 处理, 之后由计算机显示子系统 (A10) 保存, 利用图像重建算法对目标成像体 (A08) 进行图像重建, 所述的图像重建算法包括时间反转法和压缩感知重建算法。

7. 如权利要求6所述的基于激光超声的磁声电成像装置, 其特征在于: 所述的时间反转法在磁声电成像中借助互易定理变为波动场的逆问题,

已知对于任意波动场源  $H(\mathbf{r})$ , 以  $\delta(t)$  函数激励的场  $u(\mathbf{r}, t)$ ,  $\delta(t)$  为冲激函数,  $c_0$  为声速,  $t$  为时间, 若满足如下波动方程:

$$\nabla^2 u - \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -H(\mathbf{r})\delta(t)$$

$\nabla$  为拉普拉斯算符;

那么在无穷远边界条件下, 该波动方程的解可用格林函数的积分表示为:

$$u(\mathbf{r}, t) = \iiint_{\mathbf{r}' \in \Omega} H(\mathbf{r}') G(\mathbf{r}, t | \mathbf{r}', 0) d\Omega$$

其中,  $\mathbf{r}'$  表示源点,  $\mathbf{r}$  表示场点,  $u(\mathbf{r}, t)$  为  $t$  时刻在空间  $\mathbf{r}$  处的激励场,  $H(\mathbf{r}')$  表示场源分布函数。  $G(\mathbf{r}, t | \mathbf{r}', 0)$  表示点源激励下场量  $u(\mathbf{r}, t)$  的格林函数, 它同样满足波动方程;

利用时间反转法求解声场的计算公式为:

$$u_r(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{2\pi} \oint_{r \in S} dS \frac{\mathbf{n} \cdot (\mathbf{r}' - \mathbf{r})}{|\mathbf{r}' - \mathbf{r}|^2} \left[ \frac{u(\mathbf{r}', t_{rd})}{|\mathbf{r}' - \mathbf{r}|} - u'(\mathbf{r}', t_{rd}) / c_0 \right]$$

其中  $t_{rd} = 2T_0 - t + |\mathbf{r} - \mathbf{r}'| / c_0$ ,  $S$  为环绕目标区域的闭合曲面。  $\mathbf{n}$  为扫描平面的法向分量,  $u'(\mathbf{r}', t_{rd})$  为激励场势函数的一阶导数,  $u(\mathbf{r}', t_{rd})$  为激励场势函数,  $u''(\mathbf{r}', t_{rd})$  为激励场势函数的二阶导数,  $\oint_{r \in S} dS$  为扫描平面  $S$  上的面积分符号、  $c_0$  为声速、  $T_0$  为时间场的反转时刻,  $T_0$  需要足够大, 使得对于  $t > T_0$  的时刻  $u(\mathbf{r}, t) = 0$ ;

因为波动场源与初始时刻场量的一阶导数有关, 也就是  $H(\mathbf{r}') = -\frac{1}{c_0^2} \frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{t=0}$ , 所以对声场的计算公式两端求导, 并取 0 时刻的值, 得到场源的表达式为:

$$H(\mathbf{r}') = \frac{1}{2\pi c_0^2} \oint_{r \in S} dS \frac{\mathbf{n} \cdot (\mathbf{r}' - \mathbf{r})}{|\mathbf{r}' - \mathbf{r}|^2} \left[ \frac{u'(\mathbf{r}', t_{rd})}{|\mathbf{r}' - \mathbf{r}|} - u''(\mathbf{r}', t_{rd}) / c_0 \right]$$

由此即能够重建出分布波动源  $H(\mathbf{r}')$ , 其中  $\pi$  为 3.14,  $\mathbf{n}$  为扫描平面的法向分量,  $u'(\mathbf{r}', t_{rd})$  为激励场量的一阶导数,  $u''(\mathbf{r}', t_{rd})$  为激励场量的二阶导数,  $\oint_{r \in S} dS$  为扫描平面  $S$  上的面积分符号。

8. 如权利要求6所述的基于激光超声的磁声电成像装置, 其特征在于: 所述的压缩感知重建算法重建磁声电信号分布场源的方法如下:

令压缩感知矩阵  $\mathbf{K} \Phi = \mathbf{A}_{CS}$ , 则由正交匹配追踪算法求解的矩阵方程为:

$$U = A_{cs}\theta \quad (2)$$

其中,  $U$  为变换矩阵,  $\Phi$  是小波基下的正交变换矩阵, 在傅立叶基或小波基条件下,  $K$  是由矩量法求得的系数矩阵, 同时满足高斯分布; 因此利用  $A_{cs} = K\Phi$  直接得到压缩感知矩阵  $A_{cs}$ ;  $\theta$  为转换系数, 正交匹配追踪算法的计算方法如下所述:

第一步: 首先初始化残差  $r_0 = U$ , 搜索列向量集合  $\Lambda = \text{空集}$ ;

第二步: 在第  $i$  次迭代中, 计算压缩感知矩阵的每列与残差之间的相关系数  $\langle r_i, a_j \rangle$ , 将相关系数最大的列  $a_j$  并入  $\Lambda$ , 即  $\Lambda = [\Lambda, a_j]$ , 其中  $j$  表示感知矩阵  $A_{cs}$  的第  $j$  列向量,  $r_i$  表示第  $i$  次迭代的残差;

第三步: 利用最小二乘法逼近测量信号:  $\hat{H} = \arg \min \|U - \Lambda H\|$ , 其中  $\hat{H}$  为测量信号,  $\|\cdot\|$  为绝对值表达式,  $\arg \min$  表示使函数  $U - \Lambda H$  取得最小值的所有自变量  $H$  的集合;

第四步: 利用公式  $r_{i+1} = U - \Lambda \hat{H}$  更新残差;

第五步: 如果没有达到迭代步数则返回第二步继续迭代, 否则输出  $\hat{H}$ ; 其中,  $\hat{H}$  为磁声电信号重建分布场源。

## 一种基于激光超声的磁声电成像装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种磁声电成像装置。

### 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便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。美国癌症研究所的专家Layton早于2006年12月撰文,证实了电阻抗成像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、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。目前在方法学的研究基础上,主要集中在如何满足临床需求的低成本早期诊断成像系统方面。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、实验平台等方面进行研究,例如在CN201410773975.8一种磁-声多场耦合成像实验装置中提到的磁声电装置中需要超声屏蔽盒,激励线圈和接收线圈放置在超声屏蔽盒内,因此超声装置与电磁之间有电磁干扰问题,这影响成像的灵敏度和分辨率。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是克服现有的磁声电成像方法传统超声激励和电磁检测之间的电磁干扰问题,提高成像的灵敏度和分辨率,提出一种基于激光超声的磁声电成像装置。

[0005] 所述的基于激光超声的磁声电成像装置包括激光超声激励模块,检测与重建模块和控制与同步模块。控制与同步模块分别与激光超声激励模块及检测与重建模块连接。激光超声激励模块产生强脉冲、高频率、高频宽的超声信号,检测与重建模块获取目标成像体的电参数图像,控制与同步模块的作用是控制整个装置的协同一致工作。

[0006] 所述的激光超声激励模块包括脉冲激光器、滤波片、小孔光阑、激光光束调整系统、磁体、目标成像体和激光超声激励系统。脉冲激光器、滤波片、小孔光阑、激光光束调整系统和激光超声激励系统从前向后依次顺序排列,即脉冲激光器的后面放置滤波片,滤波片的后面为小孔光阑、小孔光阑的后面布置激光光束调整系统,激光光束调整系统的后面

是激光超声激励系统。激光超声激励系统作用于目标成像体的周围。磁体作用于目标成像体,在目标成像体内产生一定强度的静磁场,所产生的静磁场大于0.1T。磁体可以是电磁体也可以是永磁体。磁体与检测线圈连接,组成一个具有激励和检测功能的电信号探测探头。所述的检测线圈位于磁体产生的磁场均匀区域,检测线圈的中心轴线与磁场均匀区域的磁场方向平行。脉冲激光器的出光口与滤波片的中心、小孔光阑的中心和激光光束调整系统的中心位于同一直线上。脉冲激光器发射的激光经过滤光片滤光、然后经过小孔光阑和激光光束调整系统,将激光束调整到需要的尺寸,再经过激光超声激励系统后,激光转变为超声信号,到达目标成像体。所述的脉冲激光器可以是Nd:YAG脉冲激光器,也可以是其它飞秒脉冲激光器。

[0007] 激光光束调整系统的作用是将激光束调整到所需要的尺寸,例如如果需要产生聚焦超声,则激光光束调整系统将激光扩束,以助于后续得到聚焦的超声束;如果需要产生平面超声束,则激光光束调整系统可以使其产生发散角比较小的准直光束。激光光束调整系统可以是光纤,使其传输更远的距离,有助于在一些非电场合的应用。

[0008] 所述的激光超声激励系统是一个激光超声激励换能器,即为由激光产生高强超声的转换系统。激光超声激励系统与激光光束调整系统配合使用。如果需要产生平面超声,则激光超声激励系统的载体为平面载体。平面载体的表面镀有一层平面激光超声增强介质,紧贴在平面激光超声增强介质之上的是弹性膜。同理如果需要产生聚焦超声,则激光超声激励系统的载体为聚焦载体,相对应的,在聚焦载体上涂有一层聚焦激光超声增强介质,在聚焦激光超声增强介质之上是弹性膜。所述的平面载体和聚焦载体的材质可以是玻璃、也可以是亚克力树脂,还可以是其它具有良好透光度的材质。所述的平面激光超声增强介质和聚焦激光超声增强介质可以是纳米金属介质,也可以是碳纳米颗粒、石墨烯薄膜或者烟灰。所述的弹性膜是具有弹性的保护薄膜,例如聚二甲基硅氧烷。所述的平面载体的形状是平面,聚焦载体的形状是凹面。所述的激光超声激励系统可以通过耦合剂直接与目标成像体接触,也可以直接作用到目标成像体的表面;还可以直接把目标成像体的表面作为激光激励超声系统,通过脉冲激光器调整后的光束直接激励目标成像体表面,表面产生的超声信号直接耦合到目标成像体的深处,因此也是一种非接触的激光超声激励系统。所述的平面激光超声增强介质和聚焦激光超声增强介质可以是一种碳纳米管、石墨烯等一种材料的单结构膜也可以是混合膜结构,比如可以是金属沉积膜和碳纳米颗粒膜的混合膜。

[0009] 所述的检测与重建模块包括检测线圈,微弱信号处理子系统,图像重建算法和计算机显示子系统,微弱信号处理子系统连接计算机显示子系统,图像重建算法和计算机显示子系统采集微弱信号处理子系统获取的数据,进行图像重建。检测线圈接收到的电信号后接入微弱信号处理子系统,处理后的信号通过计算机显示子系统进行显示和保存,利用图像重建算法对图像进行重建,具体的重建算法包括时间反转法和压缩感知重建算法。

[0010] 所述的时间反转法在磁声电成像中借助互易定理变为波动场的逆问题,已知对于任意波动场源 $H(\mathbf{r})$ ,以 $\delta(t)$ 函数激励的场 $u(\mathbf{r}, t)$ , $\delta(t)$ 为冲激函数, $c_0$ 为声速, $t$ 为时间,若满足如下波动方程:

$$[0011] \quad \nabla^2 u - \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -H(\mathbf{r})\delta(t)$$

[0012]  $\nabla$ 为拉普拉斯算符。

[0013] 那么在无穷远边界条件下,该波动方程的解可用格林函数的积分表示为:

$$[0014] \quad u(\mathbf{r}, t) = \iiint_{\mathbf{r}' \in \Omega} H(\mathbf{r}') G(\mathbf{r}, t | \mathbf{r}', 0) d\Omega$$

[0015] 其中,  $\mathbf{r}'$  表示源点,  $\mathbf{r}$  表示场点,  $u(\mathbf{r}, t)$  为  $t$  时刻在空间  $\mathbf{r}$  处的激励场,  $H(\mathbf{r}')$  表示场源分布函数。  $G(\mathbf{r}, t | \mathbf{r}', 0)$  表示点源激励下场量  $u(\mathbf{r}, t)$  的格林函数, 它同样满足波动方程。

[0016] 利用时间反转法求解声场的计算公式为:

$$[0017] \quad u_r(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{2\pi} \oint_{\mathbf{r}' \in S} dS \frac{\mathbf{n} \cdot (\mathbf{r}' - \mathbf{r})}{|\mathbf{r}' - \mathbf{r}|^2} \left[ \frac{u(\mathbf{r}', t_{rd})}{|\mathbf{r}' - \mathbf{r}|} - u'(\mathbf{r}', t_{rd}) / c_0 \right]$$

[0018] 其中  $t_{rd} = 2T_0 - t + |\mathbf{r} - \mathbf{r}'| / c_0$ ,  $S$  为环绕目标区域的闭合曲面。  $\mathbf{n}$  为扫描平面的法向分量,  $u'(\mathbf{r}', t_{rd})$  为激励场势函数的一阶导数,  $u(\mathbf{r}', t_{rd})$  为激励场势函数,  $u''(\mathbf{r}', t_{rd})$  为激励场势函数的二阶导数,  $\oint_{\mathbf{r}' \in S} dS$  为扫描平面  $S$  上的面积分符号、  $c_0$  为声速、  $T_0$  为时间场的反转时刻,  $T_0$  需要足够大, 使得对于  $t > T_0$  的时刻  $u(\mathbf{r}, t) = 0$ 。

[0019] 因为波动场源与初始时刻场量的一阶导数有关, 也就是  $H(\mathbf{r}') = -\frac{1}{c_0^2} \frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{t=0}$ , 所以可对声场的计算公式两端求导, 并取 0 时刻的值, 得到场源的表达式为:

$$[0020] \quad H(\mathbf{r}') = \frac{1}{2\pi c_0^2} \oint_{\mathbf{r}' \in S} dS \frac{\mathbf{n} \cdot (\mathbf{r}' - \mathbf{r})}{|\mathbf{r}' - \mathbf{r}|^2} \left[ \frac{u'(\mathbf{r}', t_{rd})}{|\mathbf{r}' - \mathbf{r}|} - u''(\mathbf{r}', t_{rd}) / c_0 \right]$$

[0021] 由此即可重建出分布波动源  $H(\mathbf{r}')$ , 其中  $\pi$  为 3.14,  $\mathbf{n}$  为扫描平面的法向分量,  $u'(\mathbf{r}', t_{rd})$  为激励场量的一阶导数,  $u''(\mathbf{r}', t_{rd})$  为激励场量的二阶导数,  $\oint_{\mathbf{r}' \in S} dS$  为扫描平面  $S$  上的面积分符号。

[0022] 所述的压缩感知重建算法原理如下:

[0023] 首先借助互易定理, 检测线圈检测到的感应电动势  $u_{AB}$  为:

$$[0024] \quad u_{AB} = \iiint_{\mathbf{r}' \in \Omega} \frac{\nabla \times \mathbf{J}_2(\mathbf{r}') \cdot \mathbf{B}_0}{\rho_0} \varphi(\mathbf{r}', t) d\Omega \quad (1)$$

[0025] 其中  $u_{AB}$  为检测线圈检测到的感应电动势,  $\iiint_{\mathbf{r}' \in \Omega} d\Omega$  表示在激光激励超声系统和静磁场共同作用的区域  $\Omega$  内的积分,  $\nabla \times \mathbf{J}_2(\mathbf{r}')$  为互易电流密度的旋度,  $\varphi(\mathbf{r}', t)$  为速度势函数, 静磁场  $\mathbf{B}_0$ 、目标成像体密度  $\rho_0$ 、作用区域  $\Omega$  内,  $\mathbf{r}'$  为超声换能器激励位置,  $\mathbf{r}$  为超声换能器所在点的位置,  $\mathbf{J}_2$  为互易得电流密度、  $\mathbf{B}_0$  为静磁场磁感应强度、  $\rho_0$  为目标成像体的密度、  $\varphi$  为速度势、  $\nabla$  为哈密顿 (Hamilton) 算子。

[0026] 该公式说明, 磁声电信号  $u_{AB}$  的大小是由互易电流密度的旋度  $\nabla \times \mathbf{J}_2(\mathbf{r}')$ 、速度势函数  $\varphi(\mathbf{r}', t)$ 、静磁场磁感应强度  $\mathbf{B}_0$  和密度  $\rho_0$  在作用区域  $\Omega$  内的相互作用决定的。感应电动势  $u_{AB}$  除了是时间的函数以外, 它还是与超声换能器激励位置  $\mathbf{r}'$  有关的函数。用  $\mathbf{r}$  表示超声换能器所在位置, 则  $u_{AB}$  可改写为  $u(\mathbf{r}, t)$ 。

[0027] 采用压缩感知的方法重建磁声电信号分布场源的方法如下:

[0028] 令压缩感知矩阵  $\mathbf{K} \Phi = \mathbf{A} \mathbf{C} \mathbf{S}$ , 则由正交匹配追踪算法求解的矩阵方程为:

[0029]  $U = Acs\theta$  (2)

[0030] 其中,  $U$  为变换矩阵,  $\Phi$  是小波基下的正交变换矩阵, 例如傅立叶基或小波基,  $K$  是由矩量法求得的系数矩阵, 同时满足高斯分布。因此可利用  $Acs = K\Phi$  直接得到压缩感知矩阵  $Acs$ 。 $\theta$  为转换系数, 正交匹配追踪算法的计算方法如下所述:

[0031] 第一步: 首先初始化残差  $r_0 = U$ , 搜索列向量集合  $\Lambda = \text{空集}$ ;

[0032] 第二步: 在第  $i$  次迭代中, 计算压缩感知矩阵的每列与残差之间的相关系数  $\langle r_i, a_j \rangle$ , 将相关系数最大的列  $a_j$  并入  $\Lambda$ , 即  $\Lambda = [\Lambda, a_j]$ , 其中  $j$  表示感知矩阵  $Acs$  的第  $j$  列向量,  $r_i$  表示第  $i$  次迭代的残差;

[0033] 第三步: 利用最小二乘法逼近测量信号:  $\hat{H} = \arg \min \|U - \Lambda H\|$ , 其中  $\hat{H}$  为测量信号,  $\|\cdot\|$  为绝对值表达式,  $\arg \min$  表示使函数  $U - \Lambda H$  取得最小值的所有自变量  $H$  的集合;

[0034] 第四步: 利用公式  $r_{i+1} = U - \Lambda \hat{H}$  更新残差;

[0035] 第五步: 如果没有达到迭代步数则返回第二步继续迭代, 否则输出  $\hat{H}$ 。

[0036] 其中,  $\hat{H}$  为磁声电信号重建分布场源。

[0037] 为了得到电导率分布, 借助赫姆霍兹定理, 由互易电流密度旋度和边界条件重建互易电流密度矢量, 然后再由电流密度矢量重建电导率。

[0038] 所述的控制与同步模块包括三维控制台支架和控制子系统, 控制子系统与三维控制台支架上的三个步进电机连接, 首先控制子系统发送一个脉冲信号作为外触发信号, 外触发信号分别控制激光超声激励模块脉冲激光器、检测与重建模块的微弱电信号处理子系统、图像重建算法和计算机显示子系统, 以及三维控制台支架。在控制子系统的控制下, 脉冲激光器发射激光信号, 同时微弱电信号处理子系统接收检测线圈的信号并处理。微弱电信号处理子系统每采集一次信号后, 在控制子系统的控制下, 三维控制台支架在步进电机的带动下移动一步, 进行下一个位置的采集, 位于三维控制台支架上的目标成像体由此实现其三维移动。

[0039] 所述的激光超声非接触式磁声电成像装置可以为便携式装置。若为便携式装置, 磁体和检测线圈可以为一体化的探测探头。在控制子系统的控制下, 通过控制磁体和检测线圈的移动实现三维扫描, 也可以固定磁体和检测线圈, 通过三维控制台支架控制目标成像体移动。

[0040] 本发明工作过程如下: 激光超声激励模块的脉冲激光器发射的脉冲激光首先经过滤光片进行激光的衰减或滤光, 之后经过小孔光阑, 进入激光光束的调整系统, 使激光源调整为所需尺寸的激光束。然后, 激光束进入激光超声激励系统, 通过光声转化, 使其成为转变为超声束, 超声束与静磁场相结合, 在目标成像体内产生局部的电场源, 通过非接触的检测线圈检测感应的电信号, 检测电信号经过微弱信号处理子系统和重建算法, 最后在计算机显示子系统显示重建的图像。

## 附图说明

[0041] 图1本发明基于激光超声的非接触式磁声电成像方法与装置示意图;

[0042] 图2激光超声转换传感器示意图;

[0043] 图中: A01脉冲激光器, A02激光器出光口, A03滤波片, A04小孔光阑, A05激光光束

调整系统,A06磁体,A07检测线圈,A08目标成像体,A09微弱电信号处理子系统,A10计算机显示子系统,A11激光超声激励系统,A12三维控制台支架A13控制子系统,B01平面载体,B02平面激光超声增强介质B03弹性膜,C01聚焦载体,C02聚焦激光超声增强介质,C03弹性膜。

### 具体实施方式

[0044] 以下结合附图和具体实施方式进一步说明本发明。

[0045] 如图1所示,本发明基于激光超声的磁声电成像装置包括激光超声激励模块、检测与重建模块和控制与同步模块。控制与同步模块分别与激光超声激励模块及检测与重建模块连接。

[0046] 激光超声激励模块的作用是产生强脉冲、高频率、高频宽的超声信号;检测与重建模块的作用是获取目标成像体A08的电参数图像;控制与同步模块的作用是控制整个装置协同一致工作。

[0047] 所述的激光超声激励模块包括脉冲激光器A01、目标成像体A08、滤波片A03、小孔光阑A04、激光光束调整系统A05、磁体A06,以及激光超声激励系统A11。脉冲激光器、滤波片、小孔光阑、激光光束调整系统和激光超声激励系统从前向后依次顺序排列,即脉冲激光器A01后面是滤波片A03,滤波片A03后面是小孔光阑A04、小孔光阑A04后面是激光光束调整系统A05,激光光束调整系统A05后面是激光超声激励系统A11。激光超声激励系统A11作用于目标成像体A08。所述的脉冲激光器A01的出光口与滤波片A03的中心、小孔光阑A04的中心、激光光束调整系统A05的中心位于同一直线上。脉冲激光器A01的激光出射口A02发射的激光经过滤波片A03滤光,然后经过小孔光阑A04调整到需要的尺寸,调整光束尺寸后的激光束射入激光光束调整系统A05,然后再经过激光超声激励系统A11后激光变为超声信号。所述的磁体A06位于目标成像体A08的周围,磁体A06作用于目标成像体A08,在目标成像体A08内产生一定强度的静磁场,所产生的静磁场大于0.1T。磁体A06可以是电磁体也可以是永磁体,磁体A06与检测线圈A07连接,组成一个具有激励和检测功能的电信号探测探头。所述的检测线圈A07位于磁体产生的磁场均匀区域,检测线圈A07的中心轴线与均匀区域的磁场方向平行。

[0048] 所述的脉冲激光器可以是Nd:YAG脉冲激光器也可以是其它飞秒脉冲激光器。

[0049] 所述的激光光束调整系统A05对激光束进行调整。如果需要产生聚焦超声,则激光光束调整系统A05为激光扩束系统,使激光束达到一定尺寸,以助于后续得到聚焦的超声束。如果需要产生平面超声束,则激光光束调整系统A05使激光束产生发散角比较小的准直光束。激光光束调整系统可以是光纤,使激光束的传输距离更远,有助于在一些非电场合的应用。

[0050] 所述的激光超声激励系统A11是一个激光超声激励换能器,即由激光产生高强超声的转换系统。激光超声激励系统A11与激光光束调整系统A05配合使用,如果需要产生平面超声,则激光超声激励系统的载体为平面载体B01,平面载体B01的表面镀有一层平面激光超声增强介质B02,平面激光超声增强介质B02之上是一层弹性膜B03。如果需要产生聚焦超声,则激光超声激励系统的载体为聚焦载体C01,相对应的,在聚焦载体C01的上表面涂覆有一层聚焦激光超声增强介质C02,聚焦激光超声增强介质C02之上是弹性膜C03。所述的平面载体B01和聚焦载体C01的材质是玻璃、亚克力树脂,或其它具有良好透光度的材质。所述

的平面激光超声增强介质B02和聚焦激光超声增强介质C02可以是纳米金属介质,也可以是碳纳米颗粒、石墨烯薄膜或者烟灰。所述的弹性膜B03和聚焦激光超声增强介质C03可以是具有弹性的保护薄膜,例如聚二甲基硅氧烷。平面载体B01的形状是平面,聚焦载体C01的形状是凹面。所述的激光超声激励系统A11可以通过耦合剂直接与目标成像体接触,也可以直接作用到目标成像体A08的表面,还可以直接把目标成像体A08的表面作为激光激励超声系统,通过脉冲激光器A01调整后的光束直接激励目标成像体A08表面,目标成像体A08表面产生的超声信号直接耦合到目标成像体A08深处,因此也是一种非接触的激光超声激励系统。

[0051] 所述的检测与重建模块包括检测线圈A07,微弱信号处理子系统A09,图像重建算法和计算机显示子系统A10,微弱信号处理子系统A09连接计算机显示子系统A10,图像重建算法和计算机显示子系统A10采集微弱信号处理子系统A09获取的数据,进行图像重建。检测线圈A07接收到的电信号送入微弱信号处理子系统A09,微弱信号处理子系统A09处理后,信号由计算机显示子系统A10进行显示和保存,利用图像重建算法对目标成像体A08进行图像重建。

[0052] 所述的控制与同步模块包括三维控制台支架A12和控制子系统A13。控制子系统A13分别与三维控制台支架A12上的三个步进电机连接,控制三个步进电机的运动。首先控制子系统A13发送一个脉冲信号作为外触发信号,分别作用于脉冲激光器A01、微弱电信号处理子系统A09、计算机显示子系统A10和三维控制台支架A12上的三个步进电机。在控制子系统A13的控制下,脉冲激光器A01发射激光信号,同时微弱电信号处理子系统A09开始接收检测线圈A07的信号并处理,每采集一次信号后,三维控制台支架A12在步进电机的带动下移动一步,进行下一个位置的采集,由此实现目标成像体A08的三维移动。

[0053] 所述的激光超声非接触式磁声电成像装置可以为便携式装置,若为便携式装置,则可以把磁体A06和检测线圈A07做成一体化的探测探头,在控制子系统的控制下,可以通过控制磁体A06和检测线圈A07的移动实现三维的扫描,也可以固定磁体A06和检测线圈A07,通过三维控制台支架A12控制目标成像体A08的移动。

[0054] 所述的平面激光超声增强介质B02和聚焦激光超声增强介质C02可以是单层膜结构也可以是混合膜结构,比如可以是金属沉积膜和碳纳米颗粒膜的混合膜。

[0055] 本发明基于激光超声的磁声电成像装置的工作过程如下:

[0056] 首先脉冲激光器A01发射一束脉冲激光,脉冲激光经过激光器出光口A02射出后,首先经过滤光片A03进行激光的衰减或滤光,之后进入激光光束调整系统A05,使其成为可使用的激光束。然后激光束进入激光超声激励系统A11,通过光声转化,使激光束转变为可利用的超声束,所述的超声束与静磁场相结合,在目标成像体A08内产生局部的电场源。通过非接触的检测线圈A07检测磁声电信号,检测到的电信号经过微弱信号处理子系统A09,通过图像重建算法重建图像,在计算机显示子系统A10显示。

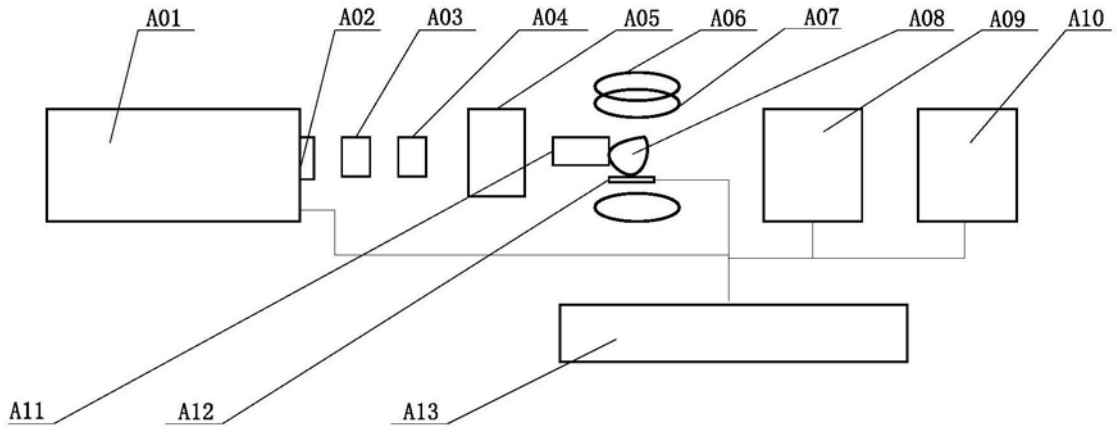


图1

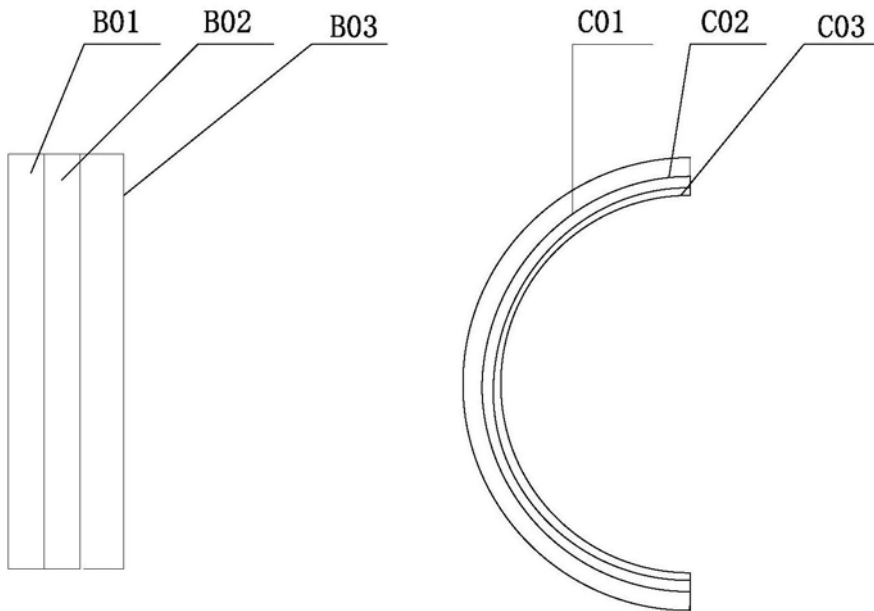


图2

专利名称(译)	一种基于激光超声的磁声电成像装置		
公开(公告)号	<a href="#">CN108309298A</a>	公开(公告)日	2018-07-24
申请号	CN201810035254.5	申请日	2018-01-15
[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 丁广鑫 孙文秀 夏正武		
发明人	夏慧 刘国强 丁广鑫 孙文秀 夏正武		
IPC分类号	A61B5/05 A61B5/053 A61B5/00 A61B8/08		
CPC分类号	A61B5/05 A61B5/0035 A61B5/0059 A61B5/0093 A61B5/0536 A61B8/0833 A61B8/5261		
代理人(译)	关玲		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

一种基于激光超声的磁声电成像装置，包括激光超声激励模块、检测与重建模块和控制与同步模块。控制与同步模块分别与激光超声激励模块及检测与重建模块连接。激光超声激励模块产生超声信号；检测与重建模块获取目标成像体的电参数图像；控制与同步模块控制所述磁声电成像装置协同一致工作。脉冲激光器发射的脉冲激光经过滤光片进行激光的衰减或滤光后，进入激光光束调整系统调整，然后进入激光超声激励系统，通过光声转化转变为超声束。超声束与静磁场相结合，在目标成像体内产生局部的电场源，通过非接触的检测线圈检测感应的电信号，再经过微弱信号处理子系统处理和图像重建，得到目标成像体的重建图像。

