



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102058416 A

(43) 申请公布日 2011. 05. 18

(21) 申请号 201010586862. 9

(22) 申请日 2010. 12. 14

(71) 申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

(72) 发明人 孙明健 冯乃章 沈毅 李建刚  
马立勇 伍政华

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事务  
所 23109

代理人 张果瑞

(51) Int. Cl.

A61B 8/00(2006. 01)

A61B 5/00(2006. 01)

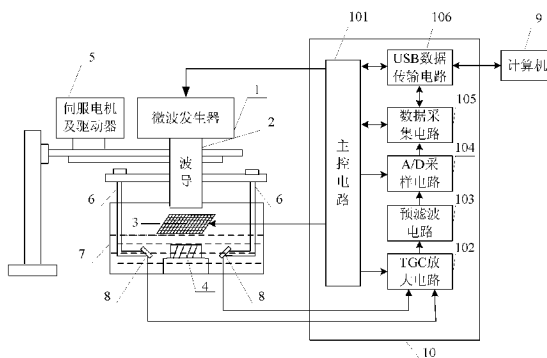
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 1 页

## (54) 发明名称

基于压缩感知的微波热声成像装置及方法

## (57) 摘要

基于压缩感知的微波热声成像装置及方法,属于热声成像技术领域,本发明为解决现有热声成像技术存在成像过程复杂,成像效果差别明显,图像分辨率低,图像的伪迹现象严重,系统的硬件成本高的问题。本发明采用微波发生器产生脉冲微波,通过微波掩膜照射到待测样品上产生热声信号,经由超声耦合液耦合到声探测器,通过两个成角度的单阵元超声探测器同步采集热声信号,经与处理后将采集到的热声信号传输到计算机中进行图像重建与融合处理。本发明包括微波发生器、波导、微波掩膜、支架、单阵元超声探测器、热声信号采集电路和计算机。本发明采用单阵元超声探测器多角度采集热声信号,并通过压缩感知算法进行图像重建,大大降低了系统的硬件成本。



1. 一种基于压缩感知的微波热声成像装置,其特征在于:它包括微波发生器(1)、波导(2)、微波掩膜(3)、伺服电机及驱动器(5)、支架(6)、样品池(7)、单阵元超声探测器(8)、计算机(9)和热声信号采集电路(10),

在样品池(7)的正上方设置有微波掩膜(3),热声信号采集电路(10)的测量矩阵输出端与微波掩膜(3)的输入端相连,热声信号采集电路(10)的微波控制输出端与微波发生器(1)的控制端相连,微波发生器(1)输出的脉冲微波经过波导(2)发射至微波掩膜(3)表面,并透过该微波掩膜(3)照射在样品池(7)内,

两个单阵元超声探测器(8)镜像设置在样品池内左右两侧,所述两个单阵元超声探测器(8)通过支架(6)和伺服电机及驱动器(5)的动力输出端固定连接,所述伺服电机及驱动器(5)能够通过支架(6)控制所述单阵元超声探测器(8)的阵元面的旋转角度每个单阵元超声探测器(8)的回波信号输出端与热声信号采集电路(10)的热声信号输入端相连,热声信号采集电路(10)将处理过的回波数据输出给计算机(9),由计算机(9)基于压缩感知算法完成对回波数据进行图像重建,并将单阵元超声探测器(8)不同角度观测到的图像进行融合处理,获取待测样品(4)的微波热声图像。

2. 根据权利要求1所述的一种基于压缩感知的微波热声成像装置,其特征在于:热声信号采集电路(10)包括主控电路(101)、TGC放大电路(102)、预滤波电路(103)、A/D采样电路(104)、数据采集电路(105)和USB数据传输电路(106),主控电路(101)内置FPGA,主控电路(101)内置的FPGA控制微波掩膜(3)产生压缩感知重建算法的测量矩阵,主控电路(101)内置的FPGA控制触发微波发生器(1)产生脉冲微波,主控电路(101)的串行数据控制端与USB数据传输电路(106)的串行数据控制端相连,主控电路(101)的数据采集信号控制端与数据采集电路(105)的信号控制端相连,主控电路(101)的A/D采样信号控制端与A/D采样电路(104)的信号控制端相连,主控电路(101)的放大信号控制端与TGC放大电路(102)的信号控制端相连,

TGC放大电路(102)接收两个单阵元超声探测器(8)观测的热声信号,TGC放大电路(102)的输出端与预滤波电路(103)的输入端相连,预滤波电路(103)的输出端与A/D采样电路(104)的输入端相连,A/D采样电路(104)的输出端与数据采集电路(105)的输入端相连,数据采集电路(105)的输出端与USB数据传输电路(106)的输入端相连,USB数据传输电路(106)的输出端与计算机(9)的输入端相连。

3. 根据权利要求1所述的一种基于压缩感知的微波热声成像装置,其特征在于:微波发生器(1)采用频率为1.2GHz,脉冲宽度为0.5 $\mu$ s,重复频率为40Hz的微波发生器。

4. 根据权利要求1所述的一种基于压缩感知的微波热声成像装置,其特征在于:微波掩膜(3)采用数字微镜元件DMD。

5. 根据权利要求2所述的一种基于压缩感知的微波热声成像装置,其特征在于:主控电路(101)内置的FPGA选用ALTERA公司的EP2C8F256。

6. 根据权利要求2所述的一种基于压缩感知的微波热声成像装置,其特征在于:TGC放大电路(102)采用ADI公司的AD8332。

7. 根据权利要求2所述的一种基于压缩感知的微波热声成像装置,其特征在于:A/D采样电路(104)采用TI公司的ADS5270。

8. 根据权利要求2所述的一种基于压缩感知的微波热声成像装置,其特征在于:数据

采集电路 (105) 中 FPGA 选用 ALTERA 公司的 EP2C35F672。

9. 根据权利要求 2 所述的一种基于压缩感知的微波热声成像装置,其特征在於:USB 数据传输电路 (106) 中 USB 芯片选用 Cypress 公司的 EZ-USB FX2LP。

10. 基于权利要求 2 所述的一种基于压缩感知的微波热声成像装置的微波热声成像方法,其特征在於:该方法包括以下步骤:

步骤一、将待测样品 (4) 放置在样品池 (7) 内的中心位置,主控电路 (101) 内置的 FPGA 发射脉冲信号触发微波发生器 (1),同时控制微波掩膜 (3) 产生随机矩阵,微波发生器 (1) 产生脉冲微波,脉冲微波经波导 (2)、微波掩膜 (3) 后照射到待测样品 (4) 上,产生热声信号;

步骤二、伺服电机及驱动器 (5) 通过支架 (6) 调整两个单阵元超声探测器 (8) 的观测角度,使两个单阵元超声探测器 (8) 的阵元面的中心与待测样品 (4) 的中心在一条直线上,且所述单阵元超声探测器 (8) 的阵元面对准待测样品 (4) 的水平切面,利用热声信号采集电路 (10) 对热声信号进行同步采集;

主控电路 (101) 激励微波发生器 (1) 开始工作的同时产生扫查时序控制信号,控制数据采集电路 (105) 和热声信号采集电路 (10) 中的其它电路协调工作,TGC 放大电路 (102) 将单阵元超声探测器 (8) 观测的热声信号通过 TGC 放大器来补偿随传播距离增大而逐渐衰减的回波信号,放大后的信号通过预滤波电路 (103) 滤波,然后通过 A/D 采样电路 (104) 转换为数字回波信号;数据采集电路 (105) 接收数字回波数据;

步骤三、数据采集电路 (105) 采用 FPGA 实现对双通道 A/D 转换器回波数据的缓存,通过 USB 数据传输电路 (106) 将回波数据输出到计算机 (9) 内存中;

步骤四、计算机 (9) 对两个单阵元超声探测器 (8) 接收到的回波数据基于压缩感知算法进行图像重建,然后将不同角度观测到的图像进行融合处理,获取待测样品 (4) 的热声图像。

## 基于压缩感知的微波热声成像装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及基于压缩感知的微波热声成像装置及方法,属于热声成像技术领域。

### 背景技术

[0002] 微波热声成像,是由脉冲调制的微波激励、产生超声的成像技术,它既具有微波成像对不同组织的区分能力,又结合了超声成像价格低廉、分辨率较高等优势,利用超声探头和定制的微波源,很容易做到小型便携化和低成本化。微波热声成像既能提供组织的解剖结构信息,也能够反映一定的生理生化特性(如组织介电常数、电导率、声波传导规律以及微波吸收剂量等)。所以微波热声成像可能成为一种新型的高质量无损医学成像技术,具有广阔的应用前景。

[0003] 热声成像技术图像重建的实质是通过超声探头检测到的热声波重建出生物组织内电磁波的吸收系数的分布。目前多采用的扫描与成像方案大概以下三种:

[0004] 第一种是采用聚焦式超声传感器进行圆周扫描,采用滤波反投影算法重建出二维图像,采用此种扫描方案时,成像时间长,需要从各个方向接收热声信号,如果投影的数据不是完备的,将导致重建图像的伪迹严重,图像严重变形;

[0005] 第二种是采用非聚焦式超声传感器接受较大立体角范围内的超声信号,采用合成孔径扫描方案,然后按照一定的成像算法进行信号处理,一次性给出二维成像结果,采用此种扫描方案通常近场和远场成像效果差别明显,图像分辨率低,伪迹现象严重;

[0006] 第三种是采用多元超声阵列探头接受信号,避免探测装置的全方位圆周扫描,采用相控聚焦算法进行成像,缩短了系统的成像时间,但图像横向分辨率较差,系统的硬件成本增加。

[0007] 综上,现有热声成像技术存在成像过程复杂,成像效果差别明显,图像分辨率低,图像的伪迹现象严重,系统的硬件成本高等一系列问题

### 发明内容

[0008] 本发明目的是为了解决现有热声成像技术存在成像过程复杂,成像效果差别明显,图像分辨率低,图像的伪迹现象严重,系统的硬件成本高的问题,提供了一种基于压缩感知的微波热声成像装置及方法。

[0009] 本发明基于压缩感知的微波热声成像装置,它包括微波发生器、波导、微波掩膜、伺服电机及驱动器、支架、样品池、单阵元超声探测器、计算机和热声信号采集电路,

[0010] 待测样品在样品池的正上方设置有微波掩膜,热声信号采集电路的测量矩阵输出端与微波掩膜的输入端相连,热声信号采集电路的微波控制输出端与微波发生器的控制端相连,微波发生器输出的脉冲微波经过波导发射至微波掩膜表面,并透过该微波掩膜照射在样品池内,

[0011] 两个单阵元超声探测器镜像设置在样品池内左右两侧,所述两个单阵元超声探测器通过支架和伺服电机及驱动器的动力输出端固定连接,所述伺服电机及驱动器能够通过

支架控制所述单阵元超声探测器的阵元面的旋转角度每个单阵元超声探测器的回波信号输出端与热声信号采集电路的热声信号输入端相连,热声信号采集电路将处理过的回波数据输出给计算机,由计算机基于压缩感知算法完成对回波数据进行图像重建,并将单阵元超声探测器不同角度观测到的图像进行融合处理,获取待测样品的微波热声图像。

[0012] 热声信号采集电路包括主控电路、TGC 放大电路、预滤波电路、A/D 采样电路、数据采集电路和 USB 数据传输电路,主控电路内置 FPGA,主控电路内置的 FPGA 控制微波掩膜产生压缩感知重建算法的测量矩阵,主控电路内置的 FPGA 控制触发微波发生器产生脉冲微波,主控电路的串行数据控制端与 USB 数据传输电路的串行数据控制端相连,主控电路的数据采集信号控制端与数据采集电路的信号控制端相连,主控电路的 A/D 采样信号控制端与 A/D 采样电路的信号控制端相连,主控电路的放大信号控制端与 TGC 放大电路的信号控制端相连,

[0013] TGC 放大电路接收两个单阵元超声探测器观测的热声信号,TGC 放大电路的输出端与预滤波电路的输入端相连,预滤波电路的输出端与 A/D 采样电路的输入端相连,A/D 采样电路的输出端与数据采集电路的输入端相连,数据采集电路的输出端与 USB 数据传输电路的输入端相连,USB 数据传输电路的输出端与计算机的输入端相连。

[0014] 基于如上所述的一种基于压缩感知的微波热声成像装置的微波热声成像方法包括以下步骤:

[0015] 步骤一、将待测样品放置在样品池内的中心位置,主控电路内置的 FPGA 发射脉冲信号触发微波发生器,同时控制微波掩膜产生随机矩阵,微波发生器产生脉冲微波,脉冲微波经波导、微波掩膜后照射到待测样品上,产生热声信号;

[0016] 步骤二、伺服电机及驱动器通过支架调整两个单阵元超声探测器的观测角度,使两个单阵元超声探测器的阵元面的中心与待测样品的中心在一条直线上,且所述单阵元超声探测器的阵元面对准待测样品的水平切面,利用热声信号采集电路对热声信号进行同步采集;

[0017] 主控电路激励微波发生器开始工作的同时产生扫查时序控制信号,控制数据采集电路和热声信号采集电路中的其它电路协调工作,TGC 放大电路将单阵元超声探测器观测的热声信号通过 TGC 放大器来补偿随传播距离增大而逐渐衰减的回波信号,放大后的信号通过预滤波电路滤波,然后通过 A/D 采样电路转换为数字回波信号;数据采集电路接收数字回波数据;

[0018] 步骤三、数据采集电路采用 FPGA 实现对双通道 A/D 转换器回波数据的缓存,通过 USB 数据传输电路将回波数据输出到计算机内存中;

[0019] 步骤四、计算机对两个单阵元超声探测器接收到的回波数据基于压缩感知算法进行图像重建,然后将不同角度观测到的图像进行融合处理,获取待测样品的热声图像。

[0020] 本发明的优点:

[0021] 1、本发明采用单阵元探测器代替阵列探测器,固定位置代替圆周采集,减少了热声成像系统硬件成本,降低了采集时间,实现了热声快速成像。

[0022] 2、本发明通过压缩感知重建算法进行热声图像重建,可以利用热声信号的可稀疏性采用较少的采样数据进行热声图像重建,同时保证图像的高分辨率。

[0023] 3、本发明通过伺服电机及驱动器在线调整超声探测器观测角度及纵向位置,不仅

可以通过融合技术提高热声图像的分辨率,而且可以进一步实现热声三维成像;

#### 附图说明

[0024] 图 1 是本发明装置结构示意图;

[0025] 图 2 是本发明装置的待测样品示意图;

[0026] 图 3 是利用基于压缩感知的微波热声成像装置的重建图像。

#### 具体实施方式

[0027] 具体实施方式一:下面结合图 1 说明本实施方式,本实施方式基于压缩感知的微波热声成像装置,它包括微波发生器 1、波导 2、微波掩膜 3、伺服电机及驱动器 5、支架 6、样品池 7、单阵元超声探测器 8、计算机 9 和热声信号采集电路 10,

[0028] 在样品池 7 的正上方设置有微波掩膜 3,热声信号采集电路 10 的测量矩阵输出端与微波掩膜 3 的输入端相连,热声信号采集电路 10 的微波控制输出端与微波发生器 1 的控制端相连,微波发生器 1 输出的脉冲微波经过波导 2 发射至微波掩膜 3 表面,并透过该微波掩膜 3 照射在样品池 7 内,

[0029] 两个单阵元超声探测器 8 镜像设置在样品池内左右两侧,所述两个单阵元超声探测器 8 通过支架 6 和伺服电机及驱动器 5 的动力输出端固定连接,所述伺服电机及驱动器 5 能够通过支架 6 控制所述单阵元超声探测器 8 的阵元面的旋转角度每个单阵元超声探测器 8 的回波信号输出端与热声信号采集电路 10 的热声信号输入端相连,热声信号采集电路 10 将处理过的回波数据输出给计算机 9,由计算机 9 基于压缩感知算法完成对回波数据进行图像重建,并将单阵元超声探测器 8 不同角度观测到的图像进行融合处理,获取待测样品 4 的微波热声图像。

[0030] 热声信号采集电路 10 包括主控电路 101、TGC 放大电路 102、预滤波电路 103、A/D 采样电路 104、数据采集电路 105 和 USB 数据传输电路 106,主控电路 101 内置 FPGA,主控电路 101 内置的 FPGA 控制微波掩膜 3 产生压缩感知重建算法的测量矩阵,主控电路 101 内置的 FPGA 控制触发微波发生器 1 产生脉冲微波,主控电路 101 的串行数据控制端与 USB 数据传输电路 106 的串行数据控制端相连,主控电路 101 的数据采集信号控制端与数据采集电路 105 的信号控制端相连,主控电路 101 的 A/D 采样信号控制端与 A/D 采样电路 104 的信号控制端相连,主控电路 101 的放大信号控制端与 TGC 放大电路 102 的信号控制端相连,

[0031] TGC 放大电路 102 接收两个单阵元超声探测器 8 观测的热声信号,TGC 放大电路 102 的输出端与预滤波电路 103 的输入端相连,预滤波电路 103 的输出端与 A/D 采样电路 104 的输入端相连,A/D 采样电路 104 的输出端与数据采集电路 105 的输入端相连,数据采集电路 105 的输出端与 USB 数据传输电路 106 的输入端相连,USB 数据传输电路 106 的输出端与计算机 9 的输入端相连。

[0032] 微波发生器 1 采用频率为 1.2GHz,脉冲宽度为 0.5 $\mu$ s,重复频率为 40Hz 的微波发生器。

[0033] 微波掩膜 3 采用数字微镜元件 DMD,DMD 上微镜片方向根据计算机 9 生成的服从高斯分布的随机矩阵来调制。

[0034] DMD 是在半导体芯片上布置一个由微镜片所组成的矩阵,每一个微镜片控制投影

画面中的一个像素,微镜片的数量与投影画面的分辨率相符,这些微镜皆悬浮着并可向两侧倾斜  $10^{\circ}$  左右,从而可构成启通和断开两种工作状态,DMD 的微镜片方向根据计算机 11 生成的服从高斯分布的随机矩阵来调制。

[0035] 主控电路 101 内置的 FPGA 选用 ALTERA 公司的 EP2C8F256。

[0036] TGC 放大电路 102 采用 ADI 公司的 AD8332。

[0037] A/D 采样电路 104 采用 TI 公司的 ADS5270。

[0038] 数据采集电路 105 中 FPGA 选用 ALTERA 公司的 EP2C35F672。

[0039] USB 数据传输电路 106 中 USB 芯片选用 Cypress 公司的 EZ-USB FX2LP。

[0040] 计算机 11 选用普通 PC 机,内存在 512M 以上,人机交互界面采用 Visual C++ 开发环境实现。

[0041] 本发明提供了一种基于压缩感知的微波热声成像装置,可以成功实现生物组织的二维和三维热声层析成像。装置采用频率为 1.2GHz 的脉冲微波作为激发源,用两个单阵元的超声探测器成角度接收信号,然后用压缩感知的方法重建图像。与现有方法相比,该系统采用单阵元超声探测器接收热声信号,避免了探测装置的全方位旋转扫描,从而提高了系统的稳定性和时间分辨率,降低了硬件成本;通过支架的纵向位置移动可以实现热声的三维成像;运用压缩感知方法重建样品的吸收分布,可以利用热声信号的可稀疏性采用较少的采样数据进行热声图像重建,同时保证图像的高分辨率。

[0042] 本发明的工作原理是:主控电路发送脉冲信号给微波发生器,同时控制微波掩膜产生随机矩阵,微波发生器产生脉冲微波通过微波掩膜照射到待测样品上,产生热声信号;伺服电机及驱动器通过支架可调整两个单阵元超声探测器的观测角度,通过支架的升降调整两个单阵元超声探测器的纵向位置;利用单阵元超声探测器同步观测热声信号,热声信号采集电路对热声信号进行同步采集、时间增益补偿放大、信号预滤波、A/D 采样转换和数据采集,然后通过 USB 接口将数据输入到计算机内存中,最后在计算机上进行热声图像重建与融合处理。

[0043] 本发明伺服电机及驱动器 5 通过支架 6 与单阵元探测器 8 机械连接,伺服电机及驱动器 5 通过支架 6 可调整两个单阵元超声探测器 8 的观测角度,采集不同角度的热声信号进行图像重建后进行融合;通过支架 6 的升降调整两个单阵元超声探测器 8 的纵向位置,采集不同断层的热声信号进行重建后实现热声三维成像。

[0044] 具体实施方式二:基于实施方式一所述的一种基于压缩感知的微波热声成像装置的微波热声成像方法,该方法包括以下步骤:

[0045] 步骤一、将待测样品 4 放置在样品池 7 内的中心位置,主控电路 101 内置的 FPGA 发射脉冲信号触发微波发生器 1,同时控制微波掩膜 3 产生随机矩阵,微波发生器 1 产生脉冲微波,脉冲微波经波导 2、微波掩膜 3 后照射到待测样品 4 上,产生热声信号;

[0046] 步骤二、伺服电机及驱动器 5 通过支架 6 调整两个单阵元超声探测器 8 的观测角度,使两个单阵元超声探测器 8 的阵元面的中心与待测样品 4 的中心在一条直线上,且所述单阵元超声探测器 8 的阵元面对准待测样品 4 的水平切面,利用热声信号采集电路 10 对热声信号进行同步采集;

[0047] 主控电路 101 激励微波发生器 1 开始工作的同时产生扫描时序控制信号,控制数据采集电路 105 和热声信号采集电路 10 中的其它电路协调工作,TGC 放大电路 102 将单阵

元超声探测器 8 观测的热声信号通过 TGC 放大器来补偿随传播距离增大而逐渐衰减的回波信号,放大后的信号通过预滤波电路 103 滤波,然后通过 A/D 采样电路 104 转换为数字回波信号;数据采集电路 105 接收数字回波数据;

[0048] 步骤三、数据采集电路 105 采用 FPGA 实现对双通道 A/D 转换器回波数据的缓存,通过 USB 数据传输电路 106 将回波数据输出到计算机 9 内存中;

[0049] 步骤四、计算机 9 对两个单阵元超声探测器 8 接收到的回波数据基于压缩感知算法进行图像重建,然后将不同角度观测到的图像进行融合处理,获取待测样品 4 的热声图像。

[0050] 图 2 是本发明装置的待测样品示意图,图 3 是利用基于压缩感知的微波热声成像装置的重建图像,可以看出,重建图像分辨率较高,能够很好的反应原待测样品的结构细节,并且有效的抑制了伪迹现象。

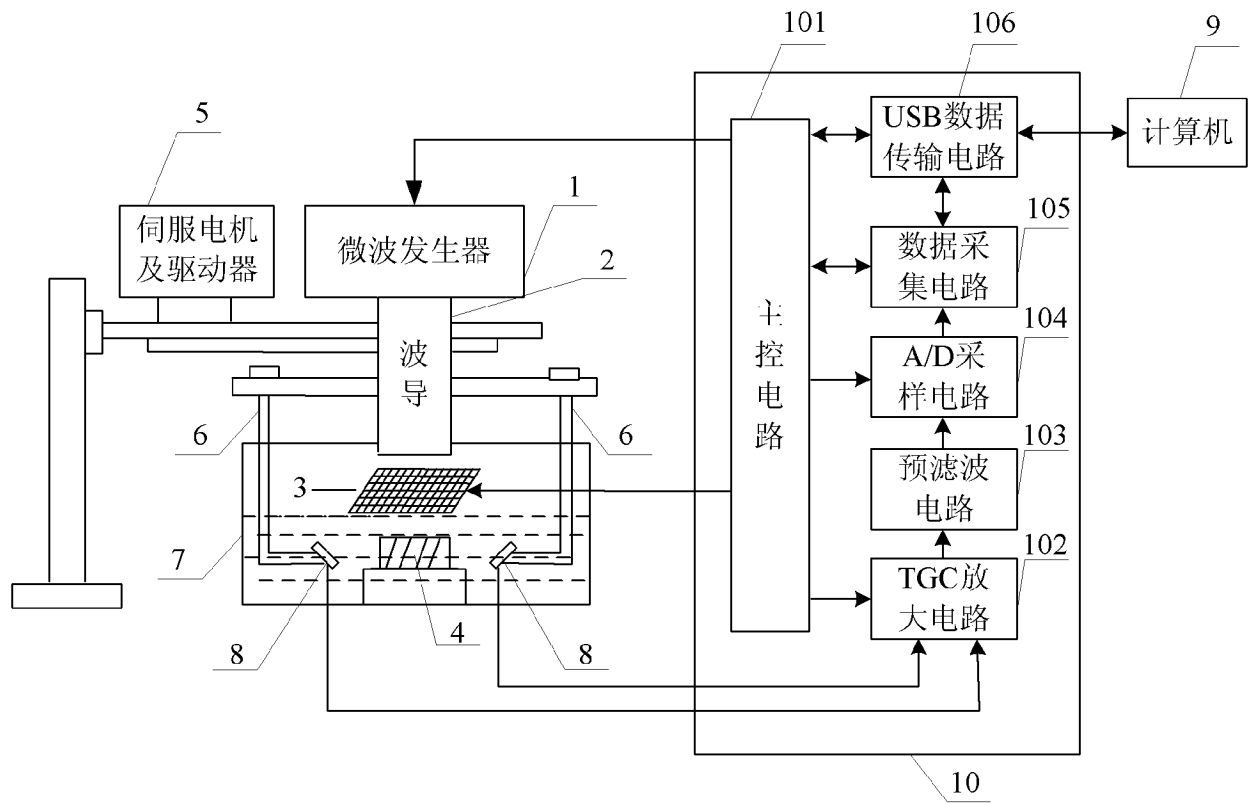


图 1

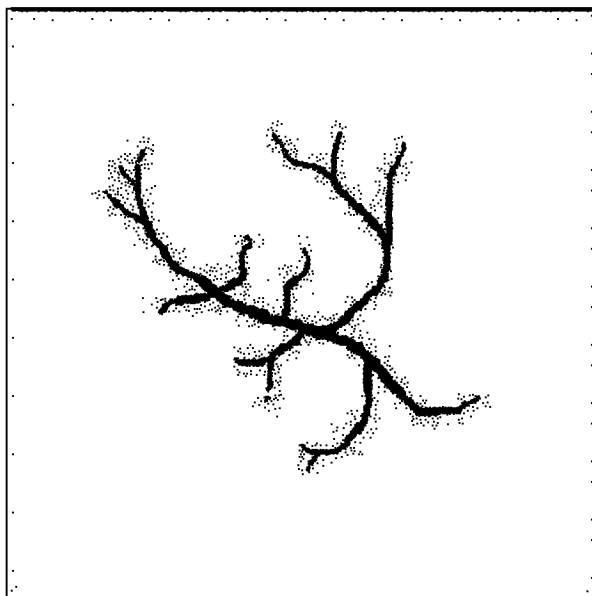


图 2



图 3

专利名称(译)	基于压缩感知的微波热声成像装置及方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN102058416A</a>	公开(公告)日	2011-05-18
申请号	CN201010586862.9	申请日	2010-12-14
[标]申请(专利权)人(译)	哈尔滨工业大学		
申请(专利权)人(译)	哈尔滨工业大学		
当前申请(专利权)人(译)	哈尔滨工业大学		
[标]发明人	孙明健 冯乃章 沈毅 李建刚 马立勇 伍政华		
发明人	孙明健 冯乃章 沈毅 李建刚 马立勇 伍政华		
IPC分类号	A61B8/00 A61B5/00		
其他公开文献	CN102058416B		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

摘要(译)

基于压缩感知的微波热声成像装置及方法，属于热声成像技术领域，本发明为解决现有热声成像技术存在成像过程复杂，成像效果差别明显，图像分辨率低，图像的伪迹现象严重，系统的硬件成本高的问题。本发明采用微波发生器产生脉冲微波，通过微波掩膜照射到待测样品上产生热声信号，经由超声耦合液耦合到声探测器，通过两个成角度的单阵元超声探测器同步采集热声信号，经处理后将采集到的热声信号传输到计算机中进行图像重建与融合处理。本发明包括微波发生器、波导、微波掩膜、支架、单阵元超声探测器、热声信号采集电路和计算机。本发明采用单阵元超声探测器多角度采集热声信号，并通过压缩感知算法进行图像重建，大大降低了系统的硬件成本。

