



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112924906 B

(45) 授权公告日 2022. 04. 05

(21) 申请号 202110101732.X

(22) 申请日 2021.01.26

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112924906 A

(43) 申请公布日 2021.06.08

(73) 专利权人 西安交通大学
地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72) 发明人 解社娟 李越 许盼盼 陈振茂
唐敬达 杨航

(74) 专利代理机构 西安智大知识产权代理事务所 61215
代理人 何会侠

(51) Int. Cl.
G01R 33/00 (2006.01)
G01R 33/02 (2006.01)

(56) 对比文件

- CN 107765198 A, 2018.03.06
 - CN 110501780 A, 2019.11.26
 - CN 102692609 A, 2012.09.26
 - CN 104483498 A, 2015.04.01
 - CN 110179463 A, 2019.08.30
 - CN 104132736 A, 2014.11.05
 - CN 104101444 A, 2014.10.15
 - US 2019154765 A1, 2019.05.23
 - CN 110456288 A, 2019.11.15
 - CN 108896459 A, 2018.11.27
 - CN 1335805 A, 2002.02.13
- 乔严程. 基于交变磁场红外热像的磁性水凝胶缺陷检测.《机械工程学报》.2020,第56卷(第18期),第1-6页.

审查员 罗敏

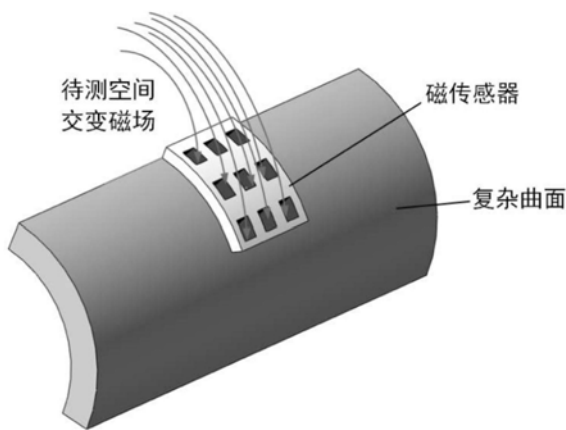
权利要求书2页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

基于磁热效应的无线柔性磁传感器及制备方法和检测方法

(57) 摘要

基于磁热效应的无线柔性磁传感器及制备方法和检测方法,该磁传感器包括气凝胶基底和附着在气凝胶基底表面的具有磁热效应的磁性纳米粒子;本发明还公开了该磁传感器的制备方法和检测方法,利用该传感器对交变磁场进行测定时,首先将磁传感器放置于待测交变磁场中,然后利用数据采集装置给红外相机一个触发信号;红外相机可采集得到磁传感器表面的不同时刻的温度分布信息,通过分析红外相机采集到的温度分布图像,可得磁传感器表面不同位置的升温变化曲线,进而可确定传感器表面不同位置的交变磁场强度的空间分布;本发明能够为交变磁场强度的空间分布的测定提供可靠的方法,该传感器具有无线、柔性、高效、非接触、检测范围大、空间分辨率高等优点。



1. 基于磁热效应的无线柔性磁传感器,包括气凝胶基底和附着在气凝胶基底表面的具有磁热效应的磁性纳米粒子;

所述气凝胶基底具有高柔性,能适应复杂曲面结构;其热传导系数低,为0.020-0.026W/(m·K),能够承受最高温度为300℃;并且气凝胶易加工,易成型;

该传感器使用的磁性纳米粒子在交变磁场中发生弛豫耗散现象;超细的磁性纳米粒子在交变磁场下的弛豫耗散来源于尼尔弛豫,单个磁性纳米粒子由于尼尔弛豫耗散产生的热量为

$$P = \frac{(mH\omega\tau)^2}{2\tau kT\rho V(1+\omega^2\tau^2)} \quad (1)$$

式中:m表示磁性纳米粒子的磁矩;H表示磁场强度; ω 表示激励信号的角频率;k表示玻尔兹曼常数;T表示环境温度; ρ 表示磁性纳米粒子的密度;V表示磁性纳米粒子的体积; τ 表示尼尔弛豫时间;

式(1)中的尼尔弛豫时间 τ 表示为

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{KV}{kT}} \quad (2)$$

式中: τ_0 表示时间常数,取 10^{-9} s;K表示各向异性常数;V表示磁性纳米粒子的体积;k表示玻尔兹曼常数;T表示环境温度;

磁性纳米粒子在交变磁场的作用下由于弛豫耗散现象产生热量,温度升高;产生的热量与磁场强度及磁场频率均相关,在磁场频率一定的情况下,则尼尔弛豫热量仅与磁场强度相关;磁场强度越高,磁性纳米粒子弛豫耗散产生的热量越多,传感器温升速率越高;

其特征在于:所述的基于磁热效应的无线柔性磁传感器的制备方法,具体步骤如下:

首先将气凝胶作为基底,制作与其尺寸大小相同的PDMS硅橡胶,并用激光切割机在PDMS硅橡胶上刻槽,然后将PDMS硅橡胶粘结在气凝胶基底上,在PDMS硅橡胶槽中填充具有磁热效应的磁性纳米粒子,最终去掉粘结在气凝胶基底上的PDMS硅橡胶,得到基于磁热效应的无线柔性磁传感器。

2. 根据权利要求1所述的基于磁热效应的无线柔性磁传感器,其特征在于:所述磁性纳米粒子为四氧化三铁纳米粒子。

3. 权利要求1或2所述的基于磁热效应的无线柔性磁传感器的磁场空间分布检测方法,其特征在于:

步骤1:搭建传感器检测系统,具体步骤如下:

该传感器检测系统由数据采集装置、磁传感器和红外相机组成;其中,数据采集装置与红外相机相连,向红外相机发射触发信号;磁传感器放置于待测交变磁场中,红外相机固定于磁传感器上方,在接收到来自数据采集装置的触发信号后开始采集图像并将图像传输到数据采集装置;

步骤2:利用磁传感器对交变磁场进行测定,具体步骤如下:

首先将基于磁热效应的无线柔性磁传感器置于待测磁场中,其次设置红外相机采集相关参数,包括采样频率和总采样时间;然后给红外相机触发信号,红外相机开始采集信号;

红外相机采集得到磁传感器表面的不同时刻的温度分布信息,通过分析红外相机采集

到的温度分布图像,能够得磁传感器表面不同位置的温升变化曲线;磁传感器表面的磁性纳米粒子在交变磁场的作用下由于弛豫耗散现象产生热量,温度升高;交变磁场作用下磁性纳米粒子产生的热量与磁场强度直接相关;磁场强度越高,在交流磁场作用下磁性纳米粒子弛豫耗散产生的热量越多,传感器温升速率越高;进而根据传感器表面温升速率确定传感器表面不同位置的交变磁场强度的空间分布。

4.根据权利要求3所述的磁场空间分布检测方法,其特征在于:静磁场下磁性纳米粒子不发热,适用于交变磁场检测。

基于磁热效应的无线柔性磁传感器及制备方法和检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及磁传感器开发领域,具体涉及一种基于磁热效应的无线柔性磁传感器及制备方法和检测方法。

背景技术

[0002] 磁场是一样重要的物理参数,随着现代技术的发展,电磁场早已应用在国防安全、电子通讯、电视广播、定位导航、家用电器等。在科学研究方面,利用电磁场的正负离子对撞机、质谱仪、托卡马克等装置对社会的发展有着深远的影响。强磁场作为一种极端条件的特殊电磁场形态,能够将高强度的能量无接触地传递到物质的原子尺度,改变原子和分子的排列、匹配和迁移等行为,从而对材料的组织和性能产生影响,强磁场加工已成为开发新型材料的一种重要技术手段。目前,强磁场材料科学作为一门新兴的交叉学科引起了国际上的广泛重视。强磁场可用于制备超导材料、具有各向异性的磁性材料以及金属材料的提纯等方面,应用广泛。除了强磁场外,高频电磁场在工业应用也十分广泛,包括高频电磁感应加热、高频介质加热、无线电通信、广播电视以及医学中的高频手术刀等。因此,对于强磁场以及高频电磁场的检测是十分必要的。随着现代电磁学的发展,磁传感器的发展也十分迅速,它在国民经济、科学技术、军事、医学等领域里发挥着极为重要的作用。

[0003] 磁性是磁性粒子的显著特性,当磁性粒子处于单畴尺寸时,矫顽力将呈现极大值,磁性粒子进入超顺磁状态,通过磁和力以及磁和热能之间的转换能够实现对磁性本身的利用。超细磁性纳米粒子在交变磁场作用下会发生弛豫耗散现象,产生的热量与交变磁场强度直接相关,交变磁场强度越高,磁性粒子弛豫耗散产生的热量越多,温升速率越高。因此,可以通过对磁性粒子在交变磁场作用下温升速率的测定实现对交变磁场磁场强度的测定。

[0004] 红外检测是一种新兴的非接触式无损检测技术,具有实时、准确、快速、灵敏度高等优点。红外检测通过红外相机接收物体发射的红外线,将其温度分布以图像数据进行显示,从而能够准确判断物体表面温度分布及变化状况。红外相机能够检测出物体表面细微的热状态变化,因此可以实现对传感器表面磁性粒子温度变化的精确检测。

[0005] 鉴于此,本发明提出了一种基于磁热效应的无线柔性磁传感器及空间磁场检测方法,可以实现无线、柔性、高分辨率、非接触的交变磁场磁场强度空间分布的定量检测。

发明内容

[0006] 为了达到上述检测交变磁场的磁场强度空间分布的目标,本发明的目的在于提供一种基于磁热效应的无线柔性磁传感器及制备方法和检测方法,本发明能够为磁场强度空间分布的测定提供可靠的方法,该磁传感器具有无线、柔性、高分辨率、非接触、检测范围大等优点,填补了目前该领域的国际空白,可广泛应用于磁场强度空间分布检测中。

[0007] 为达到以上目的,本发明采用如下技术方案:

[0008] 基于磁热效应的无线柔性磁传感器,包括气凝胶基底和附着在气凝胶基底表面的具有磁热效应的磁性纳米粒子;

[0009] 所述气凝胶基底具有高柔性,能适应复杂曲面结构;其热传导系数低,为0.020-0.026W/(m·K),能够承受最高温度为300℃;并且气凝胶易加工,易成型;

[0010] 该传感器使用的磁性纳米粒子在交变磁场中发生弛豫耗散现象;超细的磁性纳米粒子在交变磁场下的弛豫耗散来源于尼尔弛豫,单个磁性纳米粒子由于尼尔弛豫耗散产生的热量为

$$[0011] \quad P = \frac{(mH\omega\tau)^2}{2\tau kT\rho V(1+\omega^2\tau^2)} \quad (1)$$

[0012] 式中:m表示磁性纳米粒子的磁矩;H表示磁场强度; ω 表示激励信号的角频率;k表示玻尔兹曼常数;T表示环境温度; ρ 表示磁性纳米粒子的密度;V表示磁性纳米粒子的体积; τ 表示尼尔弛豫时间;

[0013] 式(1)中的尼尔弛豫时间 τ 表示为

$$[0014] \quad \tau = \tau_0 e^{\frac{KV}{kT}} \quad (2)$$

[0015] 式中: τ_0 表示时间常数,取 10^{-9} s;K表示各向异性常数;V表示磁性纳米粒子的体积;k表示玻尔兹曼常数;T表示环境温度;

[0016] 磁性纳米粒子在交变磁场的作用下由于弛豫耗散现象产生热量,温度升高;产生的热量与磁场强度及磁场频率均相关,在磁场频率一定的情况下,则尼尔弛豫热量仅与磁场强度相关;磁场强度越高,磁性纳米粒子弛豫耗散产生的热量越多,传感器温升速率越高。

[0017] 所述磁性纳米粒子为四氧化三铁纳米粒子。

[0018] 所述的基于磁热效应的无线柔性磁传感器的制备方法,具体步骤如下:

[0019] 首先将气凝胶作为基底,制作与其尺寸大小相同的PDMS硅橡胶,并用激光切割机在PDMS硅橡胶上刻槽,然后将PDMS硅橡胶粘结在气凝胶基底上,在PDMS硅橡胶槽中填充具有磁热效应的磁性纳米粒子,最终去掉粘结在气凝胶基底上的PDMS硅橡胶,得到基于磁热效应的无线柔性磁传感器。

[0020] 所述的基于磁热效应的无线柔性磁传感器的磁场空间分布检测方法,

[0021] 步骤1:搭建传感器检测系统,具体步骤如下:

[0022] 该传感器检测系统由数据采集装置、磁传感器和红外相机组成;其中,数据采集装置与红外相机相连,向红外相机发射触发信号;磁传感器放置于待测交变磁场中,红外相机固定于磁传感器上方,在接收到来自数据采集装置的触发信号后开始采集图像并将图像传输到数据采集装置;

[0023] 步骤2:利用磁传感器对交变磁场进行测定,具体步骤如下:

[0024] 首先将基于磁热效应的无线柔性磁传感器置于待测磁场中,其次设置红外相机采集相关参数,包括采样频率和总采样时间;然后给红外相机触发信号,红外相机开始采集信号;

[0025] 红外相机采集得到磁传感器表面的不同时刻的温度分布信息,通过分析红外相机采集到的温度分布图像,能够得磁传感器表面不同位置的温升变化曲线;磁传感器表面的磁性纳米粒子在交变磁场的作用下由于弛豫耗散现象产生热量,温度升高;交变磁场作用

下磁性纳米粒子产生的热量与磁场强度直接相关;磁场强度越高,在交流磁场作用下磁性纳米粒子弛豫耗散产生的热量越多,传感器温升速率越高;进而根据传感器表面温升速率确定传感器表面不同位置的交变磁场强度的空间分布。

[0026] 所述的磁场空间分布检测方法,静磁场下磁性纳米粒子不发热,适用于交变磁场检测。

[0027] 和现有技术相比,本发明的优点如下:

[0028] 1) 首次提出了基于磁热效应的无线柔性磁传感器,将磁性粒子用于制作磁传感器,与传统的传感器相比,该磁传感器具有柔性、可适应复杂的检测环境,具有高的空间分辨率等优点,可快速测定磁场强度的空间分布;

[0029] 2) 本发明利用红外相机对磁性粒子温度进行测定,具有高效、非接触和检测范围大的特点,有良好的应用前景。

附图说明

[0030] 图1为本发明提出的磁传感器示意图。

[0031] 图2为本发明提出的磁传感器的制备方法示意图。

[0032] 图3为本发明提出的磁传感器验证实验系统示意图。

[0033] 图4为本发明的应用场景图。

[0034] 图5为本发明在交变磁场中磁性粒子温升曲线图。

具体实施方式

[0035] 如图1所示,本发明基于磁热效应的无线柔性磁传感器的结构简单,包括气凝胶基底和磁性纳米粒子,气凝胶基底具有柔性,如图5所示,本发明基于磁热效应的无线柔性磁传感器能够适应复杂曲面。

[0036] 下面结合图2、图3和具体实施例对本发明作进一步描述。

[0037] 如图2所示,制备图1所示的基于磁热效应的无线柔性磁传感器的方法,具体步骤如下:

[0038] 首先将5mm厚度的气凝胶作为底板,制作与其尺寸大小相同的PDMS硅橡胶,并用激光切割机在PDMS硅橡胶上刻槽,然后将PDMS硅橡胶粘结在气凝胶基底上,在PDMS硅橡胶槽中填充具有磁热效应的20nm大小的 Fe_3O_4 ,最终去掉粘结在气凝胶基底上的PDMS硅橡胶,得到基于磁热效应的无线柔性传感器。

[0039] 本发明所述的基于磁热效应的无线柔性磁传感器的磁场空间分布检测方法,

[0040] 步骤1:搭建传感器验证实验系统,具体步骤如下:

[0041] 如图3所示,首先,搭建该传感器检测系统,该检测系统包括磁传感器2、红外相机6、数据采集装置1。然后,为了提供已知频率和磁场分布的空间磁场,增加了激励线圈3、加热装置4、冷却装置5,为了将磁传感器稳定放置于已知磁场中,使用有机玻璃板7;其中,数据采集装置1与红外相机6相连,并给加热装置4和红外相机6同步触发信号;红外相机6固定于磁传感器2上方,在接收到来自数据采集装置1的触发信号后开始采集图像并将其传输到数据采集装置1;磁传感器2放置于激励线圈3上方待测磁场处,激励线圈3和磁传感器2之间为有机玻璃板7;加热装置4通过施加脉冲激励电流使激励线圈3产生交变磁场,冷却装置5

与加热装置4连接,对连接在加热装置4上的激励线圈3进行冷却;

[0042] 步骤2:利用磁传感器2对交变磁场进行测定,具体步骤如下:

[0043] 首先选择激励线圈3,实施例中选择的是多匝线圈。将基于磁热效应的无线柔性磁传感器2置于待测磁场处,实施例磁传感器2放置于激励线圈3中心,磁传感器2下布置有机玻璃板7,有机玻璃板7与线圈3间有空气间隙;然后对红外相机6进行温度校准,校准完毕后进行调焦操作,保证磁传感器2在红外相机6中的图像清晰,同时红外相机6与激励线圈3之间的距离必须大于500mm,防止激励线圈产生的磁场影响红外相机的性能;其次在数据采集装置1中设置加热装置4的脉冲激励电流相关参数,脉冲激励电流350A、激励频率为325kHz,激励时间400s;在数据采集装置1中设置红外相机6采集相关参数,采样频率20Hz和总采样时间450s;其次用数据采集装置1给加热装置4和红外相机6同步触发信号,同时冷却装置5与加热装置4相连对激励线圈3进行冷却,加热装置4接收到触发信号后对激励线圈3施加脉冲激励电流,在磁传感器2周围空间形成交变磁场;

[0044] 该磁传感器使用的磁性粒子为超细磁性纳米粒子,在交变磁场中会发生弛豫耗散现象;超细磁性纳米粒子在交变磁场下的弛豫耗散来源于尼尔弛豫,单个磁性粒子由于尼尔弛豫耗散产生的热量为

$$[0045] \quad P = \frac{(mH\omega\tau)^2}{2\tau kT\rho V(1+\omega^2\tau^2)} \quad (1)$$

[0046] 式中:m表示磁性粒子的磁矩;H表示磁场强度; ω 表示激励信号的角频率;k表示玻尔兹曼常数;T表示环境温度; ρ 表示磁性粒子的密度;V表示磁性粒子的体积; τ 表示尼尔弛豫时间;

[0047] 式(1)中的尼尔弛豫时间 τ 表示为

$$[0048] \quad \tau = \tau_0 e^{\frac{KV}{kT}} \quad (2)$$

[0049] 式中: τ_0 表示时间常数,取 10^{-9} s;K表示各向异性常数;V表示磁性粒子的体积;k表示玻尔兹曼常数;T表示环境温度;

[0050] 磁性粒子在交变磁场的作用下由于弛豫耗散现象产生热量,温度升高;交变磁场作用下磁性粒子产生的热量与磁场强度直接相关;磁场强度越高,在交流磁场作用下磁性粒子弛豫耗散产生的热量越多,磁传感器温升速率越高;当红外相机6接收到来自数据采集装置1发出的触发信号时,开始采集传感器2中磁性粒子的温度变化。如图5所示,实施例磁性粒子区域200s上升4.6℃;分析红外相机6采集的图像序列,对交变磁场的磁场强度的空间分布进行评定。

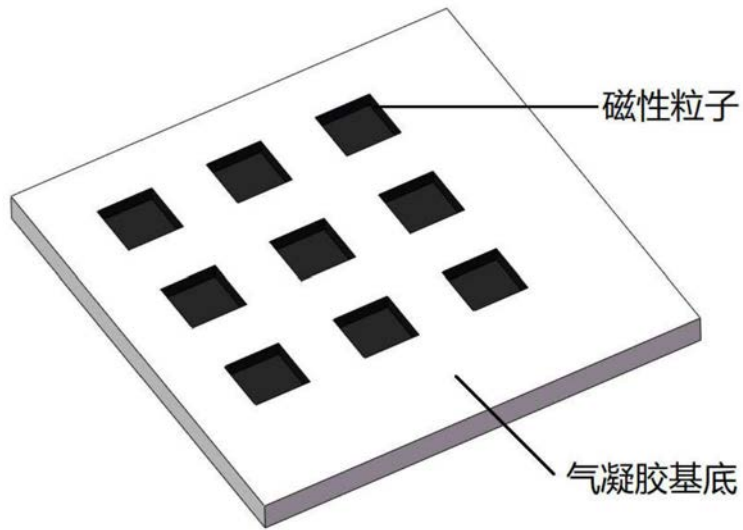


图1

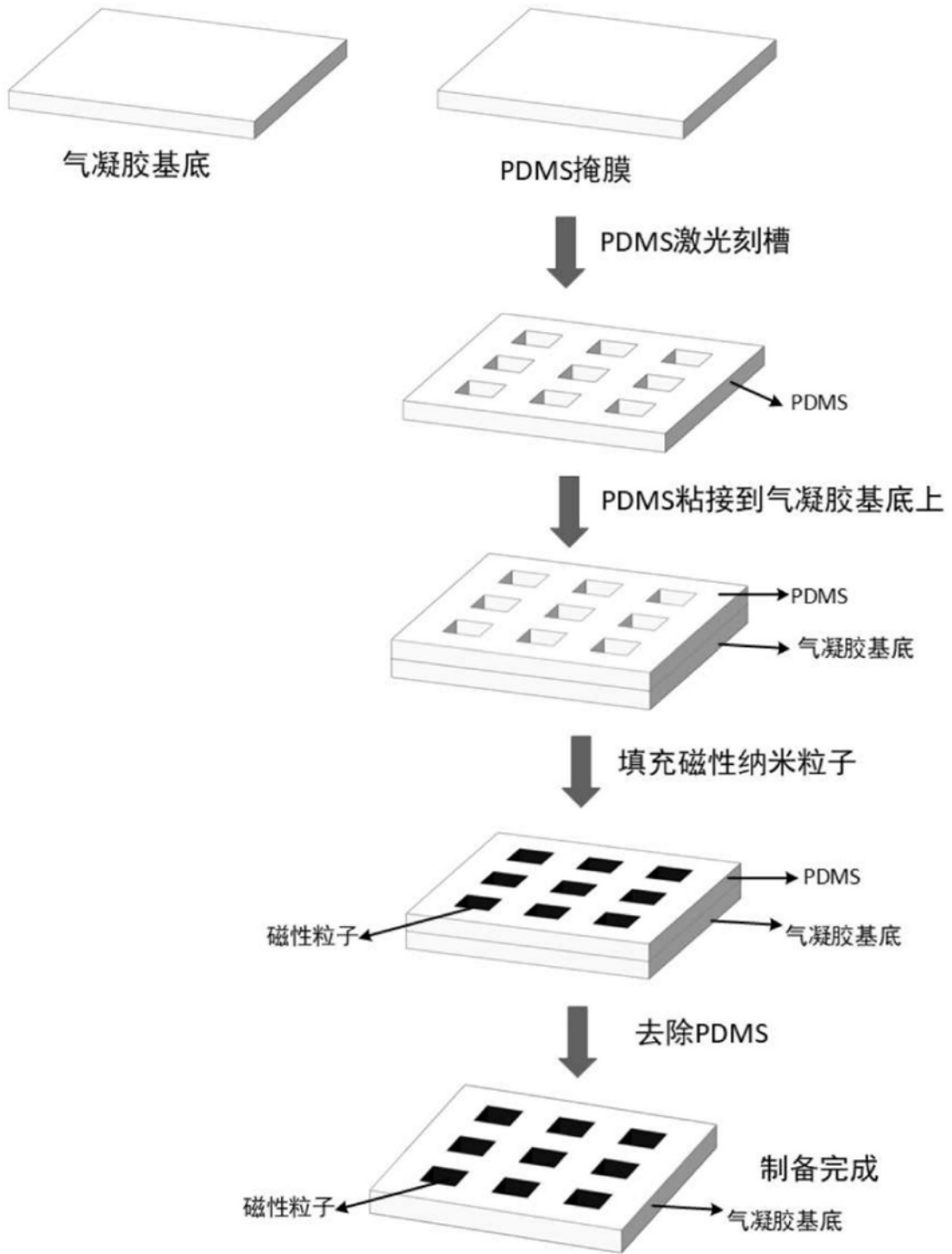


图2

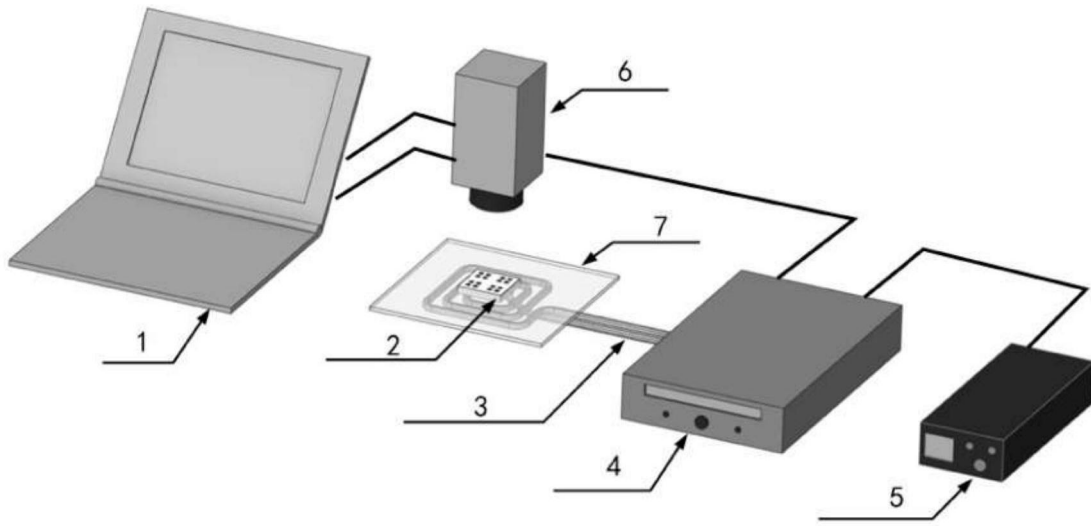


图3

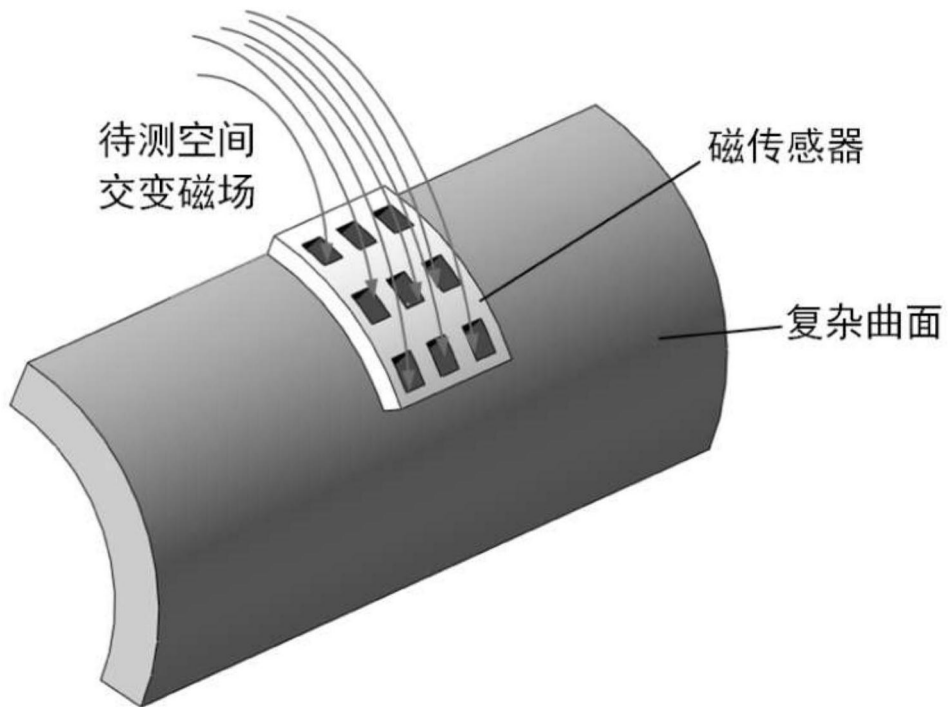


图4

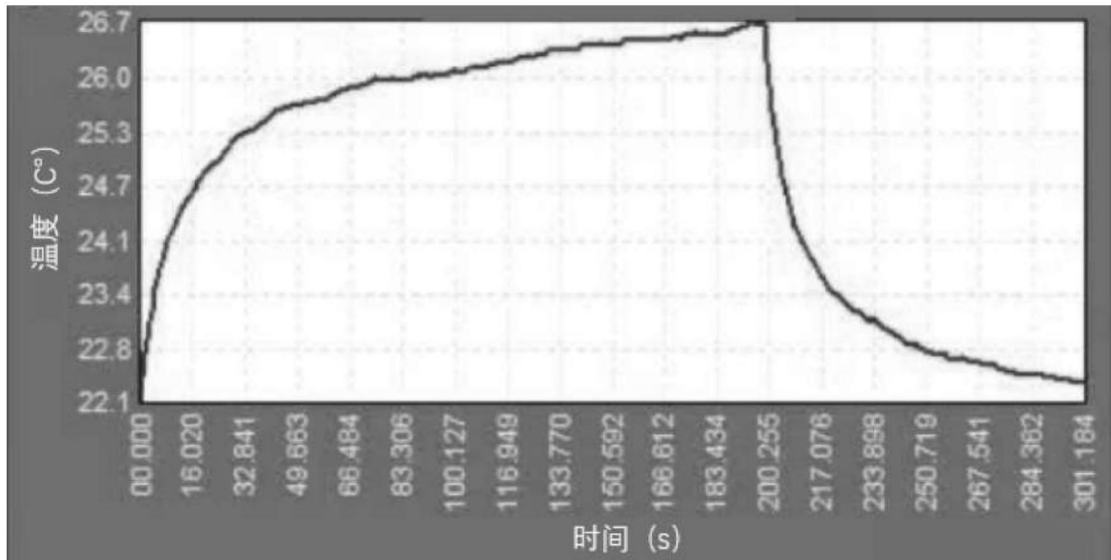


图5