



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113176455 A

(43) 申请公布日 2021.07.27

(21) 申请号 202110442854.5

(22) 申请日 2021.04.23

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号

(72) 发明人 田昊 李飞 乔辽 高翔宇

贾楠香 徐卓

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任  
公司 61200

代理人 贺小停

(51) Int. Cl.

G01R 29/22 (2006.01)

G01R 1/04 (2006.01)

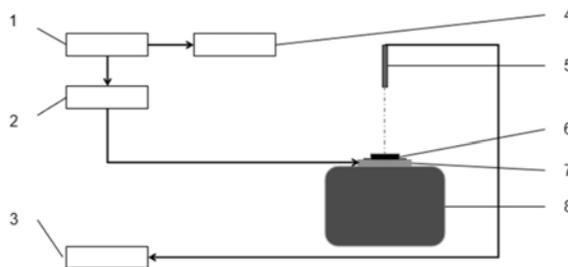
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种强电场下铁电晶体压电性能参数的测量装置及方法

(57) 摘要

本发明提供了一种强电场下铁电晶体压电性能参数的测量装置及方法,其特征在于,包括外加电场单元、测试夹具和非接触激光测位仪,其中,已极化待测铁电单晶安装在测试夹具上;所述外加电场单元通过测试夹具与已极化待测铁电单晶电连接,用于向已极化待测铁电单晶施加设定频率和电压幅值的交流电;非接触激光测位仪用于测量已极化待测铁电单晶的应变量,并将采集到的应变量传输至PC处理器;所述PC处理器用于根据接收到的应变量计算已极化待测铁电单晶的压电常数;本装置操作方便易控、安全性高。



1. 一种强电场下铁电晶体压电性能参数的测量装置,其特征在于,包括外加电场单元、测试夹具(7)和非接触激光测位仪(5),其中,已极化待测铁电单晶(6)安装在测试夹具(7)上;所述外加电场单元通过测试夹具(7)与已极化待测铁电单晶(6)电连接,用于向已极化待测铁电单晶(6)施加设定频率和电压幅值的交流电;非接触激光测位仪(5)用于测量已极化待测铁电单晶(6)的应变变量,并将采集到的应变变量传输至PC处理器(3);所述PC处理器(3)用于根据接收到的应变变量计算已极化待测铁电单晶(6)的压电常数。

2. 根据权利要求1所述的一种强电场下铁电晶体压电性能参数的测量装置,其特征在于,外加电场单元包括信号发生器(1),信号发生器(1)的输出端连接待测铁电单晶(6)的电极两端。

3. 根据权利要求2所述的一种强电场下铁电晶体压电性能参数的测量装置,其特征在于,所述信号发生器(1)的输出端连接功率放大器(2)的输入端;所述功率放大器(2)的输出端连接待测铁电单晶(6)的电极两端。

4. 根据权利要求3所述的一种强电场下铁电晶体压电性能参数的测量装置,其特征在于,所述功率放大器(2)还连接有示波器(5)。

5. 根据权利要求1所述的一种强电场下铁电晶体压电性能参数的测量装置,其特征在于,所述测试夹具(7)包括导电底座(703)、导电顶针(701)和绝缘支架(702),其中,绝缘支架(702)的一端固定在导电底座(703)的侧壁上,绝缘支架(702)的另一端固定有导电顶针(701),所述导电顶针(701)的自由端与已极化待测铁电单晶(6)一侧电极面电连接;所述已极化待测铁电单晶(6)的另一侧电极面通过固体导电银胶固定在导电底座(703)的上表面。

6. 根据权利要求1所述的一种强电场下铁电晶体压电性能参数的测量装置,其特征在于,所述已极化待测铁电单晶(6)布置在气悬浮光学平台(8)上。

7. 一种强电场下铁电晶体压电性能参数的测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

将已极化待测铁电单晶(6)安装在测试夹具(7)上;

通过外加电场单元向已极化待测铁电单晶(6)施加不同电场强度和不同频率的交流电压,使已极化待测铁电单晶(6)产生机械形变振动;

通过测量变频率、变电场强度下的机械形变,进而计算得到变频率、变电场强度下的已极化待测铁电单晶(6)压电性能参数。

8. 根据权利要求7所述的一种强电场下铁电晶体压电性能参数的测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,通过外加电场单元向已极化待测铁电单晶(6)施加设定频率和交流电压幅值,获取已极化待测铁电单晶(6)在该频率和交流电压幅值下的形变量;

步骤2,保持对已极化待测铁电单晶(6)施加的交流电压幅值不变,增大频率,获取电场强度不变,不同频率对应的已极化待测铁电单晶(6)的形变量;直到已极化待测铁电单晶(6)的形变量在频率增加而增大时为止;记录该频率为已极化待测铁电晶体(6)的转折频率;

步骤3,根据得到的不同频率对应的多个形变量,计算该电场强度下,不同频率对应的已极化待测铁电单晶(6)的压电常数 $d_{33}$ 和 $d_{31}$ ;

步骤4,改变施加在已极化待测铁电单晶(6)上的交流电压幅值和频率,获取已极化待测铁电单晶(6)在该频率和电压幅值下的形变量;

步骤5,重复步骤2至步骤4,直到向已极化待测铁电单晶(6)施加的交流电压幅值达到外加电场单元的最大额定电压幅值为止,且向已极化待测铁电单晶(6)施加的频率小于转折频率;进而获取得到已极化待测铁电单晶(6)在变频率、变电场强度条件下的压电性能参数。

## 一种强电场下铁电晶体压电性能参数的测量装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及表征铁电晶体强电场技术领域,具体涉及铁电晶体强电场、动态条件下压电性能参数的测量装置及方法。

### 背景技术

[0002] 铁电晶体,如铌镁酸铅-钛酸铅(PMN-PT)和铌镧酸铅-铌镁酸铅-钛酸铅(PIN-PMN-PT),由于其具有非常优异的压电与机电、光学、声学 and 铁电性能,并能够实现各种功能特性之间的相互转化,因此受到了全世界铁电研究者的广泛重视,已被广泛应用于超声换能器、压电传感器、水听器、铁电存储器和电光调制器等领域。

[0003] 铁电材料的强电场下材料的性能参数是指铁电体在处于强交流电场下,铁电材料的性能参数的变化情况,在铁电材料器件处于强交流电场下,晶体的特性会发生变化,从而导致材料失效进而使得器件无法工作,因此,在强电场条件下测量铁电体的材料性能参数 $d_{33}$ 、 $d_{31}$ 是非常重要的。

[0004] 目前,铁电晶体的测试方法主要使用传输线路法、准静态法进行计算,传统的测试方法只能测量铁电晶体在低电场强度下的,小信号下材料的性能参数,而对于处于动态的强电场环境下,大功率下的性能参数无法准确的获取。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种强电场下铁电晶体压电性能参数的测量装置及方法,解决了现有技术中存在的上述不足。

[0006] 为了达到上述目的,本发明采用的技术方案是:

[0007] 本发明提供的一种强电场下铁电晶体压电性能参数的测量装置,其特征在于,包括外加电场单元、测试夹具和非接触激光测位仪,其中,已极化待测铁电单晶安装在测试夹具上;所述外加电场单元通过测试夹具与已极化待测铁电单晶电连接,用于向已极化待测铁电单晶施加设定频率和电压幅值的交流电;非接触激光测位仪用于测量已极化待测铁电单晶的应变量,并将采集到的应变量传输至PC处理器;所述PC处理器用于根据接收到的应变量计算已极化待测铁电单晶的压电常数。

[0008] 优选地,外加电场单元包括信号发生器,信号发生器的输出端连接待测铁电单晶的电极两端。

[0009] 优选地,所述信号发生器的输出端连接功率放大器的输入端;所述功率放大器的输出端连接待测铁电单晶的电极两端。

[0010] 优选地,所述功率放大器还连接有示波器。

[0011] 优选地,所述待测铁电单晶固定在测试夹具上;所述测试夹具包括导电底座、导电顶针和绝缘支架,其中,绝缘支架的一端固定在导电底座的侧壁上,绝缘支架的另一端固定有导电顶针,所述导电顶针的自由端与已极化待测铁电单晶一侧电极面电连接;所述已极化待测铁电单晶的另一侧电极面通过固体导电银胶固定在导电底座的上表面。

[0012] 优选地,所述已极化待测铁电单晶布置在气悬浮光学平台上。

[0013] 一种强电场下铁电晶体压电性能参数的测量方法,包括以下步骤:

[0014] 将已极化待测铁电单晶安装在测试夹具上;

[0015] 通过外加电场单元向已极化待测铁电单晶施加不同电场强度和不同频率的交流电压,使已极化待测铁电单晶产生机械形变振动;

[0016] 通过测量变频率、变电场强度下的机械形变,进而计算得到变频率、变电场强度下的已极化待测铁电单晶压电性能参数。

[0017] 优选地,包括以下步骤:

[0018] 步骤1,通过外加电场单元向已极化待测铁电单晶施加设定频率和电压幅值的交流电,获取已极化待测铁电单晶在该频率和电压幅值下的形变量;

[0019] 步骤2,保持对已极化待测铁电单晶施加的交流电压幅值不变,增大频率,获取电场强度不变,不同频率对应的已极化待测铁电单晶的形变量;直到当已极化待测铁电单晶的形变量在频率增加而增大时为止;记录该频率为已极化待测铁电晶体的转折频率;

[0020] 步骤3,根据得到的不同频率对应的多个形变量,计算该电场强度下,不同频率对应的已极化待测铁电单晶的压电常数 $d_{33}$ 和 $d_{31}$ ;

[0021] 步骤4,增大施加在已极化待测铁电单晶上的交流电压幅值和频率,获取已极化待测铁电单晶在该频率和电压幅值下的形变量;

[0022] 步骤5,重复步骤2至步骤4,直到向已极化待测铁电单晶施加的交流电压幅值达到外加电场单元的额定电压幅值为止,且向已极化待测铁电单晶施加的频率小于转折频率;进而获得得到已极化待测铁电单晶在变频率、变电场强度条件下的压电性能参数。

[0023] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0024] 本发明提供了一种强电场下铁电晶体压电性能参数的测量装置,由于铁电晶体的压电特性在施加电压时会产生形变,在施加交流电压时会产生上下的机械振动,已极化待测铁电单晶在施加电压时会朝两个方向都会产生形变,这样导致形变量无法测量或测量不准确,为了克服这一难点,本发明将已极化待测铁电单晶安装在测试夹具上,这样使得已极化待测铁电单晶的形变朝向一个方向,便于形变量的测量,且提高测量的准确性;通过非接触式激光测位仪来测量已极化待测铁电单晶的形变量,进一步确保形变量测量的准确性;进而使得变频率、变电场强度下的已极化待测铁电单晶压电性能参数更能准确的获取;同时,本装置操作方便易控、安全性高,只要通过制备不同物理尺寸的已极化待测铁电单晶,确定测试中已极化待测铁电单晶的应变转折频率点,便可测量已极化待测铁电单晶在转折频率之前的强电场、动态条件下的压电常数。

[0025] 本发明提供了一种强电场下铁电晶体压电性能参数的测量方法,利用已极化待测铁电单晶的逆压电效应,对晶体的极化方向施压一定强度的电场就能够产生一定的形变量,同时,将已极化待测铁电单晶安装在测试夹具上,这样使得已极化待测铁电单晶的形变朝向一个方向;使得已极化待测铁电单晶的形变量更易获取,且准确率更高;进而通过该形变量计算得到晶体的压电性能参数更准确,通过测试样品的转折频率的确定,从而能够完成已极化待测铁电单晶在转折频率之前的变频率、变电场强度下的压电性能测试。

## 附图说明

- [0026] 图1是本发明涉及的测量装置结构示意图；  
[0027] 图2是测试夹具的结构示意图；  
[0028] 图3是本发明涉及的测量方法流程图；  
[0029] 图4是实施例1对应的铁电晶体 $d_{33}$ 变化图；  
[0030] 图5是实施例1对应的铁电晶体 $d_{31}$ 变化图；  
[0031] 图6是实施例2对应的铁电晶体 $d_{33}$ 变化图；  
[0032] 图7是实施例2对应的铁电晶体 $d_{31}$ 变化图；  
[0033] 图8是晶体未安装在测试夹具,以及安装在测试夹具上的机械形变示意图。

## 具体实施方式

- [0034] 下面结合附图,对本发明进一步详细说明。
- [0035] 如图1所示,本发明提供了一种铁电晶体强电场、动态条件下压电性能参数的测量装置,包括信号发生器1、功率放大器2、PC处理器3、示波器4、非接触激光测位仪5、已极化待测铁电单晶6、测试夹具7和气悬浮光学平台8,其中,所述测试夹具7用于固定已极化待测铁电单晶6;所述功率放大器2的输出端连接已极化待测铁电单晶6的电极两端;所述功率放大器2的输入端连接信号发生器1的输出端。
- [0036] 所述示波器4连接功率放大器2的电流电压监测输出端,用于检测施加在已极化待测铁电单晶6电极两端电压和电流大小。
- [0037] 所述信号发生器1用于为功率放大器2提供一个一定频率和幅值的正弦脉冲信号的设备。
- [0038] 所述功率放大器2用于放大信号发生器1产生的电信号并为已极化待测铁电单晶7提供交流电压。
- [0039] 所述测试夹具7用于将已极化待测铁电单晶6与其他实验设备连接起来施加电压。
- [0040] 如图2所示,所述测试夹具7包括导电底座703、导电顶针701和绝缘支架702,其中,绝缘支架702的一端固定在导电底座703的侧壁上,绝缘支架702的另一端固定有导电顶针701,所述导电顶针701的自由端与已极化待测铁电单晶6一侧电极面电连接;所述已极化待测铁电单晶6的另一侧电极面通过固体导电银胶固定在导电底座703的上表面;所述导电底座703安装在气悬浮光学平台8上。
- [0041] 由于已极化待测铁电单晶的压电特性在施加电压时会产生形变,在施加交流电压时会产生上下的机械振动,已极化待测铁电单晶在施加电压时会朝两个方向都会产生形变,如图8所示,这样导致形变量无法测量或测量不准确,为了克服这一难点,本发明将已极化待测铁电单晶安装在测试夹具上,这样使得已极化待测铁电单晶的形变朝向一个方向,便于形变量的测量,且提高测量的准确性。
- [0042] 所述导电顶针701和导电底座703均通过导线与功率放大器2连接。
- [0043] 如图3所示,本发明所述的一种铁电晶体强电场下压电性能参数的测量方法,包括以下步骤:
- [0044] 步骤1,获取已极化的未加压的铁电晶体;
- [0045] 步骤2,通过划片机将步骤1涉及的铁电晶体进行切割,切割成物理尺寸合适的已

极化待测铁电单晶；

[0046] 步骤3,向步骤2中已极化待测铁电单晶6放置在特制测试夹具中,并固定,可以通过测试夹具可对已极化待测铁电单晶6施加电压；

[0047] 步骤4,向步骤3涉及的测试夹具施加幅值、频率较小的交流电压,获取其在交流电压下的形变量；该较小幅值和频率的交流电压与功率放大器2的最小额定电压值一致；

[0048] 步骤5,根据得到的已极化待测铁电单晶6的形变量计算压电常数 $d_{33}$ 、 $d_{31}$ ；

[0049] 步骤6,步骤3中保持对已极化待测铁电单晶6施加交流电压的幅值不变,增加频率,当已极化待测铁电单晶6的形变量在频率增大的过程中出现增大时,记录该频率为转折频率,表明对已极化待测铁电单晶6施加的交流电压频率小于该频率时测试的数据为有效值,大于等于该频率的为无效值。

[0050] 步骤7,多次改变步骤3中对已极化待测铁电单晶6施加交流电压的幅值、频率,直到向已极化待测铁电单晶(6)施加的交流电压幅值达到外加电场单元的最大额定电压幅值为止；可以获取强电场、动态条件下已极化待测铁电单晶6的形变量,从而获取其在强电场、动态条件下铁电晶体压电常数 $d_{33}$ 、 $d_{31}$ 。

[0051] 一种铁电晶体强电场、动态条件下压电性能参数的测量装置的使用方法：

[0052] S1,按照图1测试装置接线；

[0053] S2,使用划片机将铁电晶棒切割成物理尺寸合适的测试样品,得到已极化待测铁电单晶6；

[0054] S3,将已极化待测铁电单晶6放置在测试夹具7中,使得已极化待测铁电单晶6与测试夹具7相连接并固定；

[0055] S4,将放置已极化待测铁电单晶6的测试夹具7放置于气悬浮光学平台8上；

[0056] S5,打开信号发生器1、功率放大器2、PC处理器3、示波器4、非接触激光测位仪；

[0057] S6,将信号发生器1按照测试要求对已极化待测铁电单晶6施加一定频率和幅值较小的交流电压,在示波器4上观察施加在已极化待测铁电单晶6上电压幅值的大小,通过非接触激光测位仪5记录已极化待测铁电单晶6在该频率、电压幅值下的形变量,通过公式:电场强度(E) = 电信号幅值(V) / 铁电晶体厚度(m),获取此时施加在已极化待测铁电单晶6上电场强度的大小；

[0058] S7,使用公式 $d_{33} = \text{形变量} / \text{施加电压}$ , $d_{31} = 0.5d_{33}$ ,计算铁电晶体在该电场强度下的 $d_{33}$ 、 $d_{31}$ 变化情况；

[0059] S8,保持对已极化待测铁电单晶6施加交流电压的幅度不变,增加频率,当铁电晶体形变在频率增大的过程中出现增大时,记录该频率为转折频率,表明对已极化待测铁电单晶6施加的交流电压频率小于该频率时测试的数据为有效值,大于等于该频率的为无效值。

[0060] S9,改变施加在已极化待测铁电单晶6上电压的幅值和频率,施加的电压频率不超过S8中记录的转折频率,获取不同电压、频率下的已极化待测铁电单晶6的形变量,从而计算已极化待测铁电单晶6在不同电场强度、频率下的压电常数 $d_{33}$ 、 $d_{31}$ 变化情况；

[0061] 本发明测样操作方便易控,安全性高,且能够完成铁电晶体强电场、动态条件下压电性能参数 $d_{33}$ 、 $d_{31}$ 的测量装置,通过外加电场装置对铁电晶体施加电压,通过非接触式激光测位仪来测量铁电晶体的应变变量,从而计算该频率该电场强度下铁电晶体的压电常数

$d_{33}$ ,  $d_{31}$ , 保持电场强度不变, 改变测试频率, 记录数据, 改变电场强度, 重复测试, 获得不同频率, 不同电场强度下已极化待测铁电单晶6的压电常数 $d_{33}$ 、 $d_{31}$ 。本装置操作方便易控, 安全性高, 重点能够完成已极化待测铁电单晶6的强电场下的压电性能参数测试, 只要已极化待测铁电单晶6的测试频率远低于谐振便可进行测试。

[0062] 以[001]方向极化PIN-PMN-PT弛豫铁电单晶样品进行测试。

[0063] 实施例1

[0064] 铁电晶体强电场、动态条件下压电性能参数 $d_{33}$ 、 $d_{31}$ 的测量方法, 该方法包括:

[0065] 步骤一, 用X射线衍射对PIN-PMN-PT弛豫铁电单晶进行晶体学定向, 然后按照晶体学方向进行切割, 得到[001]取向晶体, 晶体尺寸为 $2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm} \times 1\text{mm}$ , 其中1mm厚度方向为已极化待测铁电单晶施加交变电场的方向, 对晶体进行被电极处理后, 采用 $1\text{kV}/\text{mm}$ 直流电场对晶体沿着厚度方向极化, 得到已极化待测铁电单晶6;

[0066] 步骤二, 信号发生器1控制交流电压输出频率为 $100\text{Hz}$ , 功率放大器2为已极化待测铁电单晶6施加交流电压, 调整功率放大器输出, 使得在示波器4上显示已极化待测铁电单晶6两端施加电压幅值大小为 $30\text{V}$ ;

[0067] 步骤三, 施加交流电压的同时, 使用非接触激光测位仪5测量已极化待测铁电单晶6的应变量, 并使用PC处理器3记录已极化待测铁电单晶6的应变数量;

[0068] 步骤四, 使用公式 $d_{33} = \text{形变量} / \text{施加电压}$ ,  $d_{31} = 0.5d_{33}$ , 计算已极化待测铁电单晶在该电场强度下的 $d_{33}$ 、 $d_{31}$ 变化情况;

[0069] 步骤五, 保持施加在已极化待测铁电单晶6上交流电压幅值不变, 增加施加在已极化待测铁电单晶6上电压的频率, 使用非接触激光测位仪5检测已极化待测铁电单晶6的形变量, 当已极化待测铁电单晶6的型变量出现增大时, 记录此时对已极化待测铁电单晶6施加的交流电压频率, 记为转折频率;;

[0070] 步骤六, 改变施加在已极化待测铁电单晶6上电压的幅值和频率, 施加的电压频率不超过步骤四中记录的转折频率, 获取不同电压、频率下的已极化待测铁电单晶6的形变量, 从而计算已极化待测铁电单晶6在不同电场强度、频率下的压电常数 $d_{33}$ 、 $d_{31}$ 变化情况;

[0071] 如图4、图5所示。

[0072] 本案例测试铁电单晶的尺寸为 $2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm} \times 1\text{mm}$ 的矩形样品, 对铁电单晶施加交流电场强度为 $30$ 、 $60$ 、 $90$ 、 $120$ 、 $150$ 、 $200\text{V}/\text{mm}$ 。测试样品的转折频率为 $80\text{KHz}$ 。

[0073] 实施例2

[0074] 已极化待测铁电单晶6强电场、动态条件下压电性能参数 $d_{33}$ 、 $d_{31}$ 的测量方法, 该方法包括:

[0075] 步骤一, 用X射线衍射对PIN-PMN-PT弛豫铁电单晶进行晶体学定向, 然后按照晶体学方向进行切割, 得到[001]取向晶体, 晶体尺寸为 $2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm} \times 1\text{mm}$ , 其中1mm厚度方向为已极化待测铁电单晶6施加交变电场的方向, 对晶体进行被电极处理后, 采用 $1\text{kV}/\text{mm}$ 直流电场对晶体沿着厚度方向极化, 得到已极化待测铁电单晶6;

[0076] 步骤二, 信号发生器1控制交流电压输出频率为 $100\text{Hz}$ , 功率放大器2为已极化待测铁电单晶6施加交流电压, 调整功率放大器输出, 使得在示波器4上显示已极化待测铁电单晶6两端施加电压幅值大小为 $30\text{V}$ ;

[0077] 步骤三, 施加交流电压的同时, 使用非接触激光测位仪5测量已极化待测铁电单晶

6的应变变量,并使用PC处理器3记录已极化待测铁电单晶6的应变数量;

[0078] 步骤四,使用公式 $d_{33} = \text{形变量} / \text{施加电压}$ ,  $d_{31} = 0.5d_{33}$ ,计算已极化待测铁电单晶在该电场强度下的 $d_{33}$ 、 $d_{31}$ 变化情况;

[0079] 步骤五,保持施加在已极化待测铁电单晶6上交流电压幅值不变,增加施加在已极化待测铁电单晶6上电压的频率,使用非接触激光测位仪5检测已极化待测铁电单晶6的形变量,当已极化待测铁电单晶6的型变量出现增大时,记录此时对已极化待测铁电单晶6施加的交流电压频率,记为转折频率;

[0080] 步骤六,改变施加在已极化待测铁电单晶6上电压的幅值和频率,施加的电压频率不超过步骤四中记录的转折频率,获取不同电压、频率下的已极化待测铁电单晶6的形变量,从而计算已极化待测铁电单晶6在不同电场强度、频率下的压电常数 $d_{33}$ 、 $d_{31}$ 变化情况。

[0081] 如图6、图7所示。

[0082] 本案例测试铁电单晶的尺寸为2mm\*2mm\*1mm的矩形样品,对铁电单晶施加交流电场强度为30、60、90、120、150、200V/mm。测试样品的转折频率为150Khz。

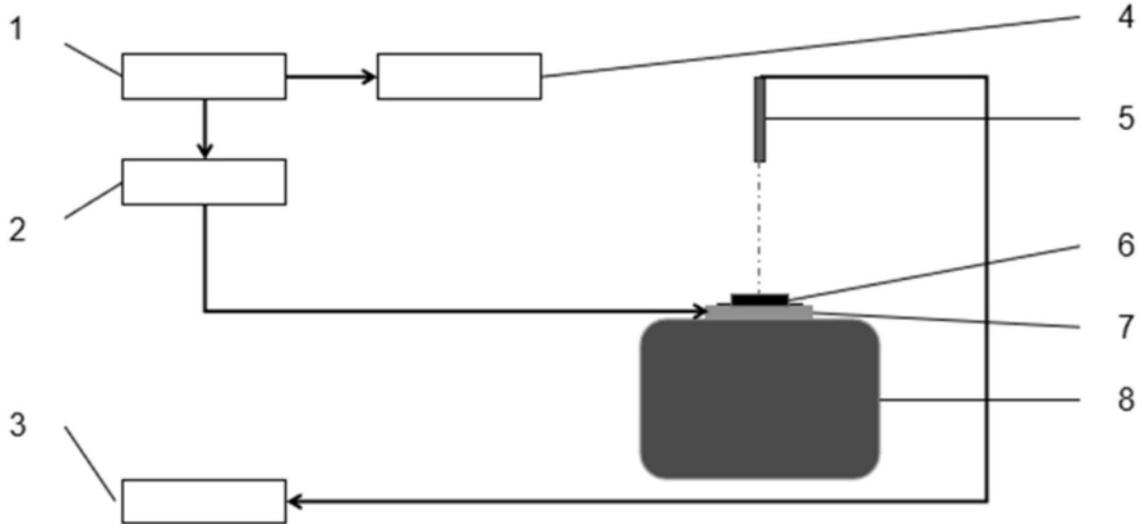


图1

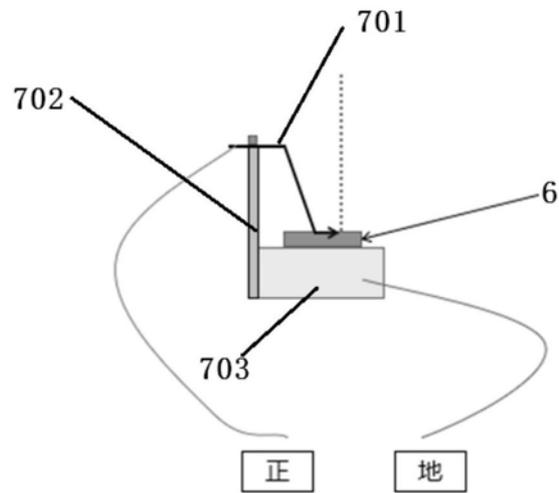


图2

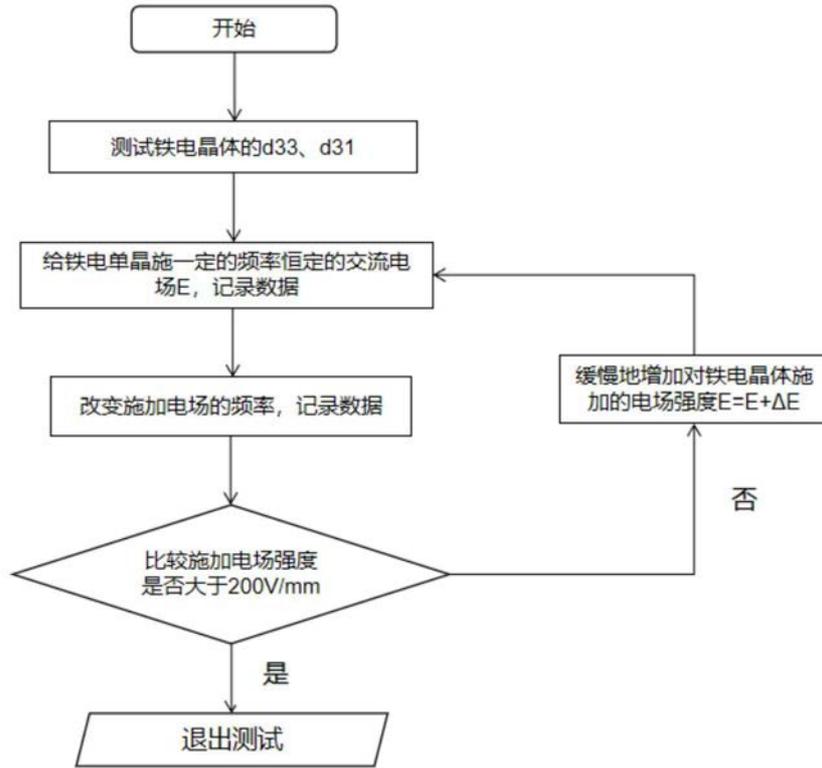


图3

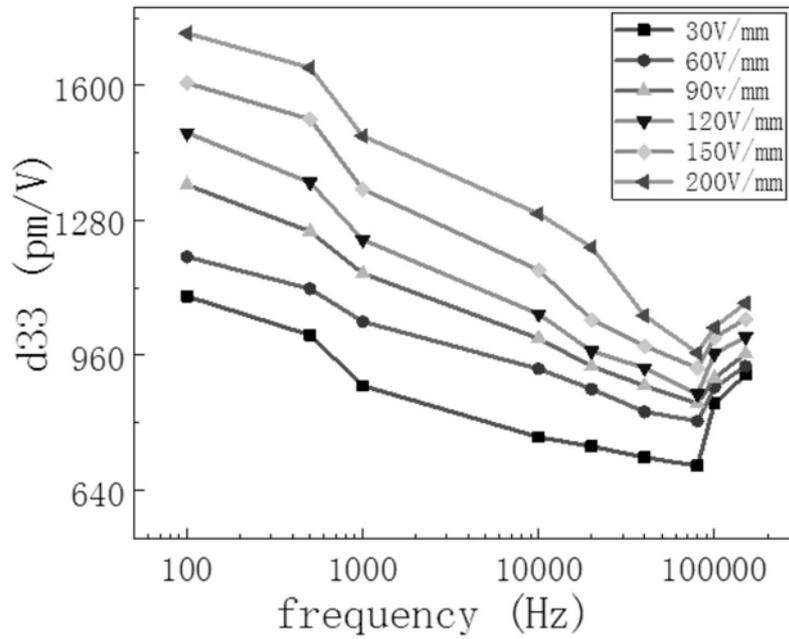


图4

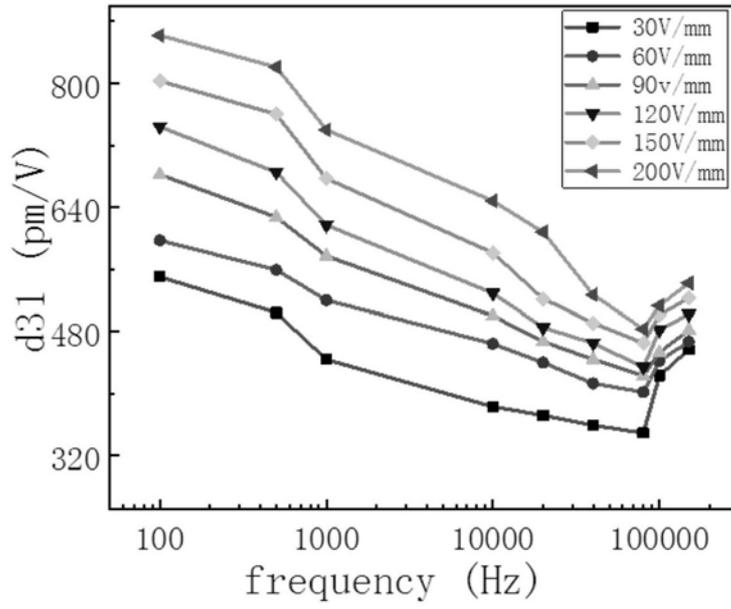


图5

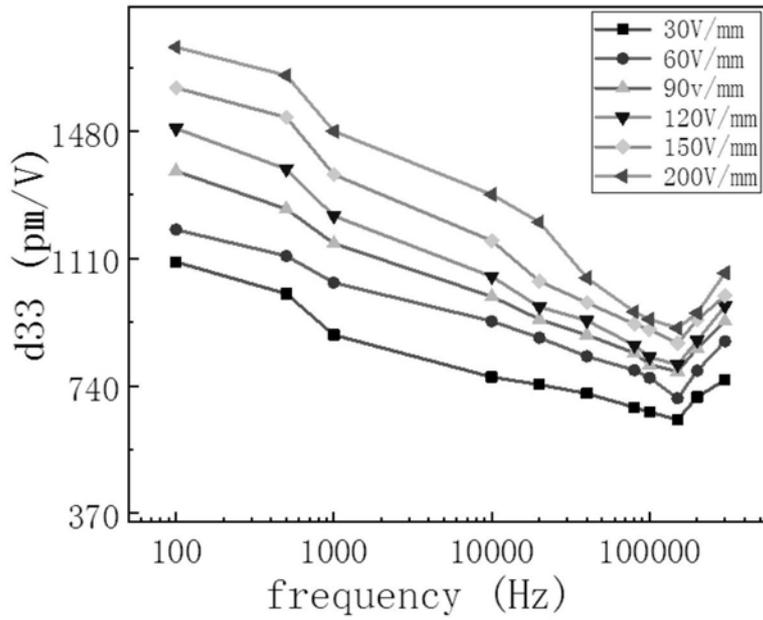


图6

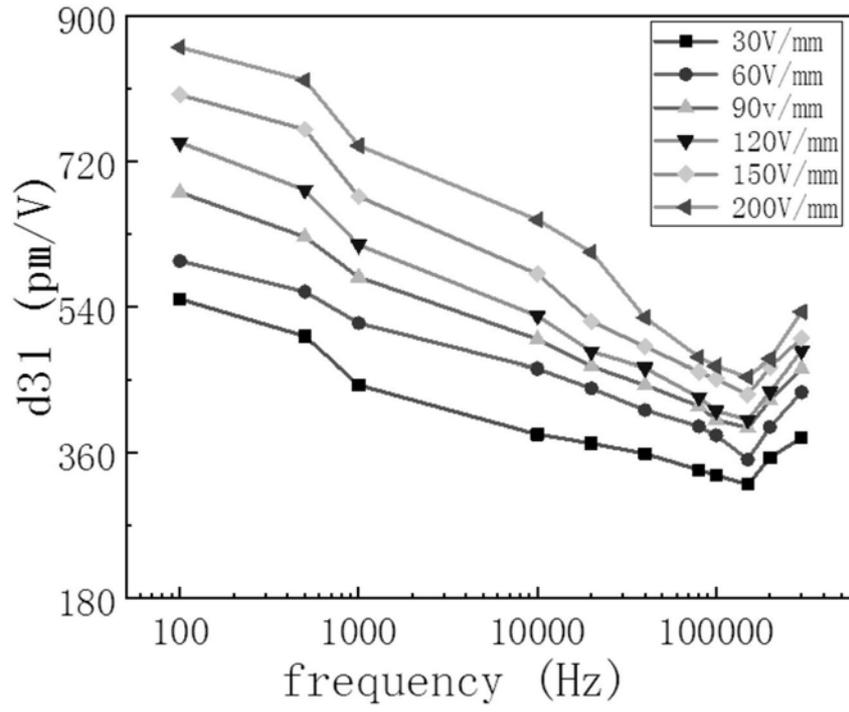


图7

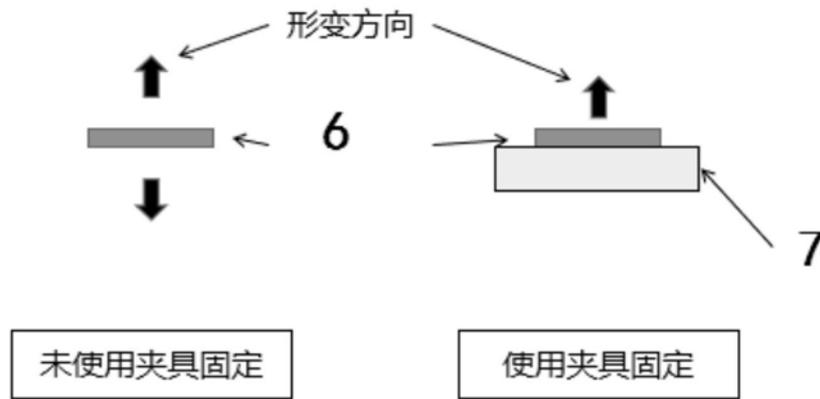


图8