



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104766809 B

(45)授权公告日 2017. 11. 21

(21)申请号 201510140554.6

(22)申请日 2015.03.27

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104766809 A

(43)申请公布日 2015.07.08

(73)专利权人 西交利物浦大学
地址 215123 江苏省苏州市工业园区独墅湖高等教育区仁爱路111号

(72)发明人 吴京锦 赵策洲 刘晨光

(74)专利代理机构 苏州创元专利商标事务所有
限公司 32103

代理人 范晴

(51)Int. Cl.

H01L 21/66(2006.01)

G01R 27/26(2006.01)

(56)对比文件

CN 102608508 A,2012.07.25,
WO 2013/187140 A1,2013.12.19,
CN 102116827 A,2011.07.06,

审查员 于鹏飞

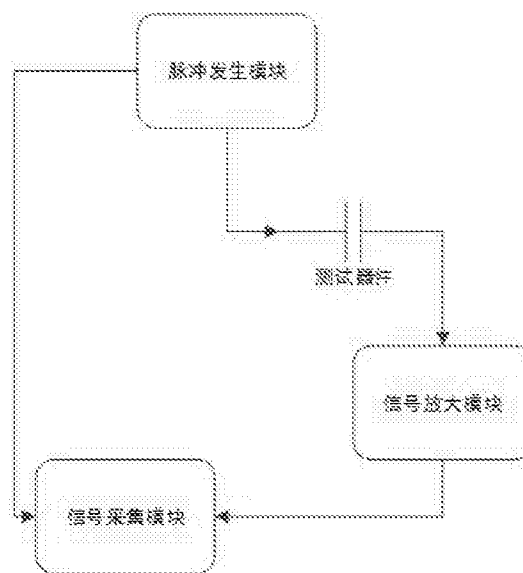
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种PN结瞬时电容能谱测量方法和系统

(57)摘要

本发明公开了一种PN结瞬时电容能谱测量系统,包括通过GPIB数据接口与计算机连接的信号发生模块、信号放大模块和信号采集模块,所述信号发生模块和信号放大模块的另一端与信号采集模块连接;所述信号发生模块可以发出可变脉冲信号;所述电流转换模块用于将被测材料输出的电流信号经放大后转化为电压信号;所述信号采集模块用于采集标准数据和测试数据;所述上位机为安装有电子仪器控制环境的计算机,用于控制、处理数据和显示。所用的电子测量仪器是实验室常见的成本较低的设备,测量环境是以室温为本底,逐渐升高温度,避免了用液氮、液氮等提供超低的测量温度和测量环境。可以应用于各种具有电容性质的器件。



1. 一种PN结瞬时电容能谱测量系统,其特征在于,包括通过GPIB数据接口与计算机连接的信号发生模块、信号放大模块和信号采集模块,所述信号发生模块和信号放大模块的另一端与信号采集模块连接;

所述信号发生模块可以发出可变脉冲信号;所述可变脉冲信号为电压信号波,所述电压信号波为在一定的偏压下,周期为10-1000us,幅值为100-300mV,电压变化期间范围是上升下降沿为0到半周期长的脉冲电压信号;

所述信号放大模块用于将被测材料输出的电流信号经放大后转化为电压信号;

所述信号采集模块用于采集标准数据和测试数据;

所述计算机安装有电子仪器控制环境,用于控制、处理数据和显示;

所述信号采集模块为双通道数字示波器,该双通道数字示波器同时采集和显示信号发生模块输出的特定脉冲信号以及经过待测器件并被放大后的电压信号,通过对比两组信号,以及转化公式,算出被测物体的瞬时电容值,瞬时电容值的计算公式为: $C = \frac{V_{out}}{A} \cdot \frac{1}{\frac{dV_g}{dt}}$,

其中, $(dV_g)/dt$ 为信号发生模块发出的脉冲信号电压变化率, V_{out} 为经过放大电路后得到的电压值, A 为电流放大器放大倍数;经过固定倍数关系补偿后得到准确的电容值。

2. 根据权利要求1所述的PN结瞬时电容能谱测量系统,其特征在于,所述脉冲电压信号的波形可以是方波、梯形波或者三角波。

3. 根据权利要求1所述的PN结瞬时电容能谱测量系统,其特征在于,所述脉冲电压信号的偏压可调、周期可调、电压幅值可调、上升下降沿(电压变化期间)可调。

4. 根据权利要求1所述的PN结瞬时电容能谱测量系统,其特征在于,对于太阳电池测试,偏压为是 -3V-0V,周期为100-500us,电压峰峰值为100-300mV。

5. 根据权利要求4所述的PN结瞬时电容能谱测量系统,其特征在于,所述偏压为-1V,周期为100us,上升下降沿(电压变化期间)分别为30us,电压峰峰值的幅值为200mV。

6. 一种PN结瞬时电容能谱测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 将信号发生模块、信号放大模块和信号采集模块通过GPIB接口分别与计算机相连;将信号发生模块、信号放大模块分别与信号采集模块相连;所述信号采集模块为双通道数字示波器,该双通道数字示波器同时采集和显示信号发生模块输出的特定脉冲信号以及经过待测器件并被放大后的电压信号;

(2) 初始化设备,包括选择电容测量量程和示波器量程,控制电流放大器的放大倍数;设定参数,准备测试;信号发生模块发出的可变脉冲信号为电压信号波,电压信号波为在一定的偏压下,周期为10-1000us,幅值为100-300mV,电压变化期间范围是上升下降沿为0到半周期长的脉冲电压信号;

(3) 控制脉冲发生器输出脉冲信号,在计算机中存入示波器测得的数据,算出具体电容值,绘制电容变化曲线,计算瞬时电容值,通过对比两组信号,以及转化公式,算出被测物体的瞬时电容值,瞬时电容值的计算公式为: $C = \frac{V_{out}}{A} \cdot \frac{1}{\frac{dV_g}{dt}}$,其中, $(dV_g)/dt$ 为信号发生模块发出的脉冲信号电压变化率, V_{out} 为经过放大电路后得到的电压值, A 为电流放大器放大倍数;经过固定倍数关系补偿后得到准确的电容值。

一种PN结瞬时电容能谱测量方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及脉冲发生以及波形测量的自动化控制领域,具体涉及一种可用于太阳能电池结电容、太阳能电池深能级缺陷和MOS器件等等具有电容结构的器件的测试和分析的PN结瞬时电容能谱测量方法和系统。

背景技术

[0002] 随着半导体生产工艺的进步,对半导体材料的性能要求更加严格。在对于半导体材料的进一步研究中,晶体结构缺陷,杂质原子造成的缺陷和杂质-缺陷络合物都会在能带中形成深能级缺陷。因此对深能级缺陷及其造成的影响的研究必不可少,相关的检测系统也显得尤为重要。

[0003] 以太阳能电池为例,在生产和制备太阳能电池的过程中,半导体材料的晶格空位、晶格填隙和晶格替位会引入缺陷。此外太阳能电池的各层薄膜之间的相互扩散也会引入外来的杂质原子,这些杂质原子自身以及杂质原子与晶格点缺陷所形成的络合物都会给器件引入缺陷。一般地,潜能级缺陷不会对器件的效率造成影响,而深能级缺陷会形成复合中心,从而促进电子-空穴对的复合,导致了太阳能电池效率的降低。因此,对太阳能电池深能级缺陷的测试和评价,对太阳能电池的研究有很重要的指导意义。

[0004] 太阳能电池的深能级缺陷测试和评价是通过对PN结结电容的瞬时变化的测试,结合半导体理论,推导出深能级缺陷的类型、浓度和俘获截面等参数。由于缺陷的复合过程在10到20毫秒内就会完成,而传统的数字电桥(LCR meter)比如HP4275A和Agilent 4284A的测量极限是30到50毫秒。这意味着缺陷复合先于数字电桥的测试完成。因此,传统的数字电桥不能用于太阳能电池的结电容的瞬时电容测试。常见的太阳能电池深能级缺陷测试手段是导纳谱测试(Admittance Spectroscopy)、光致发光(Photo Luminescence)、光致瞬变电流谱(Photo Induced Current Transient Spectroscopy)、深能阶暂态光谱学(Deep Level Transient Spectroscopy)。但是,这些测试手段涉及到昂贵的实验仪器,单色激光光源,超低温的实验条件等等。

[0005] 因此,采用常见的测试仪器在易得的实验条件和实验环境中进行精确地瞬时电容谱测量,在缺陷测试和分析领域极其重要。

发明内容

[0006] 针对上述技术问题,本发明目的是:提供一种PN结瞬时电容能谱测量方法和系统,该方法采用实验室普遍拥有的测试设备,以室温为本底温度的环境下进行,能对器件的瞬时能谱完成精确地测量,测试极限有了很大的提高。

[0007] 本发明的技术方案是:一种PN结瞬时电容能谱测量系统,包括通过GPIB数据接口与计算机连接的信号发生模块、信号放大模块和信号采集模块,所述信号发生模块和信号放大模块的另一端与信号采集模块连接;

[0008] 所述信号发生模块可以发出可变脉冲信号;

[0009] 所述信号放大模块用于将被测材料输出的电流信号经放大后转化为电压信号；

[0010] 所述信号采集模块用于采集标准数据和测试数据；

[0011] 所述计算机安装有电子仪器控制环境,用于控制、处理数据和显示。

[0012] 进一步的,瞬时电容值的计算公式为: $C = \frac{V_{out}}{A} \cdot \frac{I}{\frac{dV_g}{dt}}$,其中, $(dV_g)/dt$ 为信号发生模块发出的脉冲信号电压变化率, V_{out} 为经过放大电路后得到的电压值, A 为电流放大器放大倍数。

[0013] 进一步的,所述可变脉冲信号为电压信号波,所述电压信号波为在一定的偏压下,周期为10-1000us,幅值为100-300mV,电压变化期间范围是上升下降沿为0到半周期长的脉冲电压信号。

[0014] 进一步的,所述脉冲电压信号的波形可以是方波、梯形波或者三角波。

[0015] 进一步的,所述脉冲电压信号的偏压可调、周期可调、电压幅值可调、上升下降沿(电压变化期间)可调。

[0016] 进一步的,对于太阳能电池测试,偏压为是 -3V-0V,周期为100-500us,电压峰峰值为100-300mV。

[0017] 进一步的,所述偏压为-1V,周期为100us,上升下降沿(电压变化期间)分别为30us,电压峰峰值的幅值为200mV。

[0018] 进一步的,所述信号采集模块为双通道数字示波器。

[0019] 本发明公开了一种PN结瞬时电容能谱测量方法,包括以下步骤:

[0020] (1)将信号发生模块、信号放大模块和信号采集模块通过GPIB接口分别与计算机相连;将信号发生模块、信号放大模块分别与信号采集模块相连;

[0021] (2)初始化设备,包括选择电容测量量程和示波器量程,控制电流放大器的放大倍数;设定参数,准备测试;

[0022] (3)控制脉冲发生器输出脉冲信号,在计算机中存入示波器测得的数据,算出具体电容值,绘制电容变化曲线,计算瞬时电容值。

[0023] 进一步的,瞬时电容值的计算公式为: $C = \frac{V_{out}}{A} \cdot \frac{I}{\frac{dV_g}{dt}}$,其中, $(dV_g)/dt$ 为信号发生模块发出的脉冲信号电压变化率, V_{out} 为经过放大电路后得到的电压值, A 为电流放大器放大倍数。

[0024] 本发明的优点是:

[0025] 1.采用各实验室常见的基本电子仪器(包括示波器、脉冲发生器和电流放大器),在程序的控制下,在以室温为本底温度的环境下,完成对器件的测试。本测试方法相比较于传统方法,把测试极限从30-50毫秒提高到了5毫秒,大大提高了测量极限。同时,把测试频率从30毫秒每点提高到了0.1毫秒每点。这个测试系统和测试方法能够实现电容的瞬态测量(微秒级),可用于太阳能电池深能级缺陷的研究。也可用于MOS器件深能级缺陷的研究。特别的,可以用于具有电容性质的器件(包括PN结的半导体器件)的电容测量和深能级缺陷的研究。

[0026] 2.所用的电子测量仪器是实验室常见的成本较低的设备,测量环境是以室温为本底,逐渐升高温度,避免了用液氮、液氦等提供超低的测量温度和测量环境。可以应用于各

种具有电容性质的器件(包括但不限于PN结半导体器件)。

[0027] 3.本发明通过程序自动控制,简化了测量步骤,大大减少人为的操作误差,在得到精准数据的同时,简化了新型半导体材料的测试过程。并且通过已建立的数学模型方便的绘出电容变化曲线,减轻了研究者的数据计算工作,为极短时间内的电容快速测量提供了一个轻便,有效的方法。

附图说明

[0028] 下面结合附图及实施例对本发明作进一步描述:

[0029] 图1为本发明PN结瞬时电容能谱测量系统的连接框图;

[0030] 图2为本发明PN结瞬时电容能谱测量系统的测试流程图;

[0031] 图3为本发明PN结瞬时电容能谱测量系统的第一测试实施例的电容-时间波形曲线图;

[0032] 图4为本发明PN结瞬时电容能谱测量系统的第二测试实施例的电容-时间波形曲线图;

[0033] 图5为本发明PN结瞬时电容能谱测量系统的第三测试实施例的电容-时间波形曲线图。

具体实施方式

[0034] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚了,下面结合具体实施方式并参照附图,对本发明进一步详细说明。应该理解,这些描述只是示例性的,而并非要限制本发明的范围。此外,在以下说明中,省略了对公知结构和技术的描述,以避免不必要地混淆本发明的概念。

[0035] 本发明的测试原理如下:测试时,将待测器件一端与脉冲发生器相连,另一端连接一个电流-电压放大器,放大器与脉冲发生器同时分别接入示波器的两个端口中,如图1所示。待初始化完成后,设定参数,准备测试。进行测试时,计算机程序控制脉冲发生器输出脉冲信号。输出的脉冲信号一方面在示波器上显示(V_g),另一方面经过待测器件后经过放大器放大后在示波器上显示(V_{out})。通过各个仪器与计算机的接口,在计算机端得到并分析这两个波形,可以算出瞬时的电容值:

$$[0036] \quad C = \frac{V_{out}}{A} \cdot \frac{1}{\frac{dV_g}{dt}}$$

[0037] 其中,A为电流放大器放大倍数, $(dV_g)/dt$ 为脉冲信号电压变化率。

[0038] 对于该测试系统,系统运作时,由信号发生模块先发出一个电压信号波。这个电压信号波的特征是在一定的偏压下,周期范围为10到1000us,幅值范围为100到300mV,电压变化期间范围是上升下降沿为0到半周期长的小脉冲电压信号。该小脉冲电压信号的特点在于,偏压可调,周期可调,电压幅值可调,上升下降沿(电压变化期间)可调。该脉冲电压的波形可以是方波、梯形波和三角波。

[0039] 对于太阳电池测试,偏压一般是0到-3V,周期为100到500us,电压峰峰值为100-300mV。优选的,对于太阳电池的测试,偏压为-1V,周期为100us,上升下降沿(电压变化期间)分别为30us,电压峰峰值的幅值为200mV。

[0040] 当一个具有电容值的待测器件接入信号发生模块时,根据电容计算公式:

$$[0041] \quad I_{\text{out}} = C \cdot \frac{dV_g}{dt}$$

[0042] 可以得出,在当前电压变化率下,通过该待测器件的电流值 I_{out} 。其中, $(dV_g)/dt$ 为信号发生模块发出的脉冲信号电压变化率, C 为待测器件电容值。

[0043] 由于仪器对微小电流值的读取响应时间相对较长,为了实现短时间(数十微秒)内精确、快速测量,本发明采用一个由电流放大器组成的信号放大模块将经过待测器件的微小电流信号由放大器转化为大的电压信号,然后由信号采集模块对放大后的电压进行测量。电信号在经过信号放大模块后的转化公式为:

$$[0044] \quad V_{\text{out}} = A \cdot I_{\text{out}} = A \cdot C \cdot \frac{dV_g}{dt}$$

[0045] 其中 V_{out} 为经过放大电路后得到的电压值, A 为电流放大器放大倍数, I_{out} 为脉冲信号经过待测器件后产生的电流值, $(dV_g)/dt$ 为脉冲信号电压变化率。

[0046] 该放大后的电压信号最终由信号采集模块采集和显示。

[0047] 为了同时获得脉冲电压信号和经过放大后的电压信号,本发明使用了一个由双通道数字示波器组成的信号采集模块,负责电压信号的采集和显示。脉冲示波器和电流放大器同时分别接入该双通道数字示波器中。系统运作时,该双通道数字示波器同时采集和显示脉冲示波器输出的特定脉冲信号以及经过待测器件并被放大后的电压信号。通过对比两组信号,以及转化公式,可以算出被测物体的电容值。计算公式如下:

$$[0048] \quad C = \frac{V_{\text{out}}}{A} \cdot \frac{dt}{dV_g}$$

[0049] 对于测量系统控制程序,图2所示的流程图显示了快速电容测试系统的具体测试过程。

[0050] 首先,连接所有测量仪器,开启计算机。将信号发生模块,信号放大模块,信号采集模块按照电路图接入电路并与计算机相连。

[0051] 第二步,运行初始化功能。系统会初始化程序,启动电脑与测试设备的链接,将测试设备调整为测试状态。

[0052] 第三步,电容测量量程选择。选则测试系统的量程,以适应不同电容大小的测试。

[0053] 第四步,示波器量程的选择。调整信号在示波器上的显示,以便获取合适精度的数据。

[0054] 第五步,电流放大器的控制。控制电流放大器的放大倍数,调整放大电路的开关,做好测试准备。

[0055] 第六步,开启脉冲发生器输出开关,在示波器上得到电压数据。

[0056] 第七步,在计算机中存入示波器测得数据,算出具体电容值,汇出相应电容变化曲线。

[0057] 本发明通过程序自动控制,简化了测量步骤,大大减少人为的操作误差,在得到精准数据的同时,简化了新型半导体材料的测试过程。并且通过已建立的数学模型方便的绘出电容变化曲线,减轻了研究者的数据计算工作,为极短时间内的电容快速测量提供了一个轻便,有效的方法。

[0058] 实施例一

[0059] 如图3所示,取一个标称为100pF的分立电容器件。用Agilent4284A在不施加偏压的情况下测量,用快速测量模式,电容值为101pF(黑色三角形点所示)。将该分立电容器件用本发明公布的PN结瞬时电容能谱测试系统进行测试。选用的脉冲波形为梯形波,周期为100us,波形的上升沿时间为30us,脉冲电压峰峰值为200mV。电流放大器的放大倍数为 10^6 倍。通过相应公式计算得到电容为82pF(浅灰色圆点所示)。经过固定倍数关系补偿以后,电容为102pF。得到准确的电容值。并且测试极限从30ms提高到约5ms左右。测试的频率也从30ms/点,提高到0.1ms/点。

[0060] 实施例二

[0061] 如图4所示,取一个标称为330pF的分立电容器件。用Agilent4284A在施加-1V偏压的情况下测量,选用快速测量模式,得到电容值为331pF(黑色三角形点所示)。将该分立电容器件放在本发明公布的PN结瞬时电容能谱测试系统进行测试。选用的脉冲波形为梯形波,周期为100us,波形的上升沿时间为30us,脉冲电压峰峰值为200mV。偏压为-1V。电流放大器的放大倍数为 10^5 倍。通过相应公式计算得到电容为272pF(浅灰色圆点所示)。经过固定倍数关系补偿以后,电容约为332pF(深灰色圆点所示)。得到准确的电容值。并且测试极限也从30ms提高到约5ms左右。测试的频率也从30ms/点,提高到0.1ms/点。测试结果准确、稳定。

[0062] 实施例三

[0063] 如图5所示,取一个标称为800pF的分立电容器件。用Agilent4284A在施加-3V偏压的情况下测量,选用快速测量模式,得到电容值为734pF(黑色三角形点所示)。将该分立电容器件放在本发明公布的PN结瞬时电容能谱测试系统进行测试。选用的脉冲波形为梯形波,周期为100us,波形的上升沿时间为40us,脉冲电压峰峰值为100mV。偏压为-3V。电流放大器的放大倍数为105倍。通过相应公式计算得到电容为613pF(浅灰色圆点所示)。经过固定倍数关系补偿以后,电容为720至760pF(深灰色圆点所示)。并且测试极限也从30ms提高到约5ms左右。测试的频率也从30ms/点,提高到0.1ms/点。得到的电容值在准确值范围内,但是噪音相对来说比较大。因此,本方法适用于小电容的测试。对于电容值超过1nF的器件,得到的噪音相对较大,不能得到精确值。

[0064] 应当理解的是,本发明的上述具体实施方式仅仅用于示例性说明或解释本发明的原理,而不构成对本发明的限制。因此,在不偏离本发明的精神和范围的情况下所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。此外,本发明所附权利要求旨在涵盖落入所附权利要求范围和边界、或者这种范围和边界的等同形式内的全部变化和修改例。

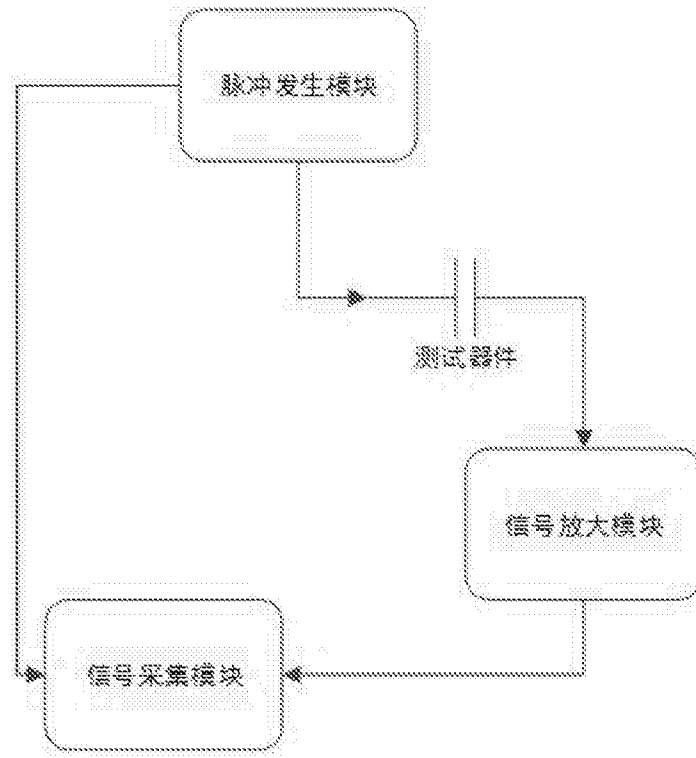


图1

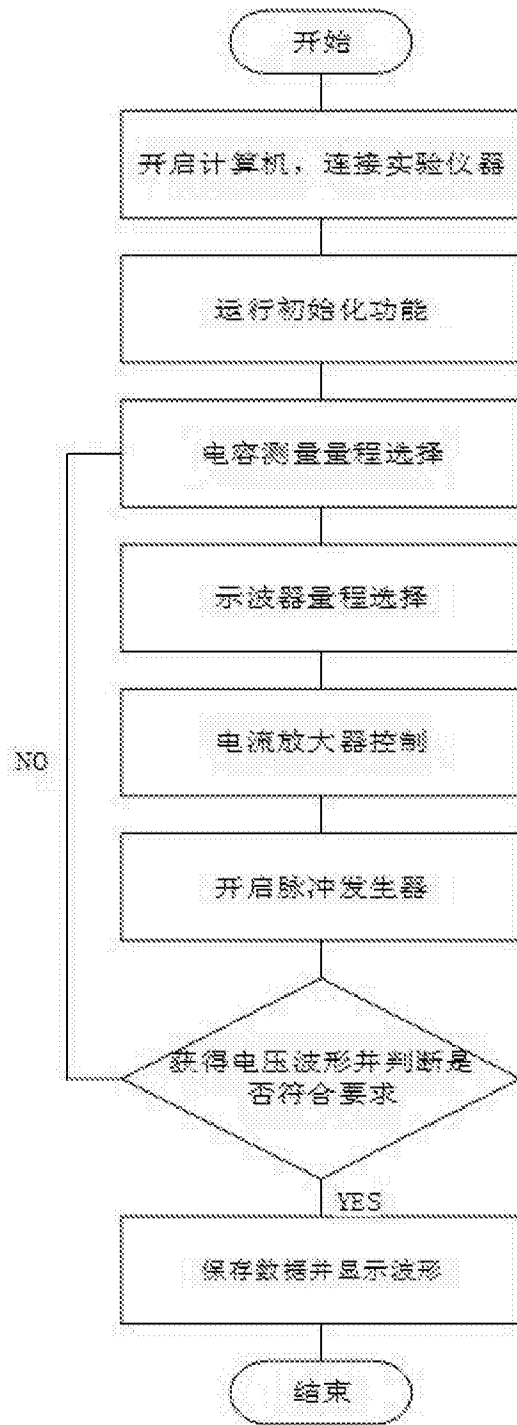


图2

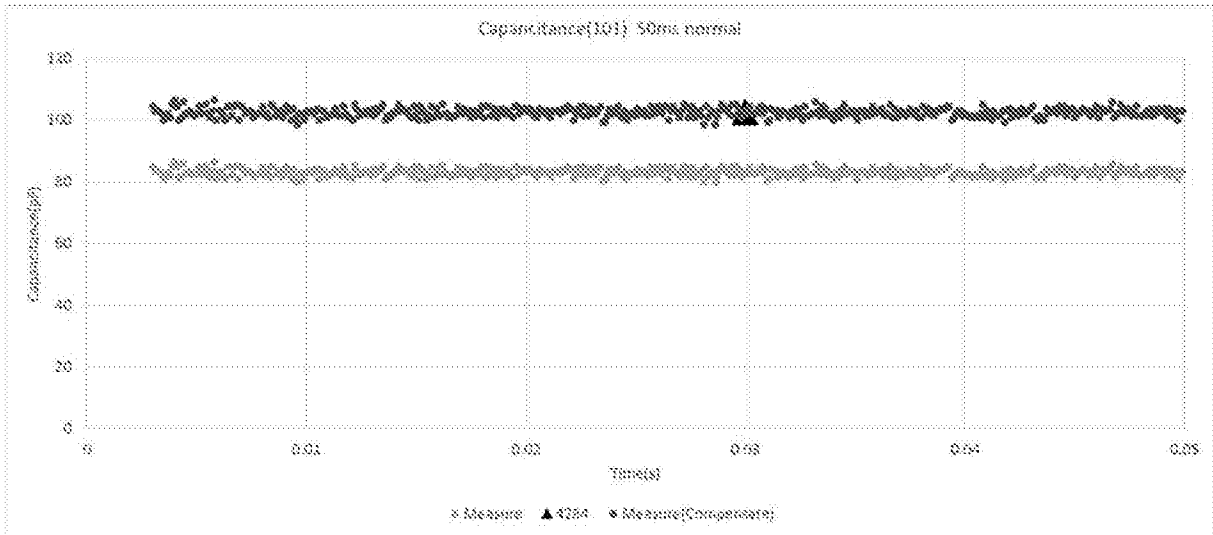


图3

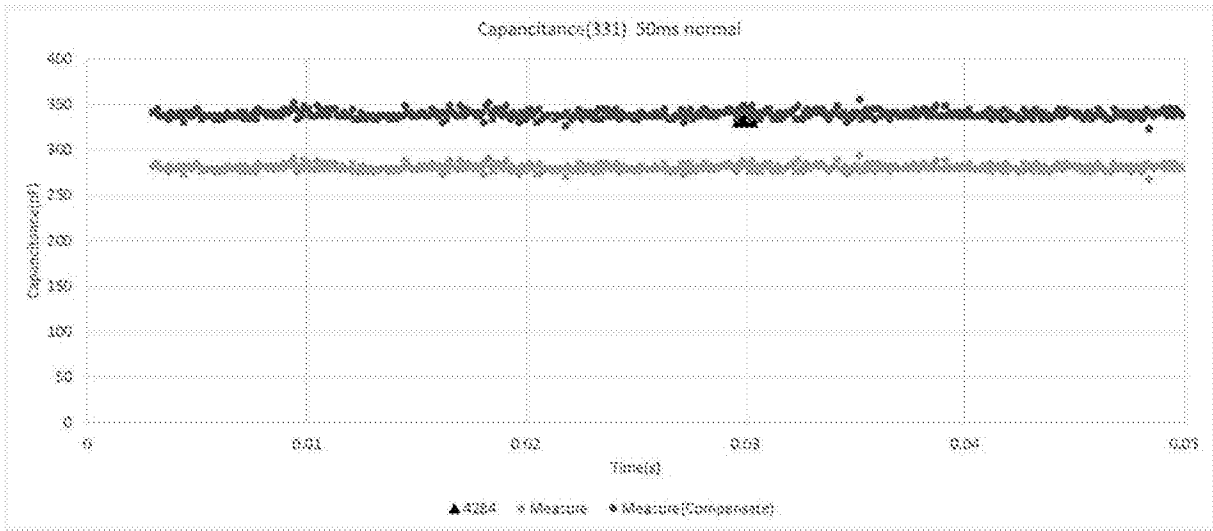


图4

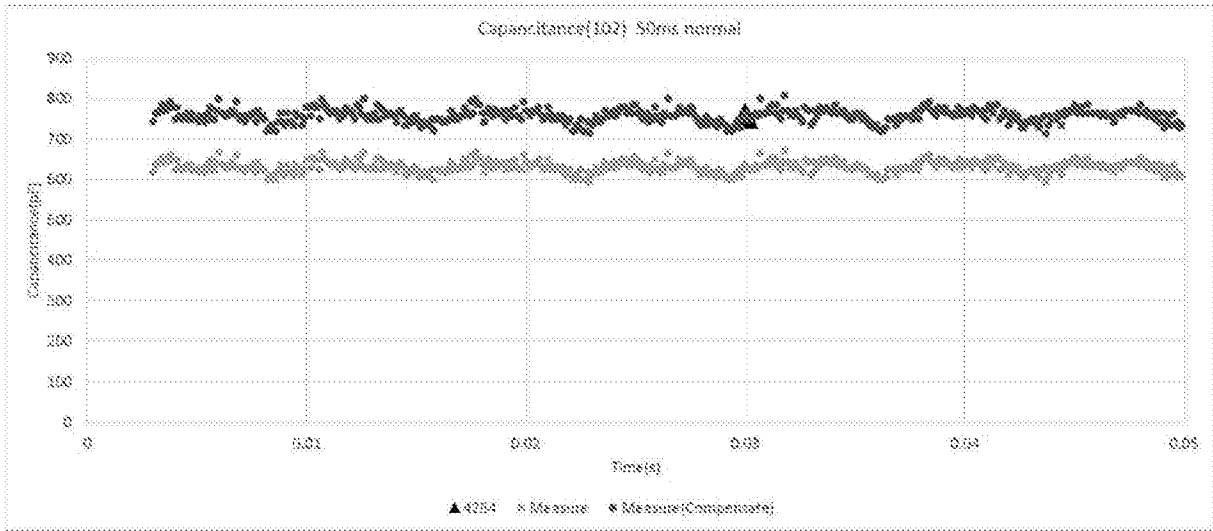


图5