



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102575998 B

(45) 授权公告日 2016. 03. 30

(21) 申请号 201080047815. 5

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2010. 09. 22

G01N 27/02(2006. 01)

(30) 优先权数据

(56) 对比文件

61/244, 584 2009. 09. 22 US

US 6448795 B1, 2002. 09. 10,

US 2583724 A, 1952. 01. 29,

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

WO 2008145188 A1, 2008. 12. 04,

2012. 04. 23

US 7071684 B2, 2006. 07. 04,

(86) PCT国际申请的申请数据

审查员 何孟珂

PCT/US2010/049824 2010. 09. 22

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2011/038003 EN 2011. 03. 31

(73) 专利权人 ADEM 有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 鲍里斯·凯斯尔 尤里·尼科列诺克

(74) 专利代理机构 北京信慧永光知识产权代理

有限责任公司 11290

代理人 陈桂香 武玉琴

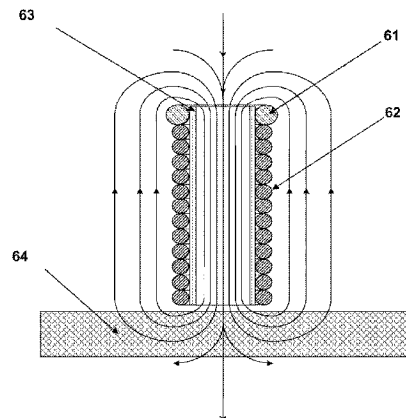
权利要求书3页 说明书11页 附图15页

(54) 发明名称

用于测量固体和液体对象构成的阻抗传感系统和方法

(57) 摘要

本发明提供一种谐振型阻抗传感器, 该阻抗传感器是多线圈开口芯或空芯电感器, 所述传感器包括至少两个线圈, 一个线圈为励磁线圈, 其可连接到至少一个具有扫频的交流电流源, 另一线圈为感应线圈, 其可连接到至少一个数据处理系统, 其中基于与所述电流源的电连接, 所述励磁线圈向所述感应线圈传送能量, 所述感应线圈生成探测电磁场, 其中所述感应线圈的 L、C、R 参数能够为测量测试对象在预设频率下的阻抗提供谐振条件。



1. 一种谐振型阻抗传感器,其为多线圈开口芯电感器或空芯电感器,所述传感器包括至少两个线圈,所述至少两个线圈中至少一个线圈为至少一个励磁线圈,其可连接到至少一个具有扫频的交流电流源,所述至少两个线圈中至少另一线圈为至少一个感应线圈,其可连接到至少一个数据处理系统和/或数据采集器(“DAQ”),其中:(i)基于与所述电流源的电连接,所述至少一个励磁线圈能够向所述至少一个感应线圈传送能量,所述感应线圈能够生成探测电磁场;(ii)所述至少一个感应线圈以这样一种方式设计:所述至少一个感应线圈的电感L、电容C以及电阻R参数能够为测量测试对象在预设频率下的阻抗提供谐振条件;以及(iii)所述至少一个感应线圈仅使用它的固有电容或分布电容,并不和任何电容元件连接,使得所述至少一个感应线圈能够测量所述测试对象至少一部分的一个或多个绝缘特性、导电性和电导中的至少一个,所述测试对象设置于所述至少一个感应线圈的感应区域中。

2. 根据权利要求1所述的传感器,进一步包括:(i)所述至少一个具有扫频的交流电流源,其电连接到所述至少一个励磁线圈;以及(ii)至少一个所述数据处理系统和/或所述数据采集器,其与至少一个所述感应线圈通信连接,其中所述至少一个感应线圈的所述L、C、R参数为测量测试对象在预设频率下的阻抗提供谐振条件。

3. 根据权利要求2所述的传感器,其中至少具备以下两个特征中的一个:(i)所述至少一个数据处理系统和/或所述数据采集器具有高输入阻抗;以及(ii)所述输入阻抗大于 $10M\Omega$ 。

4. 根据权利要求2所述的传感器,其中所述至少一个具有扫频的交流电流源具有可调电流输出。

5. 根据权利要求1所述的传感器,其中所述传感器配置成圆柱形多线圈电感器。

6. 根据权利要求5所述的传感器,其中所述圆柱形多线圈电感器具有铁氧体开口芯。

7. 根据权利要求6所述的传感器,其中所述铁氧体开口芯配置成半壶芯。

8. 根据权利要求6所述的传感器,其中所述圆柱形多线圈电感器具有可调铁氧体芯。

9. 根据权利要求1所述的传感器,进一步包括支持部件,其中所述至少两个线圈装配于所述支持部件上。

10. 根据权利要求1所述的传感器,其中所述多线圈开口芯电感器是平面的。

11. 根据权利要求9所述的传感器,其中所述支持部件为印刷电路板(“PCB”)型或柔性支持元件。

12. 根据权利要求5所述的传感器,进一步包括支持元件,所述传感器的所述至少两个线圈配置成装配于所述支持元件上的所述圆柱形多线圈电感器。

13. 根据权利要求12所述的传感器,其中所述支持元件至少具备以下两个特征中的一个:(i)具有低介电系数;和(ii)包括与已装配于所述支持元件上的所述圆柱形多线圈电感器接触的含氟聚合物。

14. 根据权利要求5所述的传感器,进一步包括用于调节所述传感器工作频率的构件。

15. 根据权利要求14所述的传感器,其中所述构件用于调整以下特征中的至少一个:(i)可调匝间距离;(ii)所述至少一个感应线圈的可调直径;(iii)所述至少一个感应线圈中的可调线圈匝数;和(iv)所述至少一个感应线圈的可调固有或分布电容。

16. 根据权利要求2所述的传感器,进一步包括与所述交流电流源和所述数据处理系

统通信连接的相位探测器。

17. 根据权利要求 1 所述的传感器,其中所述至少一个感应线圈和所述至少一个励磁线圈空间上彼此分开。

18. 根据权利要求 1 所述的传感器,其中所述测试对象是至少以下三项中的一项:导体、半导体和绝缘体。

19. 一种阻抗传感系统,其用于非接触、非介入测量和分析气体、液体和固体对象的目标化学和物理特性,包括:

(A) 至少一个如权利要求 1 或 16 所述的谐振型阻抗传感器;

(B) 至少一个具有扫频的交流电流源,其电连接到所述至少一个励磁线圈;

(C) 所述至少一个数据处理系统和 / 或数据采集器,其与所述至少一个感应线圈通信连接,其中所述至少一个感应线圈的 L、C、R 参数为测量测试对象在预设频率下的阻抗提供谐振条件;以及

(D) 控制系统,其与所述至少一个具有扫频的交流电流源和所述至少一个数据处理系统和 / 或数据采集器通信连接。

20. 根据权利要求 19 所述的阻抗传感系统,进一步包括固定装置,从而将测试对象布置于紧靠所述传感器的附近,使得由所述至少一个感应线圈感生出的电磁场能够穿入所述测试对象。

21. 根据权利要求 19 所述的传感系统,进一步包括用于容纳所述气体、液体或固体对象的导管。

22. 根据权利要求 21 所述的传感系统,其中至少具备以下特征中的一个:

(i) 所述传感器配置成围绕所述导管,所述传感器配置成圆柱形多线圈电感器;和

(ii) 所述传感器装配于所述导管的外壁或内壁。

23. 根据权利要求 22 所述的传感系统,其进一步包括管部,所述传感器安装于所述管部。

24. 根据权利要求 22 所述的传感系统,进一步包括至少一个旁路管,所述传感器安装于所述至少一个旁路管。

25. 根据权利要求 22 所述的传感系统,进一步包括至少一组通道,所述传感器安装于所述至少一组通道。

26. 根据权利要求 19 所述的传感系统,进一步包括用于测量测试对象外部环境条件的元件,以提供可用于补偿测量误差的参考信息。

27. 根据权利要求 26 所述的传感系统,其中所述用于测量测试对象外部环境条件的元件包括至少一个附加阻抗传感器。

28. 一种通过至少一个权利要求 1 或 2 所述的谐振型阻抗传感器测量对象的化学和物理特性的方法,所述方法包括:

(A) 在不存在测试对象的情况下,测量所述传感器的自谐振频率和振幅;

(B) 将包括至少一种分析物的测试对象放置于紧靠所述传感器的附近,使得由所述传感器感生出的电磁场穿入所述测试对象;

(C) 在存在所述测试对象的情况下,测量传感器的谐振频率和振幅;(D) 计算由所述传感器和所述测试对象之间的电磁作用引起的振幅和谐振频率变化,从而确定所述测试对象

的阻抗;以及

(E) 将所述阻抗与预设校准数据匹配,以确定所述测试对象的所述化学或物理特性。

29. 根据权利要求 28 所述的方法,进一步包括监控与时间相关的阻抗变化以及使所述测试对象的所述化学或物理特性与所述与时间相关的阻抗变化相关联。

30. 根据权利要求 28 所述的方法,进一步包括对所述测试对象施加附加外界影响,以改善所述传感器的灵敏度。

31. 根据权利要求 30 所述的方法,其中所述附加外界影响选自由 UV、IR、磁场、静电场以及声波构成的组。

32. 根据权利要求 31 所述的方法,其中所述声波为超声。

用于测量固体和液体对象构成的阻抗传感系统及方法

[0001] 相关申请

[0002] 本申请要求 2009 年 9 月 22 日提交的标题为“Impedance sensors and their use for analyzing object's compositions”的第 61/244,584 号美国临时专利申请的优先权,该临时申请的全部内容通过引用并入本文。

[0003] 联邦政府资助研究声明

[0004] 不适用

[0005] 微缩胶片附录参考

[0006] 不适用

技术领域

[0007] 本发明涉及一种极灵敏的新型电子传感器,其能够测量物理特性,探测和量化固体、散装物料和液体的构成。更具体的,在大多数应用阻抗谐振谱 (impedance resonance spectroscopy) 的环境条件下,无论材料的导电性、透明度和反射率如何,该新型传感器技术都能够为该材料组分的测量、探测及量化提供新型实时非接触式方法。

[0008] 发明简述

[0009] 一种电谐振传感器,其能够用于本设计传感器的类似传感器阵列中,其中各个传感器包括两个线圈,其中一个线圈为励磁线圈,而另一线圈为感应线圈并且与测试对象电耦合,该电谐振传感器工作在预设谐振频率下,该预设谐振频率选择为用于在射频范围 (RF) 中提供传感器指示与目标参数的强相关性;使用所述传感器实时测量测试对象的物理特性和 / 或组分的方法不需要接触。

背景技术

[0010] 人类社会在不断寻求能够实时无接触地监控众多工艺流程、环境、食品加工、公共安全和医疗过程的造价低廉的通用技术。例如,半导体和光伏产业在集成电路 (IC)、平板显示器和太阳能电池板的整个制造过程中需要先进的流程监控设备。从测量裸晶圆和其它基板的特性开始,到各种沉积和抛光处理过程中膜厚度的监控,以及最后的 IC 测试,都需要持续的过程监控和测量。在农业、食品、化工和制药行业,人们对利用传感技术监控有机和无机材料、液体的不同物理特性以及自然界内众多构成的组分感兴趣。本发明涉及一种极灵敏的新型传感器系统,该传感器系统是一种新测量方法的核心,该测量方法适用于包括导体、半导体和绝缘材料的广泛范围。

发明内容

[0011] 一个方面,本发明提供一种谐振型阻抗传感器,该谐振型阻抗传感器为多线圈开口芯 (open-core) 电感器或多线圈空芯 (air-core) 电感器。该传感器包括至少两个线圈,一个线圈为可连接到至少一个具有扫频的交流电流源的励磁线圈,另一个线圈为可连接到至少一个数据处理系统的感应线圈,其中基于与所述电流源的电连接,所述励磁线圈向所

述感应线圈传送能量,所述感应线圈生成探测电磁场,同时,其中所述感应线圈的 L、C、R 参数能够为测量测试对象在预设频率下的阻抗提供谐振条件。本发明提供并考虑各种实施例及其变型。

[0012] 另一个方面,本发明提供用于非接触且非介入式 (non-invasive) 测量和分析气体、液体和固体的目标化学及物理特性的阻抗传感系统,所述系统包括:(A) 至少一个上述谐振型阻抗传感器;(B) 至少一个具有扫频的交流电流源,其电连接到所述至少一个励磁线圈;(C) 所述至少一个数据处理系统,其与所述至少一个感应线圈通信连接,其中所述感应线圈的 L、C、R 参数能够为测量测试对象在预设频率下的阻抗提供谐振条件;(D) 控制系统,其与所述交流电流源和所述数据处理系统通信连接。本发明提供各种实施例及其变型。

[0013] 而再一个方面,本发明提供一种通过谐振型阻抗传感器来测量对象的化学和物理特性的方法,所述方法包括:

[0014] (A) 测量所述传感器的自谐振频率和振幅;

[0015] (B) 放置包括至少一种分析物的测试对象;

[0016] (C) 在存在所述测试对象的情况下测量传感器谐振频率和振幅;

[0017] (D) 计算由所述传感器和对象之间的电磁作用引起的振幅和谐振频率变化,从而确定所述测试对象的阻抗;以及

[0018] (E) 将所述阻抗与预设校准数据匹配,以确定所述测试对象的所述化学或物理特性。优选的阻抗传感器是如本发明传感器方面所述的传感器。

[0019] 通常需要非破坏性非接触式现场测量和/或控制各种多组分液体(例如水、血液、泥浆、不同溶剂等)以及需要对所述液体的金属、有机和无机污染进行监测。这在许多行业(包括化工、半导体、制药、医学、农业,食品加工等)的多种技术处理中是很常见的任务。所提出的系统和方法不仅能够单组分结构和流体中检测到极细微变化,还能够大多数多组分材料、多层结构和具有经溶解和/或均质化的构成的液体中检测到。

[0020] 本发明针对的是包括一个阻抗式传感器或阻抗式传感器阵列(群)的传感系统(设备),所述传感系统能够通过主要测试对象中的谐振高频电磁场产生非接触式探测,并且能够分析复杂对象对所述传感器探测磁场的响应。

[0021] 本发明主要涉及测量目标复合对象的物理参数和/或化学构成及其在目标复合对象中的分布的宽领域传感器系统和方法,所述目标复合对象包括:固体、液体、气体或其组合。本发明几乎能够用于各个行业,包括:公用事业、农业、食品、纺织、医药、光伏及半导体、医疗设备、化工及石油化工、冶金、国土安全。

[0022] 更具体的,本发明公开了一种用于非接触实时(现场)测量(分析)不同材料组分的新型射频阻抗传感系统结构和传感器,所述不同材料包括在半导体、平板、光伏和磁盘驱动器行业、材料科学等领域的众多生产工艺(如 PVD、CVD、ECD、CMP 等)过程中的薄膜、厚膜及层。此外,本发明描述了一种在化工、食品加工、农业和其它工业领域,以及测试实验室中用于测试液体、溶剂和气体分析的新的方法和装置(设备)。

[0023] 实际上,所述传感系统是通过在预选频率附近生成扫描电压来扫描测试对象。为提供最高灵敏度和分辨率,各个阻抗传感器设计成在一个所述预选频率下在所述测试对象存在时产生共振。

[0024] 通过测量所述测试对象对阻抗传感器的电磁场变化的响应,所述阻抗传感器能够

监控所述测试对象的目标参数（特性或属性）的数目，所述电磁场变化由谐振振幅（值）变化 $-dV$ 、谐振频率偏移 $-dFr$ 表示，以及某些情况下由一组预选频率下的相角位移 $-d\phi$ 来表示。

[0025] 数据处理单元能够比较和分析对象-传感器集合体在阻抗传感器输出 (V 和 dV 、 Fr 和 dFr 、 ϕ 和 $d\phi$) 的经统计过滤的反应。数据处理单元在存储器中存储参考数据及其使用的算法。参考数据在测量具有已知特性的同类对象的过程（通常称为校准）中获得。所述算法将所述传感器输出信号与目标特性的量化特征相关联，并且可以包括插入法、方程组求解、查表搜索等。

[0026] 根据本发明，在一组实施例中，现场阻抗传感器可设计成空芯圆柱或平面电感器，而根据另一组实施例则为铁氧体芯电感器。这些传感器中的每一个均具有至少一个称为励磁线圈的绕组以及至少一个称为感应线圈的绕组。所述励磁线圈连接（耦合）到 RF 扫描发生器的输出端，并为所述感应线圈表示的谐振电路提供电磁泵。所述感应线圈产生探测电磁场，感知测试对象对所述电磁场的影响，并且向多通道测量和数据处理（信号分析）系统传递关于所述影响的信息。

[0027] 阻抗传感器、RF 扫描发生器和数据处理系统设计用作高速闭环自整定（self-tuning）系统，所述系统连续查找传感器-对象集合体系统（联合体）的谐振频率，以实时（在线）模式计算并显示所述对象的目标参数和目标特性。

[0028] 本发明被认为具有利用电谐振电路实现高灵敏度阻抗测量的优点以及利用电化学阻抗谱 (Electrochemical Impedance Spectroscopy) 和介电弛豫谱 (Dielectric Relaxation Spectroscopy) 为阻抗测量提供确定最佳工作频率的方法的优点。

[0029] 高灵敏度阻抗测量通过仅由线圈构成的改进谐振电路实现。阻抗测量的目标参数为测试对象的有效电容和有效容抗 (capacitive reactance)，因此最高灵敏度能够通过尽可能最小化感应线圈的自电阻和自电容来实现。另一改进是使用励磁线圈，通过消除发生器源的阻抗对感应谐振电路的干扰向感应线圈转移能量。

[0030] 现有技术提出使用多个频率的设想，用于通过测量对象的电阻抗特性来确定化学和/或物理特性，但没人提出如何选择所述多个频率。本发明公开了一种新型先进方法。使用阻抗频谱仪为传感系统的各个阻抗传感器确定工作频率。

[0031] 组分传感系统的构建过程描述如下：

[0032] A) 制备一组具有目标构成的已知组分的样本，所述构成涵盖测试对象的所有可能的变型；

[0033] B) 通过宽频率范围扫描，为各个所述样本确定电阻抗频谱；

[0034] C) 分析所述频谱以找到一组频率，在这些频率下，所述频谱间的频差与目标构成部分的变化相关，并且所述目标构成以不同比例来形成阻抗，其中选定频率的数目至少应当与所探测目标构成的数目相同；

[0035] D) 构建一组具有基于步骤 C 的结果的工作频率的传感器；

[0036] E) 邻近测试对象装配所述一组传感器；

[0037] F) 使用步骤 A 制备的一组样本来收集并存储校准数据；以及

[0038] G) 制定和实施数据处理算法。

[0039] 上述改进允许构建具有（可能做到的）最高 RF 灵敏度的新型测量传感器。图 17、

23 表示传统方法及本发明提出的方法的灵敏度等级。本发明提出的传感器系统及测量方法较之所有已知电气方法都显著增加了灵敏度。根据应用情况不同,灵敏度等级的改善不同。对于某些应用,灵敏度改善可依据要素而非百分比测量。

附图说明

[0040] 下面参考本发明的具体实施方式对本发明作出描述。结合附图,通过下面对优选实施例的详细描述,本领域技术人员将明了本发明的这些特征、其他特征以及优点,其中:

[0041] 图 1 示出本发明阻抗传感器的简化等效电路和测试对象的响应;

[0042] 图 2 表示对象位于传感器外部时绝缘测试对象对涡旋电场的响应,;

[0043] 图 3 表示对象位于传感器内部时绝缘测试对象对涡旋电场的响应;

[0044] 图 4 表示对象位于传感器外部时测试导电对象对涡旋电场的响应;

[0045] 图 5 表示对象位于传感器内部时绝缘测试对象对线性电场的响应;

[0046] 图 6 示出本发明阻抗传感器的一个实施例(圆柱型)的截面图;

[0047] 图 7 示出本发明阻抗传感器的又一实施例(线轴型)的截面图;

[0048] 图 8 示出本发明又一实施例,其用于测试管道中流动的液体并且包括具有三种不同频率的阻抗传感器的阵列;

[0049] 图 9 示出本发明阻抗传感器阵列的又一实施例的概貌图,所述阻抗传感器阵列包括两个旁路部分,其中测试液体的属性可由几个不同的阻抗传感器测量(所述旁路部分能够周期性空闲以用于壁层沉积的校准和校正);

[0050] 图 10 示出本发明阻抗传感器的又一实施例(铁氧体壶型)的截面图,该阻抗传感器用于测量固体对象;

[0051] 图 11 示出本发明阻抗传感器的又一实施例(铁氧体壶型)的截面图,该阻抗传感器用于测量液体和散装物料;

[0052] 图 12 示出本发明用于测量液体和散装物料的非接触传感器设备的实施例,且所述传感器设备的励磁线圈和感应线圈围绕测试对象;

[0053] 图 13 示出本发明平面传感器实施例的概貌图;

[0054] 图 14 示出根据本发明传感系统的框图;

[0055] 图 15 示出了对于裸硅晶圆以及覆盖有 5000\AA 厚铝薄膜的相同硅晶圆,本发明阻抗传感系统的输出信号的示波器屏幕截图;

[0056] 图 16 示出对于蒸馏水和自来水样本,本发明传感系统的测试结果图;

[0057] 图 17、18 和 19 示出对于蒸馏水样本以及含有不同浓度氯化钠(NaCl)的水样本,本发明传感系统在 17-20MHz 频率范围中的测试结果图;

[0058] 图 20 和 21 示出表示利用本发明传感系统测量具有不同铝膜厚度的硅晶圆的测试结果图;

[0059] 图 22 示出表示本发明传感系统用于测量水中汞污染的测试结果图;

[0060] 图 23 示出对于本发明具有 20pF 电容器的传感器,含有不同浓度的 NaCl 的水溶液在 17-20MHz 频率范围中的振幅/频率响应曲线图;

[0061] 图 24 示出对于本发明具有 20pF 电容器的实施例以及无附加电容器的传感系统而言作为水中 NaCl 浓度函数的振幅/频率响应曲线的极点。

具体实施方式

[0062] 一些专利文献已经披露使用电谐振电路测量液体构成的装置和方法。第 7, 219, 024 号美国专利记载了利用电磁探测的密度和水分含量测量。第 6, 511, 851 号美国专利披露了使用谐振频率电路识别液体组分变化的方法。国际专利申请 WO 2008076453 披露了使用传感器自身电感器和电容器监控汽车发动机燃料的乙醇 / 酒精含量的传感器。美国专利申请 20080143345 披露了用于脉溶液自动监控设备的感应传感器, 该监控设备配置成与选定的催化还原车辆的储脉罐协作。

[0063] 其它专利披露了使用电化学阻抗谱 (EIS) 和介电弛豫谱 (DRS) 测量物理和化学特性及其分布的装置和方法。美国专利商标局专利申请 20090027070 披露了测试用于测量各种基板的涂层完整性的双单元电化学阻抗系统 (EIS) 测试装置和方法。第 4, 433, 286 号美国专利披露了利用材料的复杂介电响应的材料鉴定。第 7, 514, 938 号美国专利披露了用于非介入测定样本中分析物是否存在或分析物浓度的介电弛豫谱装置和使用方法。

[0064] 众多用于测量薄层和厚层厚度、均匀性、组分和污染的测量技术被提出。例如椭圆偏光法的光学方法常用于半导体行业。这些方法大多用于透明层的测量。X 射线技术昂贵并存在安全问题, 从而使其生产线应用受到限制。

[0065] 其它方法包括交流 (AC) 和直流 (DC) 探针、电容式传感器 (第 7, 332, 902 号美国专利)、感应涡流技术 (美国专利出版物 200501566042 和 20090079424), 而另一些方法取决于各种难以控制的因素。几个专利披露了增强的感应和射频阻抗分析方法 (例如第 6, 593, 738 号及第 6, 891, 380 号美国专利)。基于电气的方法, 要么需要电连接到测量薄层 (通常会影响到测量对象), 要么为非接触式, 同时该基于电气的方法测量起来比较慢且灵敏度低。

[0066] 人们认为, 当测量不透光或不透明层以及由透明层形成的堆时, 光学方法通常无法可靠地应用。测量层的光学特性 (折射率、消光系数等) 以及测量层和 / 或基础层的表面粗糙度使情况进一步复杂。

[0067] 此外, 本领域已知的技术无法以高精度度测量多层复合对象中的目标个体层厚度。那些已知技术大多受限于例如测量速度、光学特性和材料电导率的一个缺陷或缺陷的组合。此外, 这些技术中的一些具有破坏性和 / 或需要极不可取的直接接触。

[0068] 光学、X 射线和现有的阻抗谱设备体积庞大、过于昂贵、并且不适用于现场型测量。

[0069] 虽然本发明并非局限于任何特定理论, 但传统敏感谐振电路为由至少两个元件构成的电路: 相互电连接的电感和电容。为了最大化谐振电路相对于测试对象的电阻抗的灵敏度, 人们认为, 有必要将谐振电路的电容和电阻最小化。本发明人意外地发现, 由电感器和电容器构成的传统电路可由电感器单独代替。所述电感器 (感应线圈) 作为传感元件应当为空芯型或开口芯型。感应线圈为电感器的主要部分, 并且其参数限定本发明传感器的工作频率。通过使用匝间具有足够距离的单层线圈或者使用篮形绕组降低感应线圈的自电容, 可以进一步提高传感器灵敏度。

[0070] 虽然本发明并非局限于任何特定理论, 但感应线圈产生的 AC 电流源的电气隔离认为是本发明的另一显著特征, 所述电气隔离有助于本发明传感器的高灵敏度; 这是为了消除或最小化源阻抗对传感器灵敏度的影响。这是通过使用励磁线圈从 AC 电流源向感应

线圈电磁地转移能量而实现的。

[0071] 本发明传感器设计的又一重要方面是对数据处理模块的高输入阻抗的要求,所述方面从未在现有技术中提出。为了实现高传感器灵敏度,输入阻抗应当非常高(例如,本发明数据采集单元具有 $10\text{G}\Omega$ 的输入电阻)。所述要求的正确性可通过下列公式证明:

$$[0072] \quad W = V^2/R$$

[0073] 其中, W- 数据采集器的输入电阻损耗的能量

[0074] V- 有效信号的电压(对于本发明数据采集器(DAQ),该电压为 0.5-11V)

[0075] R- 连接到感应线圈的仪器的输入电阻(例如 DAQ)

[0076] 上述公式直观地表明,当使用较高输入电阻时,能量损耗较小。例如,当以标准示波器(甚至具有 $10\text{M}\Omega$ 衰减器)替换 $10\text{G}\Omega$ 数据采集器(DAQ)时,观察到传感器灵敏度急剧下降。

[0077] 几个专利文献(美国专利第 4058766 号、第 4433286 号、第 6669557 号和第 7219024 号)提到使用多个频率通过测量电阻抗来确定不同对象的不同化学和物理特性,但所述专利未记载在使用中的频率限定标准。本发明利用随频率变化而改变阻抗特性的现象,来寻找组分传感系统的传感器的最佳工作频率。利用阻抗谱获得不同频率下对象的阻抗信息,能够建立本发明阻抗传感器的系统,从而确定液体溶液、气体混合物、固体复合对象、多层对象的组分或者监测所述对象组分的变化。

[0078] 图 1 示出本发明阻抗传感器的简化等效电路和测试对象响应。阻抗传感器以实线示出。该电路由具有扫频的交流电流源 11、励磁线圈 12、感应线圈 13 以及数据处理系统 14 构成。

[0079] 励磁线圈的作用是向感应线圈泵送电磁能量,并将感应谐振电路与 AC 电流源阻抗隔离开。

[0080] 本发明的敏感谐振电路仅由感应线圈构成,并可以通过线圈的如下参数描述:电感、匝间电容和有效电阻。

[0081] 根据本发明方面的阻抗传感器设计提供低电容值。可取地,将电容降低至最低实用电容值。

[0082] 感应线圈耦合到数据处理系统的高阻抗输入端(优选范围在大约 $10^7\Omega$ 至大约 $10^{15}\Omega$)。

[0083] 本发明阻抗传感器的等效电路分析表明感应线圈的输出电流通常很小(范围在 10^{-6} - 10^{-14}A)。

[0084] 测试对象的响应以虚线示出。该对象的反应可以由三个等效电路 15、16 和 17 表示。

[0085] 感应线圈的交变磁场生成涡旋电场(vortex electric field)E,并且该电场反过来感应出不同类型的涡旋电流。

[0086] 如果感应线圈紧靠绝缘固体对象附近布置,则等效电路 15 由返回参数(resulting parameter)L、R 和 C 组成。电路 15 的阻抗反映了对由涡旋电场 E 生成的涡旋位移电流的电阻,并且由交变电介质极化产生能量损耗(图 2)。

[0087] 相同的返回参数反映了由充有电介质液的管中的涡旋位移电流产生的响应。在该实施例中,对象示出为由感应线圈环绕(图 3)。

[0088] 对于导电对象,不论固体和液体,等效电路 16 能够仅仅具有两个结果参数 L 和 R。这些参数认为是对由涡旋电场 E 产生的涡旋导电流和离子电流 (ionic current flows) 的阻抗,并且由涡流 (eddy current) 产生能量损耗 (图 4)。

[0089] 感应线圈的交替线性电场 E 也感应出不同类型的线性电流。导电和绝缘对象引起传感器和对象的电容耦合,并且这种关系由等效电路 17 示出。阻抗反映了相对于线性导电电流、位移电流或离子电流的对象电阻,所述线性导电电流、位移电流或离子电流均由感应线圈的电位梯度 (图 5)、或者线圈和测试对象之间的电位差 (未示出) 产生。

[0090] 实施方案详述

[0091] 现在参考图 6,图 6 示出本发明一个实施例的截面图,该实施例可不具有线轴或者可具有大体形成为短管的支持部件 63,所述短管由在高射频频率下具有最小介电常数 ($\epsilon \sim 2$) 的非接触传导材料制成,例如含氟聚合物。为进一步最小化传感器电容,支持部件 63 应当具有薄壁。

[0092] 支持部件 63 的第一 (上面) 部分承载励磁线圈 61,所述励磁线圈可具有单独一个或少数几个粗的铜线匝。励磁线圈的一个端子接地,而第二端子连接到 RF 扫描发生器 (未示出) 的低阻抗输出端。

[0093] 支持部件 63 的第二部分承载感应线圈 62。该感应线圈由比励磁线圈细的铜线缠绕成。并且,该感应线圈线匝之间的距离能够改变,因此能够机械调整 (改变) 感应线圈的电容和电感。通过这种方式,能够调节阻抗传感器的工作频率。

[0094] 感应线圈 62 的第一端子示出为靠近励磁线圈 61 并且同时接地。感应线圈的第二端子与多通道测量和数据处理系统的高阻抗输入端耦合。感应线圈 62 的端部紧靠测试对象 64 附近布置,所述测试对象可以是固体或液体。励磁线圈和感应线圈以相反方向缠绕,从而在从该励磁线圈向感应线圈转移能量期间获得对于二者而言方向相同的磁场,并为二者提供电气隔离。

[0095] 根据线圈直径和感应线圈匝数,本发明实施例能够具有宽范围的工作频率。该范围能划分成两个频域:a. 工作频率 $< 50\text{MGz}$,其用于测量导电对象;b. 工作频率在 $50\text{MHz}-1\text{GHz}$,其用于测量绝缘和半导体对象。

[0096] 图 7 示出阻抗传感器的备选支持部件设计。“线轴型”支持部件 73 能够提供感应线圈 72 中更多的线圈匝数,并且使用更细的线用于该线圈。励磁线圈 71 仅具有一圈线匝。该线轴的中心孔设计成利用该传感器与光位移 (接近) 传感器 74 一起来控制从线圈到薄膜 76 的距离,所述薄膜 76 沉积于基板 75。

[0097] 本发明涉及晶圆、平板显示器、太阳能电池板等的薄绝缘层、导电层和半导体层的厚度测量,因而本发明具有诸多应用。在这些情况下,阻抗传感器与测试对象的目标层之间的距离 (或间隔) 是关键因素。

[0098] 图 8 示出本发明又一实施例的概貌图,其中传感器阵列包括工作在不同频率下的三个阻抗传感器 81-83。该实施例的传感器阵列能够同时监控目标液体的至少三种构成。

[0099] 线圈为线轴型实施例的阻抗传感器安装在管 84 的承载测试液体 (气体或散装物料) 的部分。该传感器能够布置成彼此距离足够远,以避免严重的互扰或串扰。此外,传感器可以交替工作。在一些实施例中,该距离至少等于或大于邻近较大线轴的半径。

[0100] 在该实施例中,阵列的各个阻抗传感器均具有专用于各个目标构成的各自 (单

独)的工作频率。传感器阵列连接到阻抗传感系统的控制器(未示出)。

[0101] 图9示出本发明又一实施例的截面图,其中传感器阵列监控具有目标构成的流动的流体(例如液体)。该流体流过大直径绝缘管(例如3"或更大)或任意直径的导电管97。阻抗传感器93、94、95和96固定在两个较小的旁路管91和92(旁路管数量可改变),所述旁路管的直径能够根据应用进行配置。各个传感器具有自己专用于各个目标构成的谐振频率。

[0102] 该实施例表明了使用旁路管的优点,所述旁路管的直径匹配阻抗传感器线圈(电感/工作频率)测量目标构成所需的最佳直径。此外,旁路管起到为工作在邻近谐振频率范围的传感器之间提供合适距离的作用。在该实施例中,能够减少几个阻抗传感器之间的串扰和相互作用。

[0103] 旁路管能够配备开、关阀门从而允许定期维护,包括校准和壁沉积物清洁。

[0104] 图10示出本发明又一实施例的截面图,其中励磁线圈101和感应线圈102均布置在铁氧体半壶103内部。在该实施例中,阻抗传感器可紧靠测试对象104(例如,具有沉积金属层105的基板)附近布置。在该实施例中,铁氧体壶朝向测试对象开口并为测试对象提供高磁通。

[0105] 在又一实施例中,根据应用要求可以使用其它形状的铁氧体芯,例如单一的“I”、“C”、“U”或“E”型。在任何情况下,铁氧体芯能够增加阻抗传感器的灵敏度,尤其是工作于导电且低电阻对象时。

[0106] 图11示出本发明又一实施例的截面图,其中传感器与图10中的相同,但其固定于导管114的壁上,所述导管能够装载液态或散装物料测试对象115。该传感器包括布置在铁氧体半壶113内部的励磁线圈111和感应线圈112。

[0107] 图12示出本发明用于测试液体、气体和散装物料的导管型、非接触传感器设备的实施例(励磁线圈和感应线圈围绕测试对象)。该设备由可控RF扫描发生器121、励磁线圈122、感应线圈123、数据采集器124以及基于数据处理系统的控制器125构成。

[0108] 图13示出本发明又一实施例的概貌图,其中阻抗传感器配置成两个同轴平面电感器。内部的电感器为具有多个线匝的感应线圈,其中一个端子131接地,而第二端子132可以连接到控制器(未示出)。外部电感可以是励磁线圈,其一端131接地,而另一端133连接到具有扫频的交流电流源。

[0109] 平面阻抗传感器可以由光刻方法制备,其中两个电感均沉积于固态刚性或柔性隔离基板。该传感器设计具有如下几个优点:尺寸小、易于安装(贴附)于对象(如:管)、成本低。

[0110] 图14示出本发明又一实施例,其中N个阻抗传感器的阵列连接到系统控制器。图14示出本发明具有控制器的传感系统的简化框图。

[0111] 各个阻抗传感器的励磁线圈(未示出)连接到所需数量的射频扫描发生器(RFG)的输出端。各个传感器的感应线圈连接到控制器中多通道数据处理系统(MDS)的高阻抗输入端。

[0112] RFG和MDS均连接到控制系统,该控制系统控制信息交换、扫描、测试-测量结果显示以及其它功能。该控制系统可具有几个可选的校正传感器(例如,用于监控环境空气和/或流体的温度、湿度等)。控制器还可以具有接口模块来发送和接收来自更高等级工具控

制器、机器或生产车间系统的信号（信息）。

[0113] 实时测量结果可以通过控制器显示和 / 或用作对自动闭环工具或机控系统的反馈信号。通过这种方式,可在技术所需范围内自动控制和维护测试对象的目标参数。

[0114] 根据测试对象的电气和物理特性,能够调整 RFG 的输出电压 / 输出电流。例如,对于测量导电金属膜的厚度,更高的励磁线圈电流 / 电压提供更高的传感系统灵敏度和分辨率。

[0115] 数据处理系统能够分析来自 RFG、传感器 S1 至 SN 以及控制系统的信息。分析结果为各个“对象 - 传感器”系统限定出特有谐振频率 F_{ro} 和电压幅值 U_o 。基于此信息和校准算法,多通道数据处理系统 (MDS) 以目标物理或化学参数的计量单位例如薄膜厚度、液体构成浓度、层介电常数等对值 F_{ro} 和 U_o 进行转换。这种两个参数的转换可通过下一方程组表示:

$$[0116] \quad \begin{cases} X \times k_{11} + Y \times k_{21} = F_{ro} \\ X \times k_{12} + Y \times k_{22} = U_o \end{cases}$$

[0117] 其中, X 为第一目标参数 (例如薄膜厚度), Y 为第二参数 (例如晶圆体电导率), K11 和 K12 为频率权重系数, K21 和 K22 是输出电压的权重系数。

[0118] 系数 K11、K21、K12 和 K22 通常使用校准方法来获得,然后能够从定期存储这些系数的 MDS 存储器中检索到。校准程序包括测量具有已知目标参数 (S) 值的参考样本,以及利用采集的数据计算具有统计意义的权重系数。

[0119] 实例

[0120] 下列实例旨在说明本发明的各种应用,并非限制本发明范围。本领域技术人员利用本申请公开的内容和教导,无需经过过度实验就能够得到替代实施例。各个所述实施例均视为本发明的一部分。

[0121] 实例 1 :关于裸硅晶圆和覆盖有 5000\AA 厚铝膜的相同晶圆的测试

[0122] 图 15 示出关于裸硅晶圆,阻抗传感器输出信号 151 在 32-43MHz 频率范围的示波器屏幕截图。谐振频率为 33.8MHz,谐振振幅为 10067mV。线 152 为相同阻抗传感器关于覆盖有 5000\AA 厚铝膜的相同晶圆的幅频曲线。在这种情况下,谐振频率为 41MHz,而谐振振幅为 1673mV。比较线 151 和 152 可知,谐振频率以及 (尤其是) 电压幅值明显不同。该实例表明了根据本发明的新型阻抗传感系统的高灵敏度。

[0123] 实例 2 :关于蒸馏水和自来水样本的测试

[0124] 图 14 示出用于校准和测量液体 (以水为例) 中不同构成的可变浓度的测试用固定装置,其中阻抗传感器围绕 (优选由特氟龙 (Teflon) 制备的) 小型导管 - 取样器。

[0125] 图 16 示出不同条件下的测试结果曲线图:161 表示取样器中无液体时,162 表示取样器盛装蒸馏水时,以及 163 表示取样器盛装自来水时。与空取样器相比,蒸馏水在传感器输出幅值上仅仅示出相对小的变化。相比蒸馏水 11MHz 的谐振频率,空导管 12.5MHz 的谐振频率位移更大。然而,自来水的幅值和谐振频率均明显改变。该结果可以理解为,这是因为 25°C 的蒸馏水电阻率约为 $18.2\text{-}40\text{M}\Omega\text{-cm}$,而自来水通常低于 $0.1\text{M}\Omega\text{-cm}$ 。

[0126] 该实例证明了新型阻抗传感系统的极高灵敏度,并表明即使是液体对象很小的污染也能够检测和量化。

[0127] 实例 3 :水中不同 NaCl 浓度的测量

[0128] 为了确定水中氯化钠 (NaCl) 溶液的合适工作频率,通过在宽范围工作频率 (20MHz、70MHz、370MHz、480MHz) 探测谐波电磁场来进行初步研究。20MHz 附近的频率显示出更佳结果。

[0129] 选择 17 至 20MHz 范围内的频率用于阻抗传感器。在下一个实例中,测量不同浓度 NaCl 的幅频响应。

[0130] 图 17 示出这些测量的结果图。如从幅频曲线图所看到的,含有不同浓度 NaCl 的溶液相互明显地区别开。蒸馏水 (菱形填充) 在约 19.6MHz 频率产生最高幅值,NaCl 浓度最低的溶液产生小于蒸馏水的幅值,随着 NaCl 浓度的增加,幅值下降,并且最大振幅处的频率降低,直到浓度为 0.1% 为止。此外,可以清楚地发现 1% 的氯化钠溶液产生大于观察到的次低浓度溶液的幅值。这些结果表明了新型阻抗传感系统以高分辨率测量液体构成的宽范围浓度的能力。

[0131] 图 18 示出测量 NaCl 浓度时阻抗传感器谐振振幅的关联性。图 19 示出以对数等级表示 NaCl 浓度时的同一关联性。

[0132] 实例 4:硅晶圆上薄铝膜的厚度测量

[0133] 图 20 示出铝膜厚度测量的测试结果 (以埃范围示出)。传感系统使用类似图 7 所示的开口芯谐振传感器。频率范围设置为 34MHz-43MHz。曲线的起点对应于无铝膜的裸硅晶圆。

[0134] 图 21 示出以对数等级表示铝膜厚度时的同一测试结果。

[0135] 实例 5:水中汞的测量

[0136] 汞是最危险的饮用水污染物之一。即使在浓度很小情况下,这种污染也需要高度关注。因此,我们开展了一系列测量水中汞 (Hg) 浓度的实验。

[0137] 在一组实验中,发现由蒸馏水中的汞离子 (Hg⁺) 浓度导致幅频特性显著变化时的频率范围。该频率为线圈设计限定 L、C 和 R 参考值。可以根据公知的设计规则并考虑特定布局来构成测试线圈。此外,为达到最高灵敏度,可取地,对于测量电路,将自电容 C 保持在最低。通过上述传感器进行下一实验。

[0138] 图 22 为示出具有不同 Hg⁺ 浓度的蒸馏水样本的幅频特性 (AFC) 图。测试结果清楚表明本发明阻抗传感系统能够测量蒸馏水中低至 1ppb (十亿分之一) 等级 Hg⁺ 浓度的能力。

[0139] 实例 6:当谐振电路包括电容时 IRT 传感器的灵敏度降低

[0140] 为了证实我们根据阻抗谐振设备中的电容在调节本发明实施例的幅频关系中的上述作用得到的结论,如实例 3 中所述,我们利用 NaCl 溶液开展了一系研究,但其中设备的谐振电路包括电容器。

[0141] 图 23 示出利用 IRT 传感器获得的幅频响应 (AFR) 曲线,所述 IRT 传感器具有比实例 3 中传感器少大约四倍的匝数并带有 20pF 的附加电容器。正如预期的,利用具有附加电容的改进传感器,我们发现各个 NaCl 溶液的幅频关系几乎相同,并且观察到无论是最大振幅处的幅值或是频率均不存在明显变化。

[0142] 图 24 示出具有和不具有附加电容器的传感器的幅频响应曲线的极点。能够清楚地看到,与不具有附加电容器的传感器相比,具有附加电容器 (开口环) 的实施例具有范围大大变窄的有效信号 (谐振频率和振幅变化)。相反,根据理论,我们发现不具有附加电容

的谐振阻抗传感器系统示出范围非常宽的有效信号。

[0143] 该实例表明,本发明的系统和方法比现有传感系统具有显著高的灵敏度。因此,使用本发明的系统和方法能够为保证产品远离有害污染贡献力量。

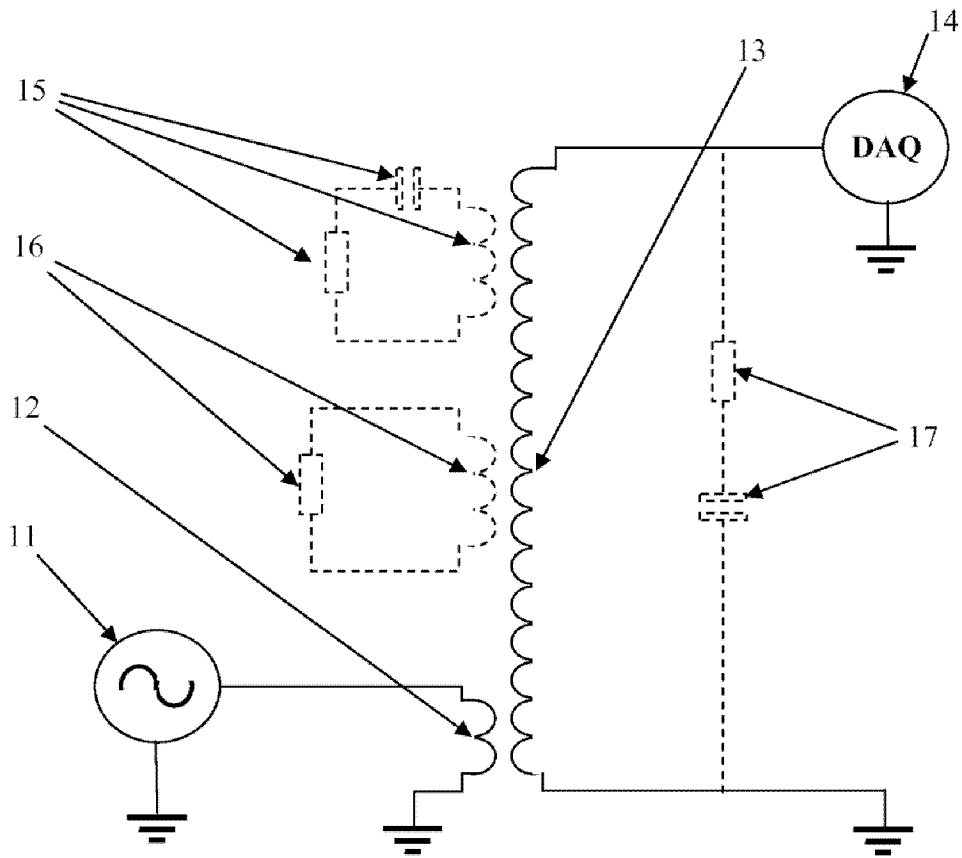


图 1

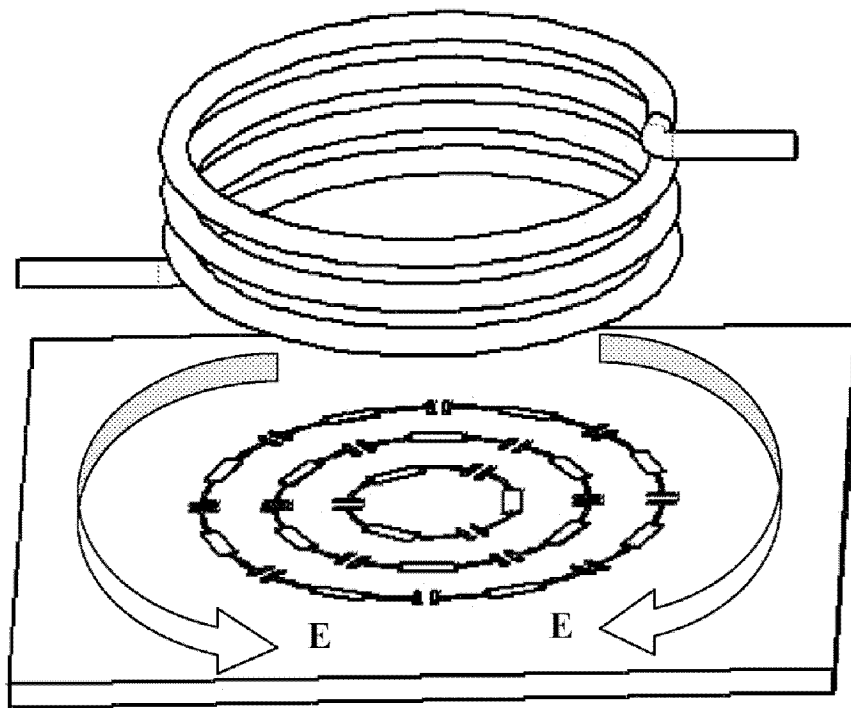


图 2

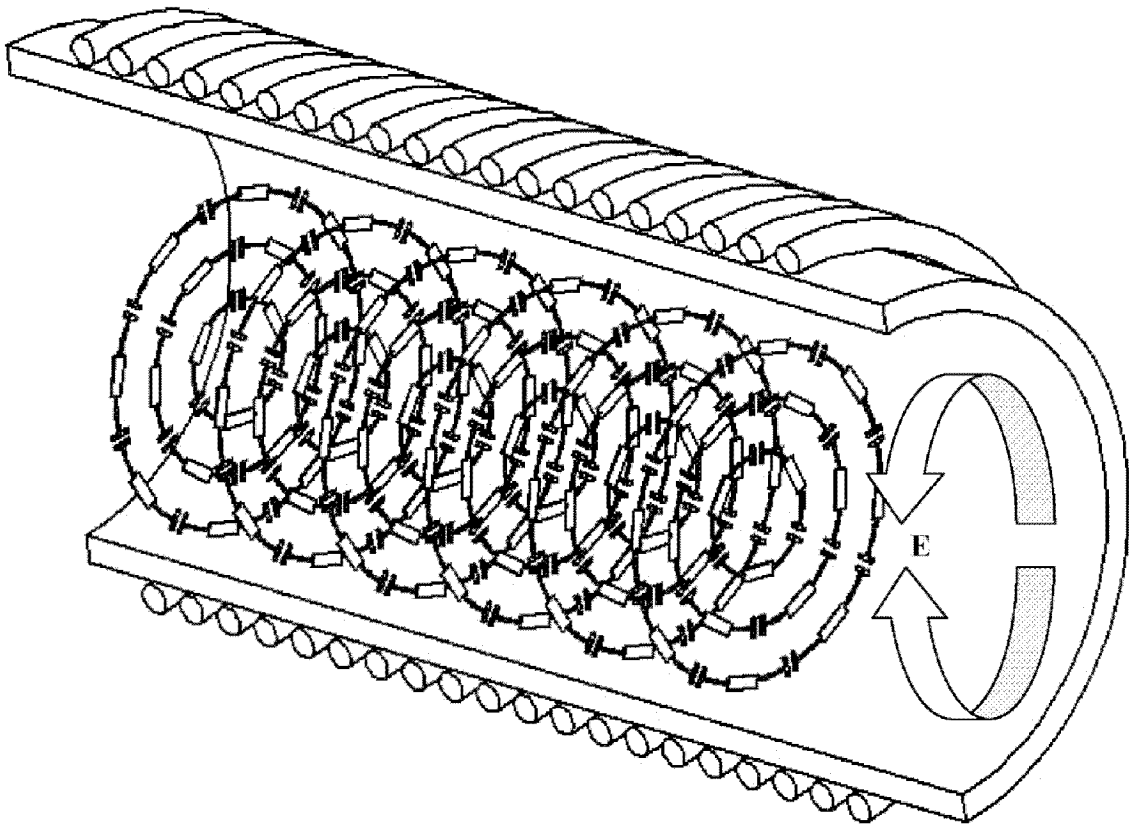


图 3

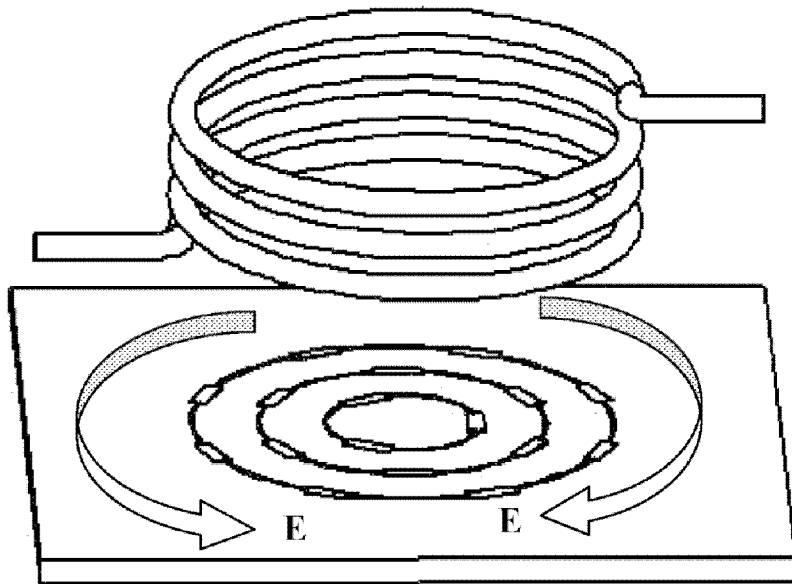


图 4

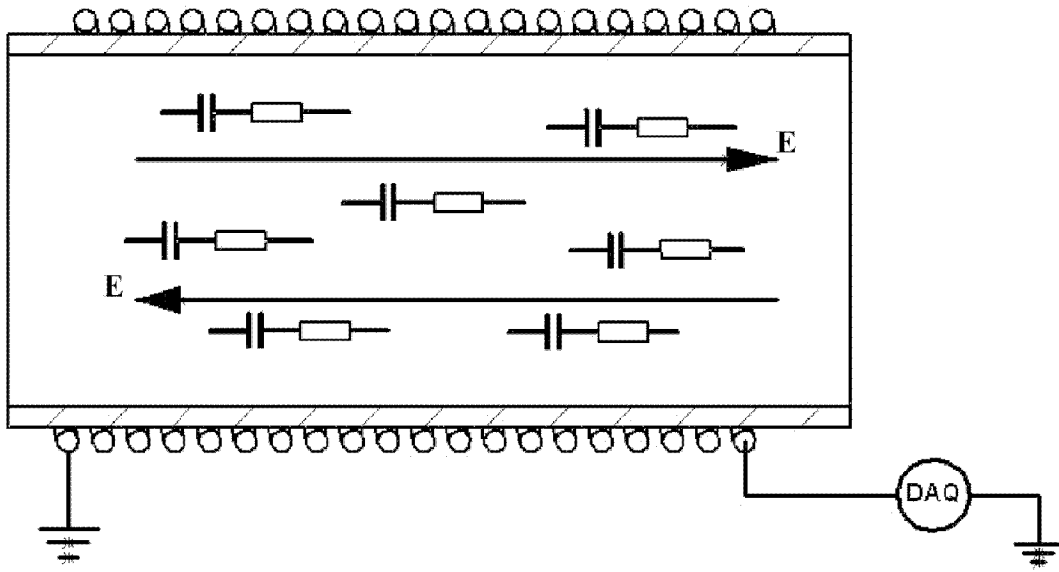


图 5

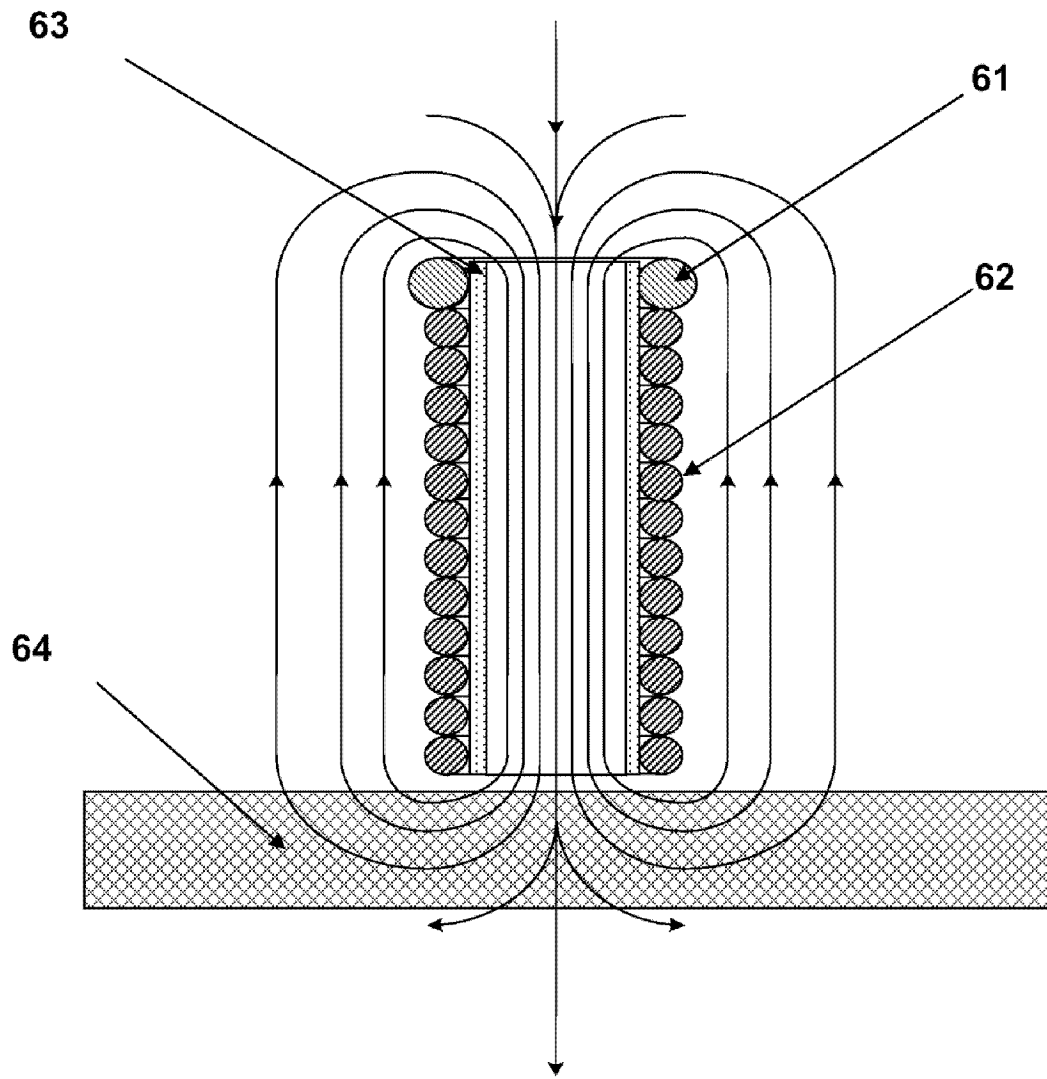


图 6

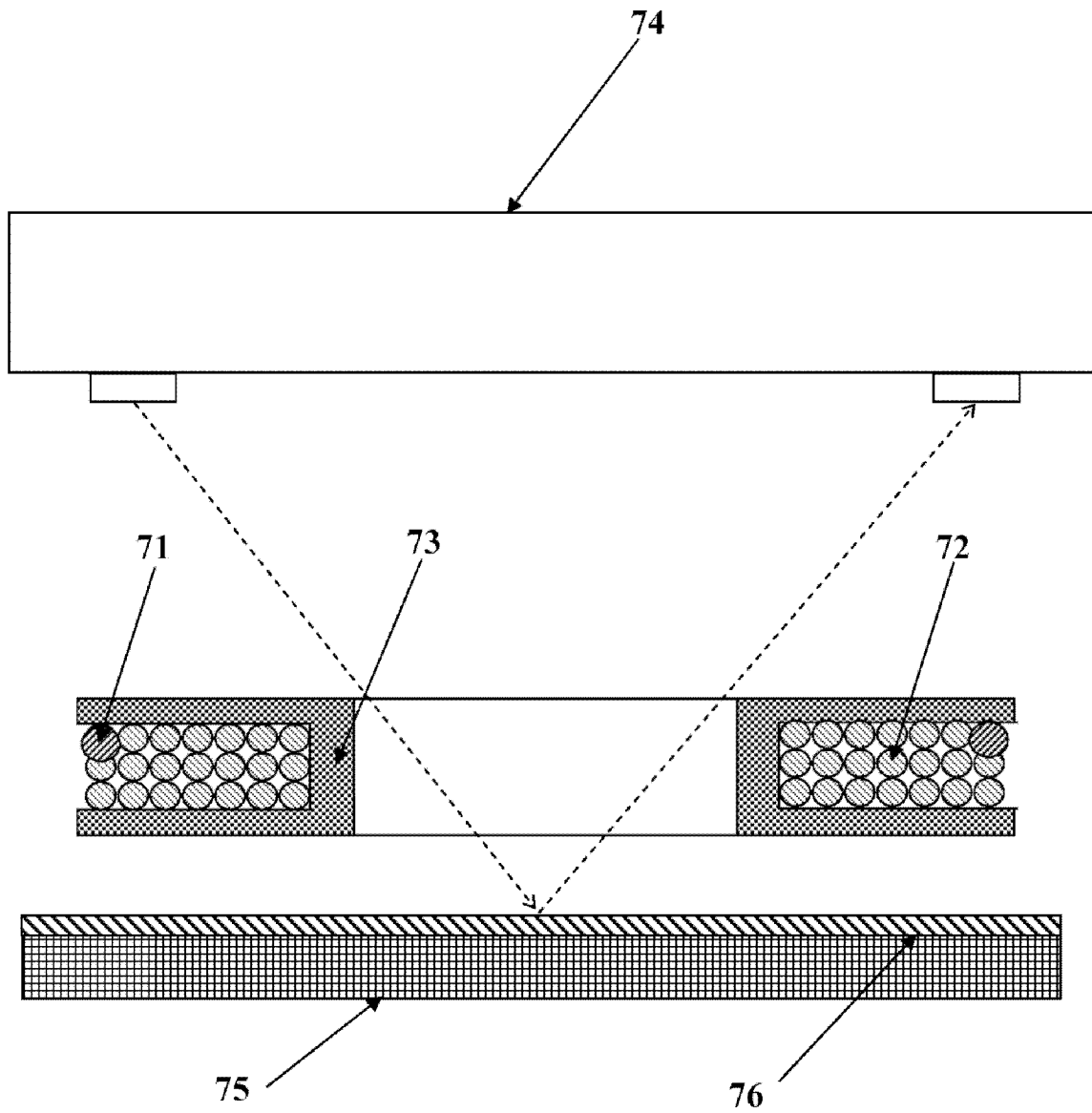


图 7

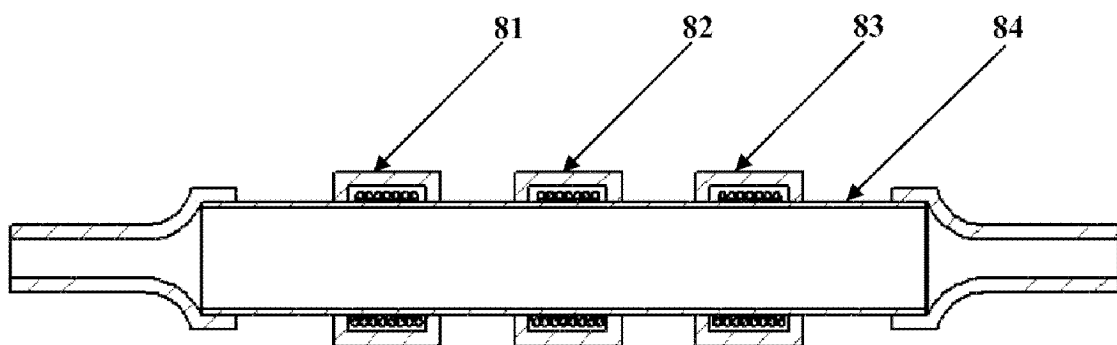


图 8

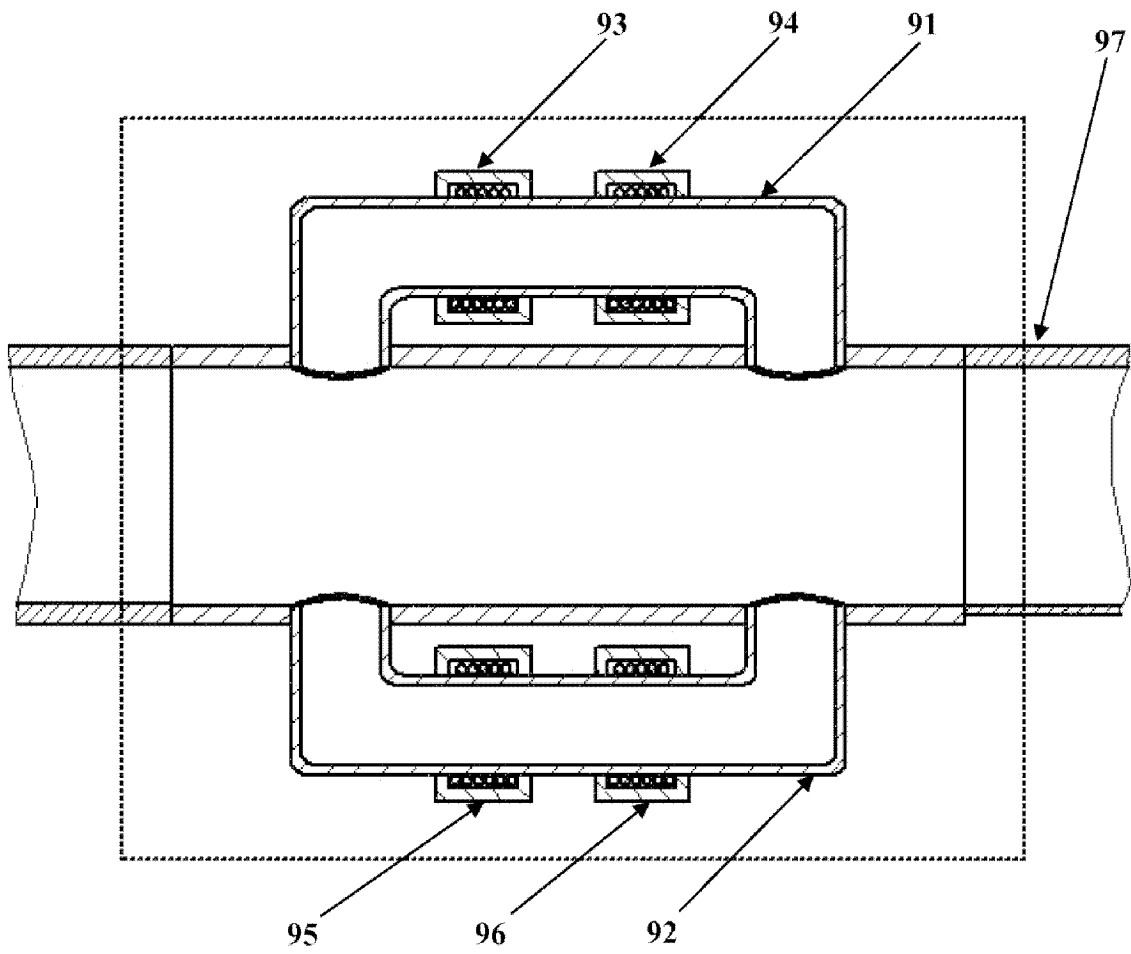


图 9

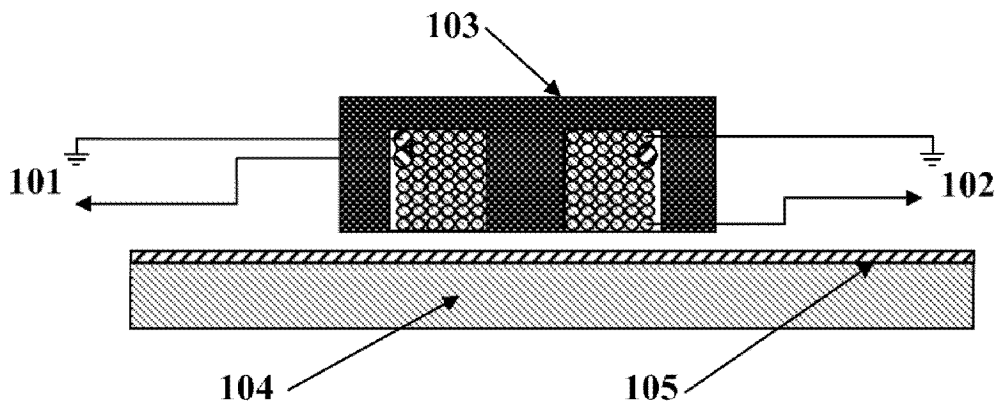


图 10

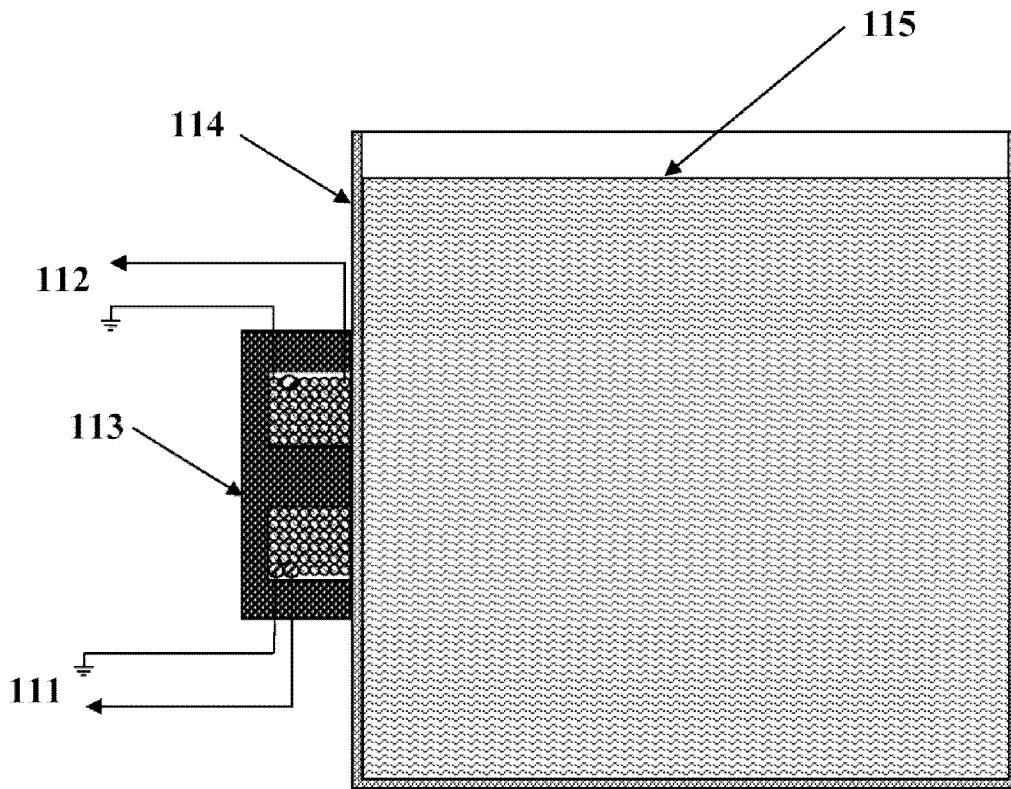


图 11

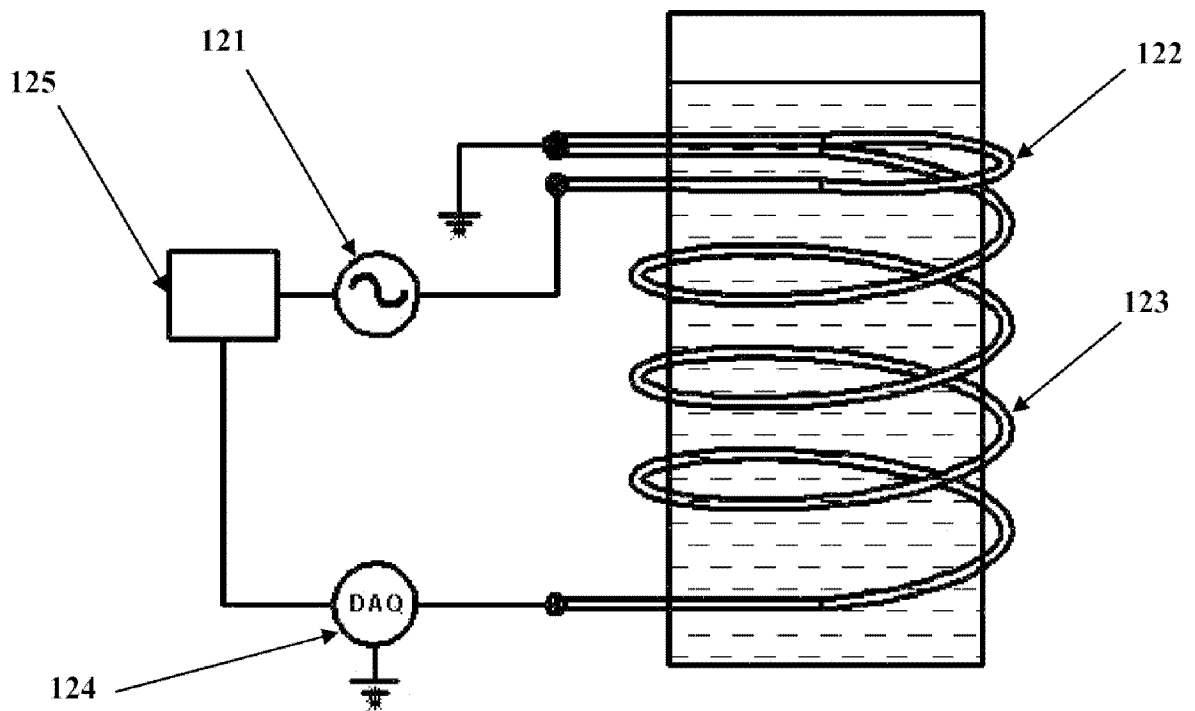


图 12

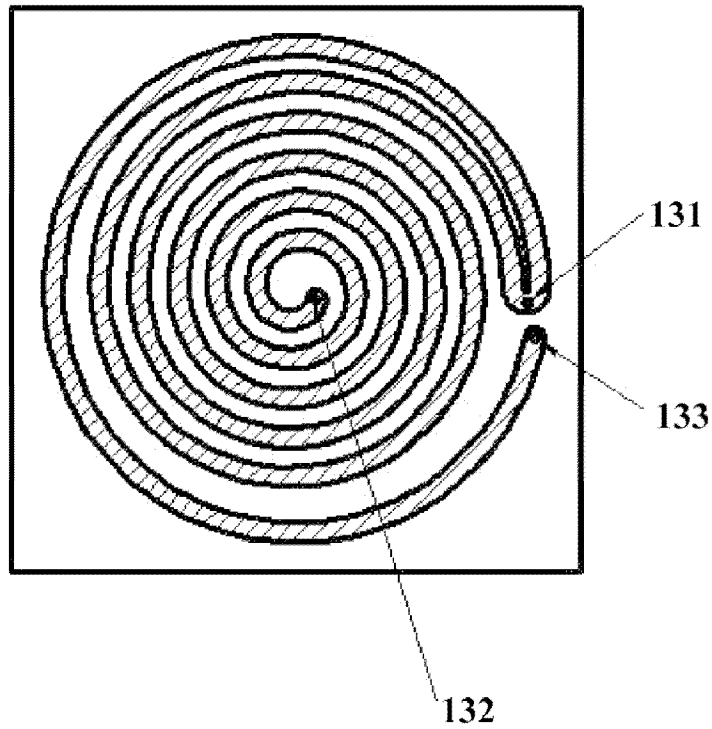


图 13

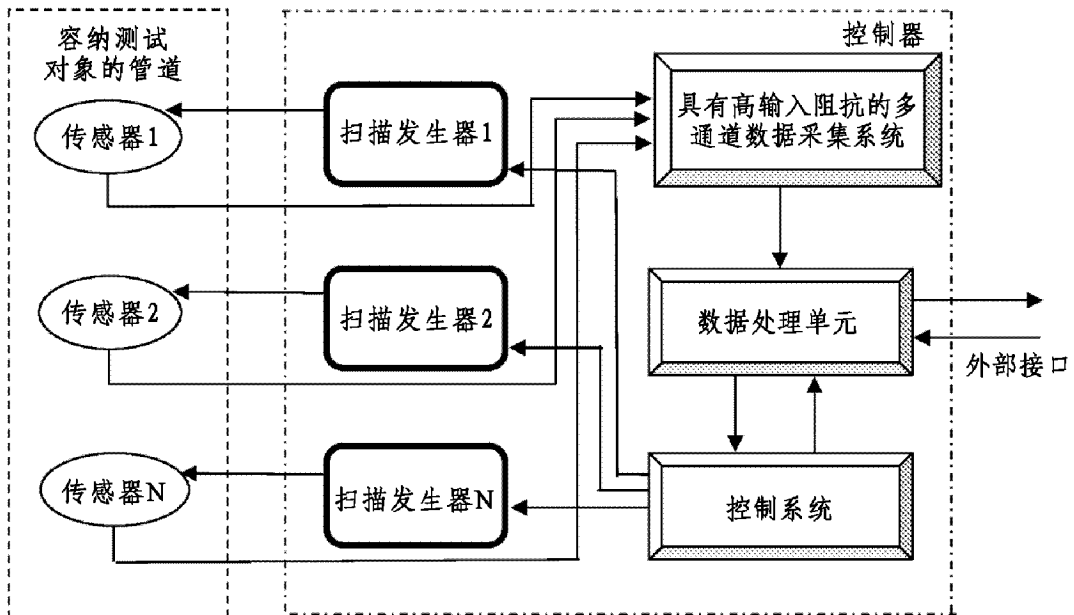


图 14

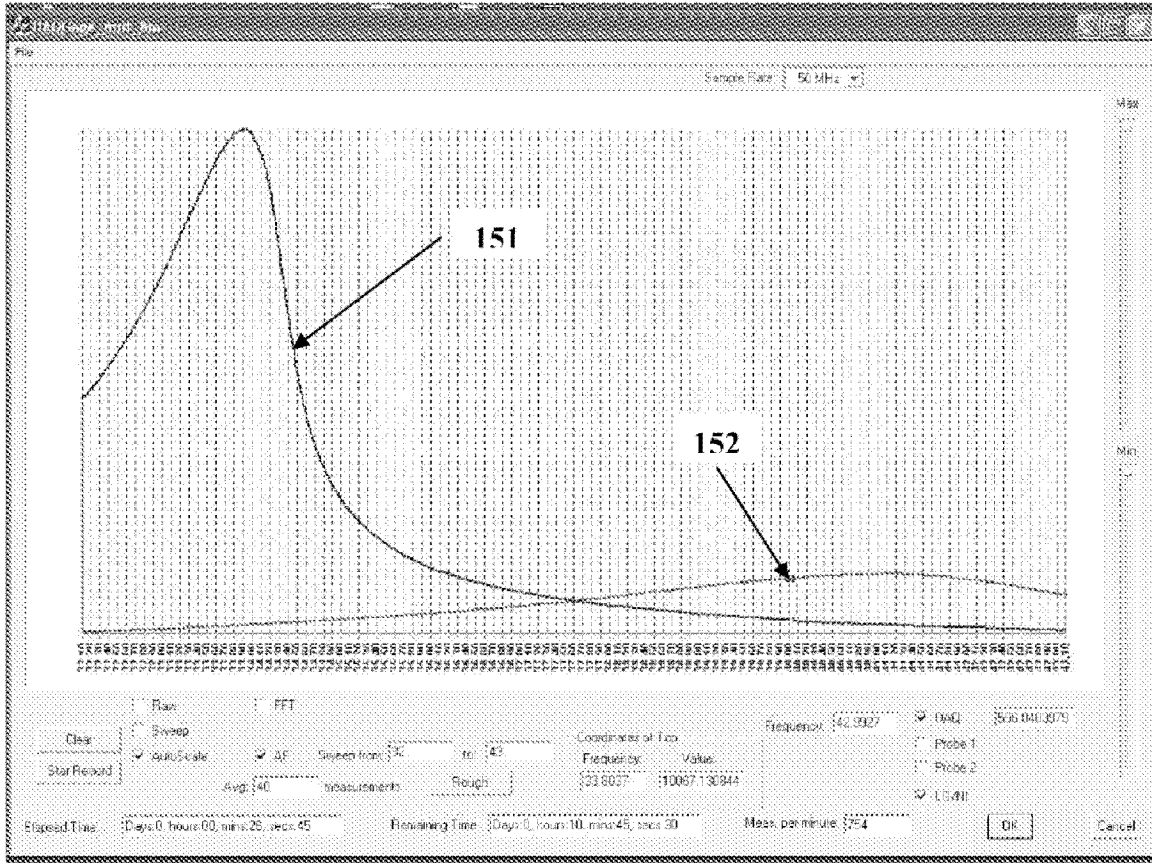


图 15

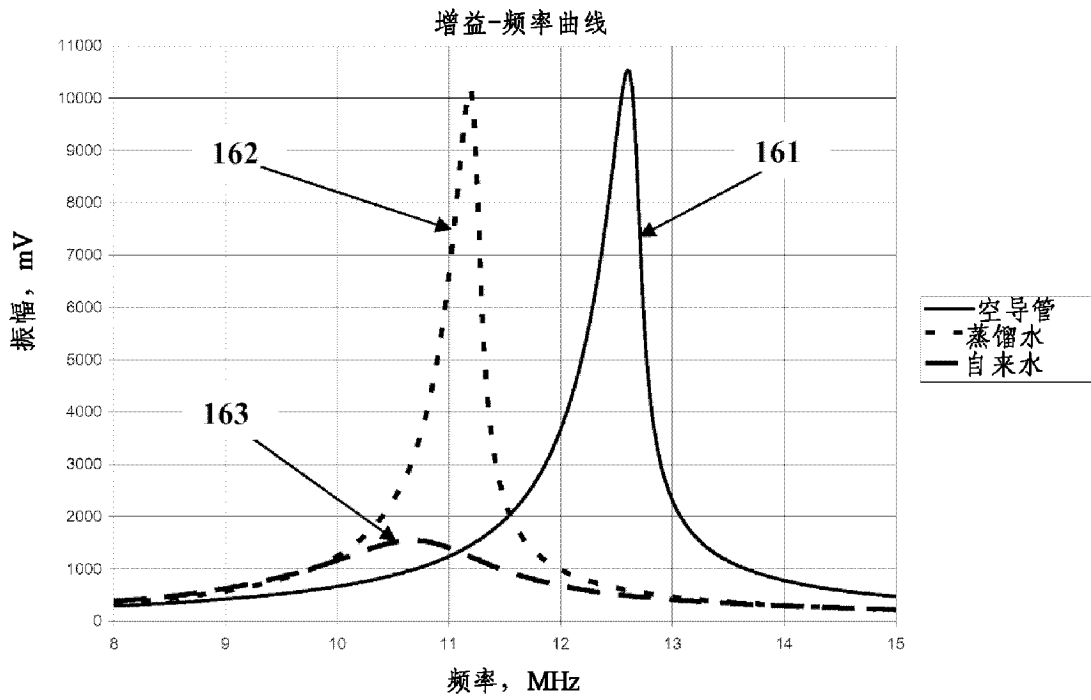


图 16

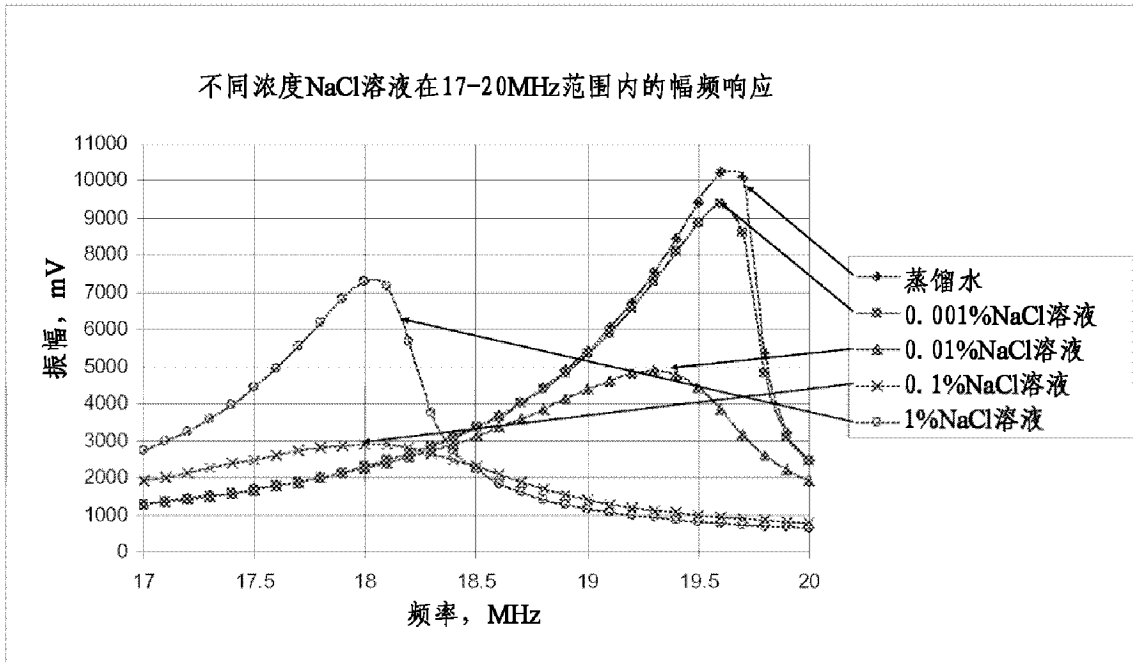


图 17

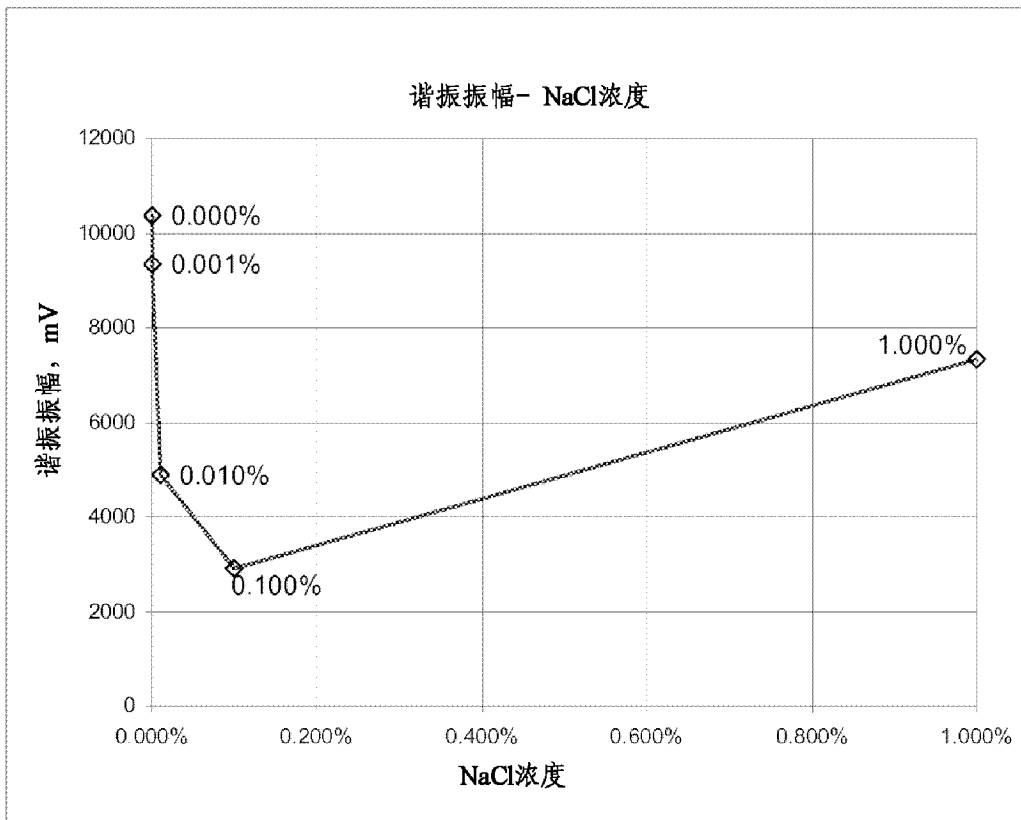


图 18

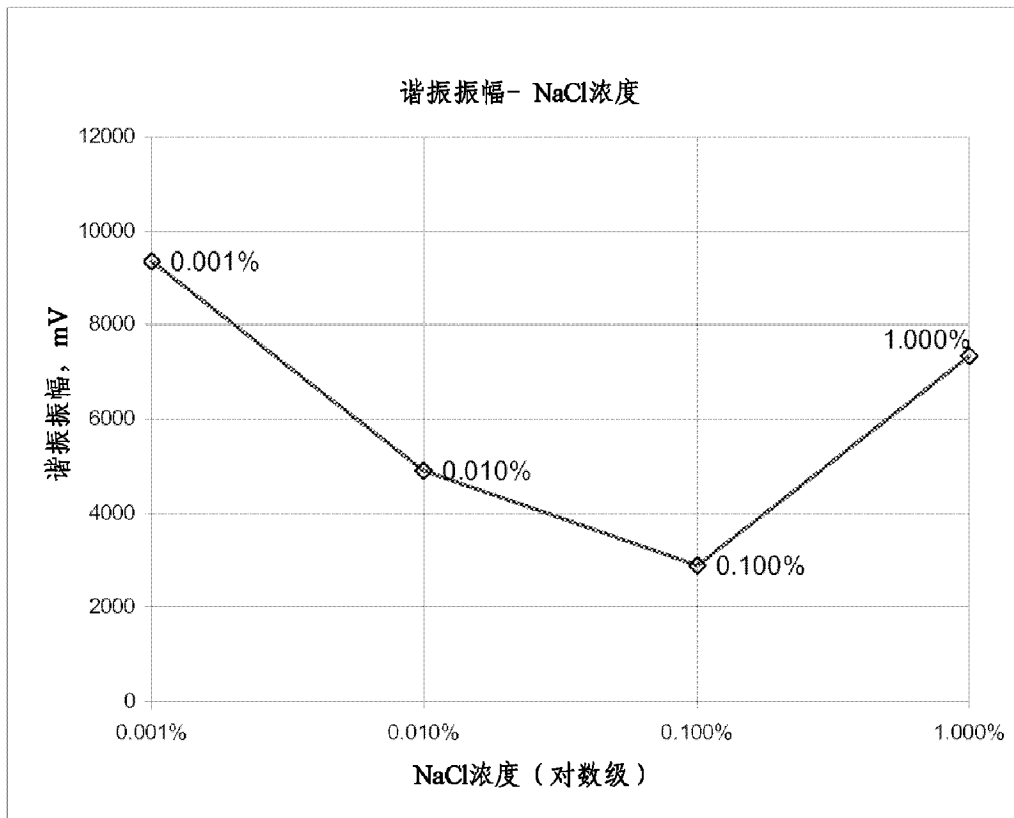


图 19

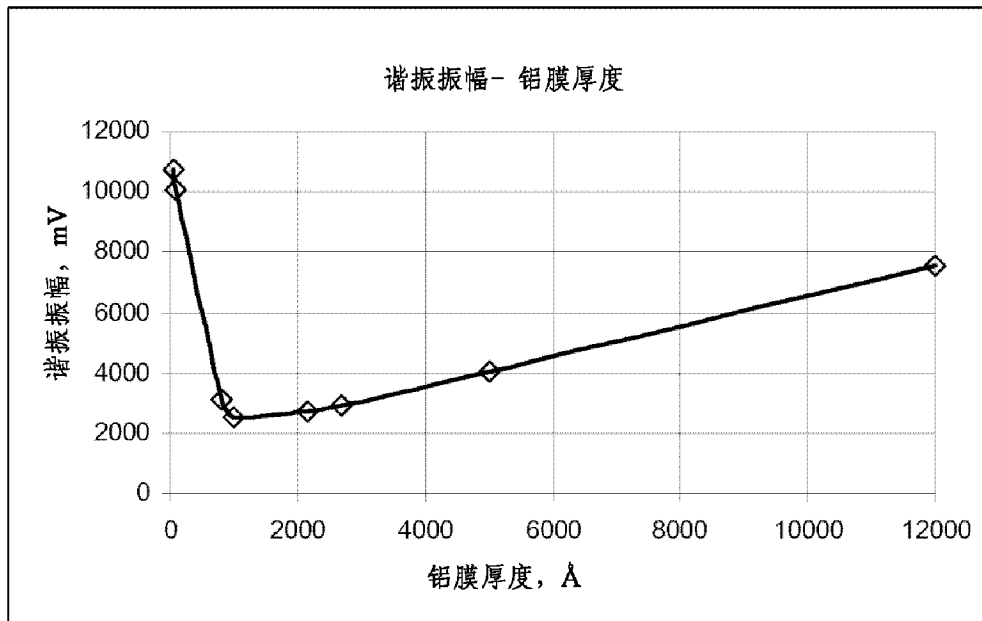


图 20

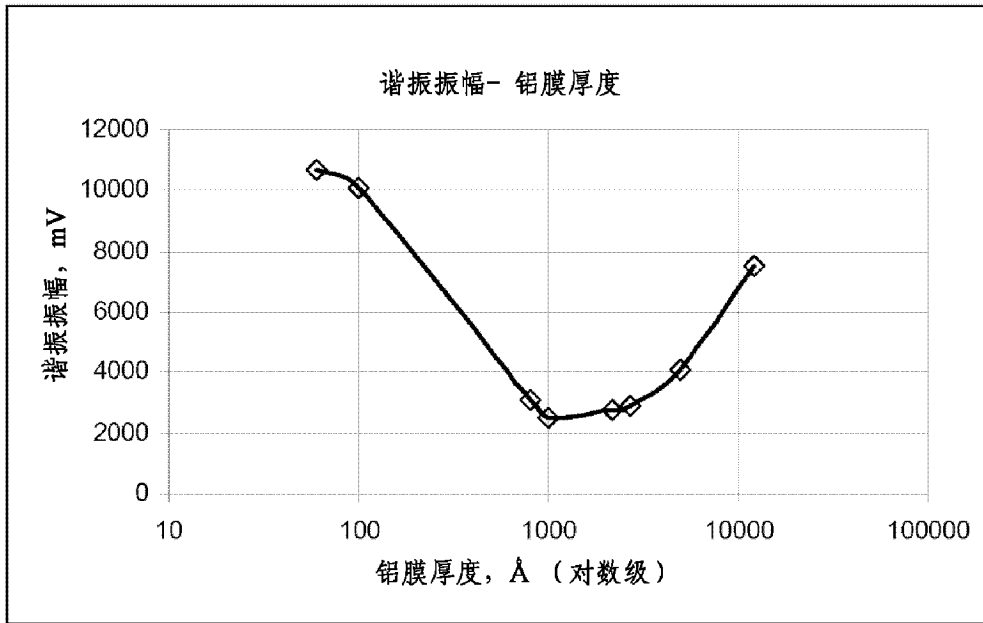


图 21

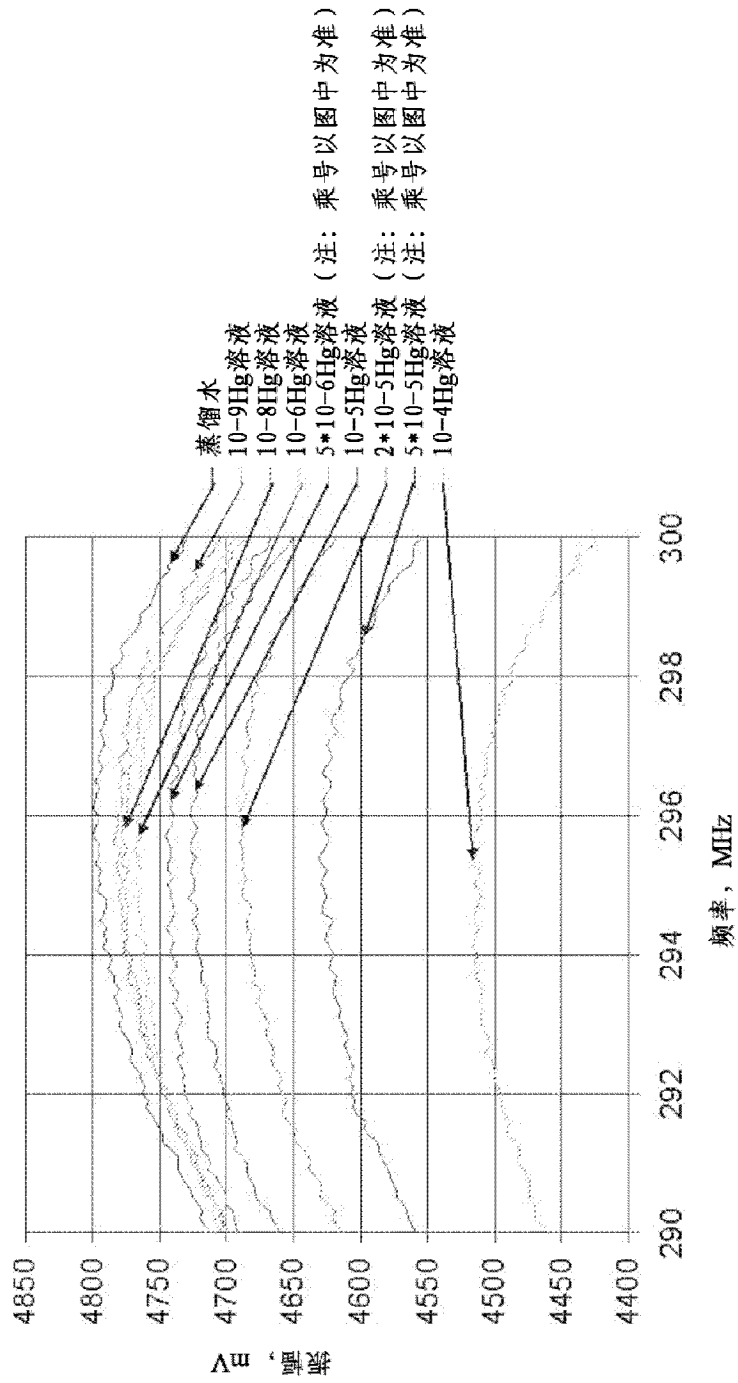


图 22

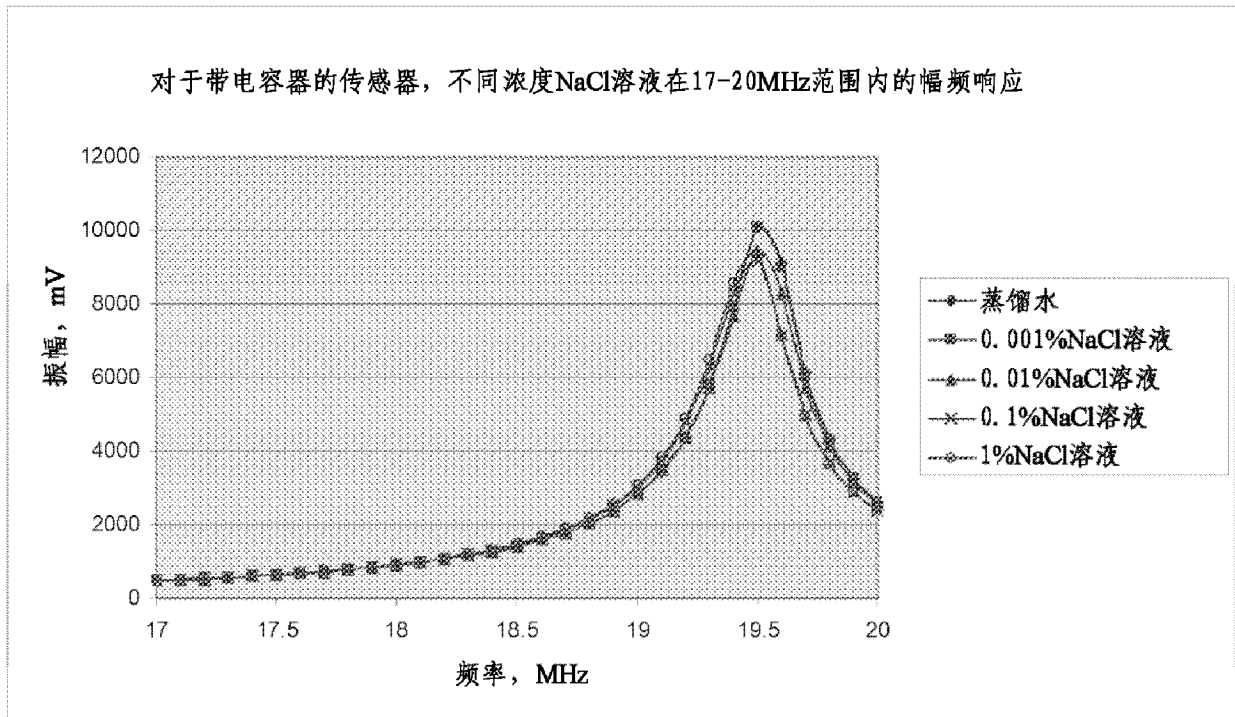


图 23

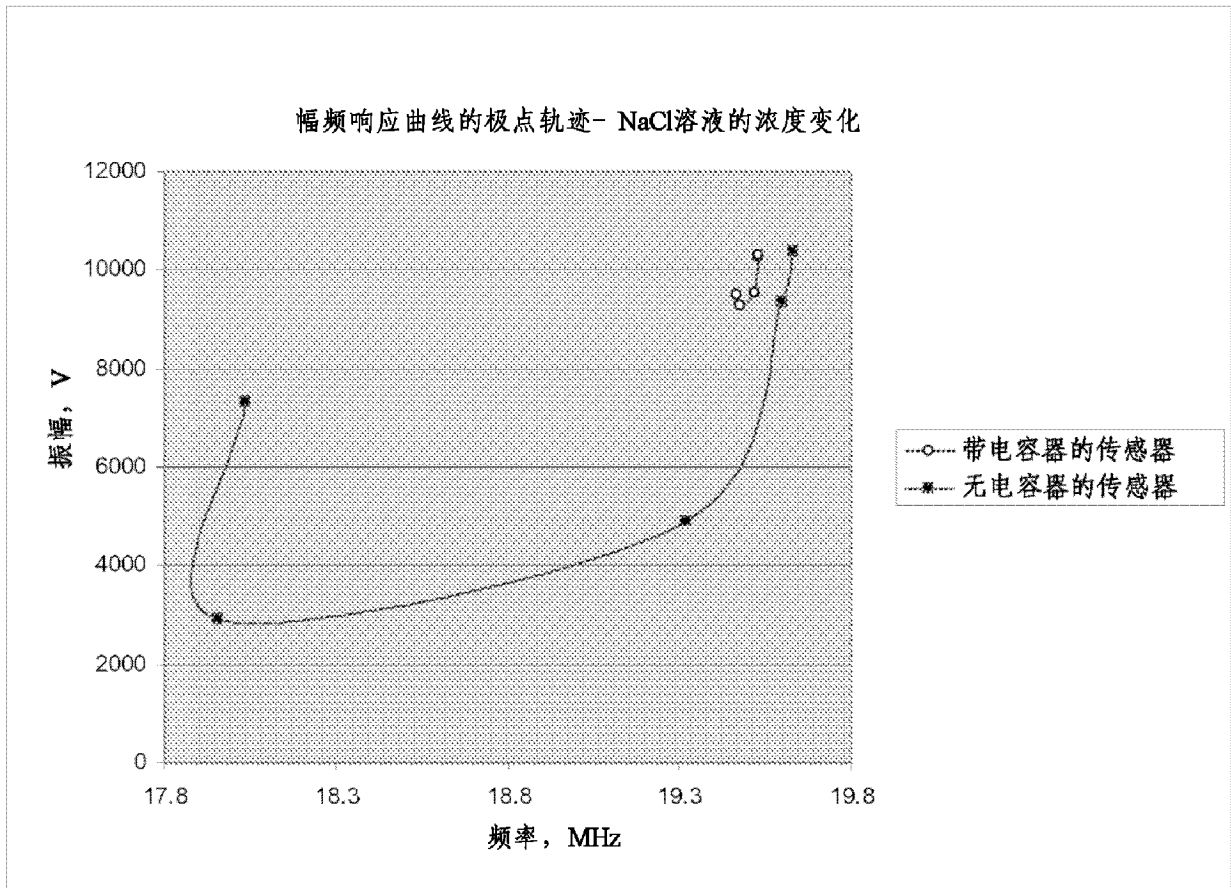


图 24