



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108445362 A

(43)申请公布日 2018.08.24

(21)申请号 201810274417.5

(22)申请日 2018.03.29

(71)申请人 国网上海市电力公司

地址 200002 上海市浦东新区中国(上海)  
自由贸易试验区源深路1122号

申请人 华东电力试验研究院有限公司  
西安茂荣电力设备有限公司

(72)发明人 司文荣 傅晨钊 刘家好 顾黄晶  
陆启宇 陈璐 黄华 袁鹏

(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限  
公司 31225

代理人 应小波

(51)Int.Cl.

G01R 31/12(2006.01)

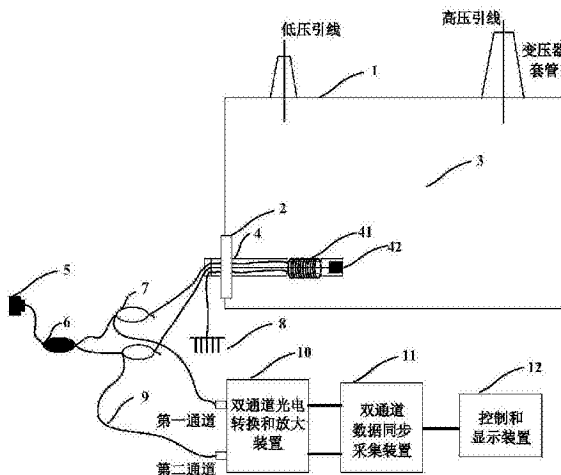
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统及方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统及方法,该系统包括变压器壳体、变压器放油阀、变压器油、一体化超声波光纤传感器、超声波光纤传感器用光源、1×2耦合器、3db耦合器、法拉第旋转镜、光纤、双通道光电转换和放大装置、双通道数据同步采集装置和控制与显示装置;所述的一体化超声波光纤传感器通过变压器放油阀侵入变压器壳体内并淹没在变压器油中。与现有技术相比,本发明具有简单实用、降低电磁和外部可见光干扰问题和无测量方位死角等优点。



1. 一种基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统,其特征在于,该系统包括变压器壳体、变压器放油阀、变压器油、一体化超声波光纤传感器、超声波光纤传感器用光源、 $1\times 2$ 耦合器、3db耦合器、法拉第旋转镜、光纤、双通道光电转换和放大装置、双通道数据同步采集装置和控制与显示装置;

所述的一体化超声波光纤传感器通过变压器放油阀侵入变压器壳体内并淹没在变压器油中,

所述的一体化超声波光纤传感器的一路通过光纤分别连接3db耦合器以及法拉第旋转镜,所述的3db耦合器、超声波光纤传感器用光源、 $1\times 2$ 耦合器依次连接,形成IFPI超声波传感器,所述的IFPI超声波传感器的光强变化信号进入双通道光电转换和放大装置的第一采集通道,转化为电压波形信号送入双通道数据同步采集装置和控制与显示装置;

所述的一体化超声波光纤传感器的另一路通过光纤依次连接3db耦合器、 $1\times 2$ 耦合器、超声波光纤传感器用光源,形成EFPI超声波传感器,所述的EFPI超声波传感器的光强变化信号进入双通道光电转换和放大装置的第二采集通道,转化为电压波形信号送入双通道数据同步采集装置和控制与显示装置。

2. 根据权利要求1所述的一种基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统,其特征在于:所述的一体化超声波光纤传感器基于变压器放油阀安装且连接处不漏油。

3. 根据权利要求1所述的一种基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统,其特征在于:所述的一体化超声波光纤传感器按照电场计算要求深入于变压器放油阀中,且与变压器壳体形成一定距离。

4. 根据权利要求1所述的一种基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统,其特征在于:所述的控制与显示装置通过数据线对双通道光电转换和放大装置和双通道数据同步采集装置进行参数设置。

5. 根据权利要求1所述的一种基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统,其特征在于:所述的一体化超声波光纤传感器包括环氧套筒封装、第一单模光纤、第二单模光纤、连接器、超声波光纤传感器IPFI测量臂和超声波光纤传感器EPFI探头;

所述的第一单模光纤穿过环氧套筒封装,一端连接3db耦合器,另一端通过连接器和超声波光纤传感器IPFI测量臂连接法拉第旋转镜;

所述的第二单模光纤穿过环氧套筒封装,一端连接3db耦合器,另一端连接超声波光纤传感器EPFI探头,所述的超声波光纤传感器IPFI测量臂缠绕在环氧套筒封装和超声波光纤传感器EPFI探头的连接处。

6. 根据权利要求5所述的一种基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统,其特征在于:所述的超声波光纤传感器IPFI测量臂以光纤本身为谐振腔介质,采用光纤传输通过光电转换和放大装置,将局部放电的超声波信号转化为电压波形信号,用于测量超声波光纤传感器EPFI探头上方和下方存在的变压器油中局部放电信号。

7. 根据权利要求5所述的一种基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统,其特征在于:所述的超声波光纤传感器EPFI探头以薄膜腔体作为谐振介质,采用光纤传输通过光电转换和放大装置,将局部放电的超声波信号转化为电压波形信号,用于测量超声波光纤传感器EPFI探头前方存在的变压器油中局部放电信号。

8. 根据权利要求1所述的一种基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统:其特

征在于,所述的控制与显示装置的显示和分析内容包括:显示单个脉冲波形、峰值-时间序列以及PRPD谱图,分析信号趋势分析、模式识别和定位。

9.根据权利要求1所述的一种基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统,其特征在于:所述的超声波光纤传感器EPFI探头采用基于MEMS设计和加工技术。

10.一种采用权利要求5所述的基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统的方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,将IFPI和EFPI两类Fabry-perot型超声波光纤传感器封装成一体化超声波光纤传感器;

步骤2,将一体化超声波光纤传感器利用变压器壳体上的放油阀进行安装,深入于变压器油内;

步骤3,变压器油中局部放电产生的超声波信号,同时作用于IFPI测量臂和EFPI探头的法珀腔,两路反射光强均发生变化,经光纤传输、光电转换和放大后转化为电压波形信号,实现传感器上方、下方和前方存在局部放电的超声波信号检测;

步骤4,利用双通道数据同步采集装置对局部放电超声波信号进行同步采集、存储和传输;

步骤5,局部放电超声波信号显示和对比分析。

## 基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及局部放电超声信号检测领域,尤其是涉及一种基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统及方法。

### 背景技术

[0002] 随着电力系统容量的增大,电压等级的提高,电力系统的稳定运行显得更加重要。绝缘问题是导致电力设备故障和事故的主要原因之一,通过局部放电监测可以提前判断电力设备绝缘状况、发现绝缘缺陷。目前已经有多种局部放电检测方法,光纤传感器具有安全、绝缘和抗电磁干扰等优点,适合安装在设备内部进行在线监测。

[0003] 目前用于局部放电测量的光纤传感器,按敏感对象可分为光、温度、气体、声波等。其中超声波光纤传感器具有局放源定位准确的优点,已成为一个研究热点。基于超声波光纤传感器检测局部放电技术始于20世纪80年代,国内外的许多学者和单位对此作了大量的研究。根据光纤传感器的不同,将该技术分为Mach-Zehnder型、Michelson型、Fabry-perot型以及Sagnac型,也有基于光纤Bragg光栅的局放检测技术提出。其中Fabry-perot型分为本征型法珀干涉仪(Intrinsic Fabry-perot Interferometer, IFPI)和非本征型法珀干涉仪(Extrinsic Fabry-perot Interferometer, EFPI)两类。现有超声波光纤传感器检测局部放电信号具有相互独立使用存在的缺点。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统及方法。

[0005] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0006] 一种基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统,其特征在于,该系统包括变压器壳体、变压器放油阀、变压器油、一体化超声波光纤传感器、超声波光纤传感器用光源、1×2耦合器、3db耦合器、法拉第旋转镜、光纤、双通道光电转换和放大装置、双通道数据同步采集装置和控制与显示装置。

[0007] 所述的一体化超声波光纤传感器通过变压器放油阀侵入变压器壳体内并淹没在变压器油中,

[0008] 所述的一体化超声波光纤传感器的一路通过光纤分别连接3db耦合器以及法拉第旋转镜,所述的3db耦合器、超声波光纤传感器用光源、1×2耦合器依次连接,形成IFPI超声波传感器,所述的IFPI超声波传感器的光强变化信号进入双通道光电转换和放大装置的第一采集通道,转化为电压波形信号送入双通道数据同步采集装置和控制与显示装置;

[0009] 所述的一体化超声波光纤传感器的另一路通过光纤依次连接3db耦合器、1×2耦合器、超声波光纤传感器用光源,形成EFPI超声波传感器,所述的EFPI超声波传感器的光强变化信号进入双通道光电转换和放大装置的第二采集通道,转化为电压波形信号送入双通道数据同步采集装置和控制与显示装置。

[0010] 优选地,所述的一体化超声波光纤传感器基于变压器放油阀安装且连接处不漏油,

[0011] 优选地,所述的一体化超声波光纤传感器按照电场计算要求深入于变压器放油阀中,且与变压器壳体形成一定距离。

[0012] 优选地,所述的控制与显示装置通过数据线对双通道光电转换和放大装置和双通道数据同步采集装置进行参数设置。

[0013] 优选地,所述的一体化超声波光纤传感器包括环氧套筒封装、第一单模光纤、第二单模光纤、连接器、超声波光纤传感器IPFI测量臂和超声波光纤传感器EPFI探头;

[0014] 所述的第一单模光纤穿过环氧套筒封装,一端连接3db耦合器,另一端通过连接器和超声波光纤传感器IPFI测量臂连接法拉第旋转镜;

[0015] 所述的第二单模光纤穿过环氧套筒封装,一端连接3db耦合器,另一端连接超声波光纤传感器EPFI探头,所述的超声波光纤传感器IPFI测量臂缠绕在环氧套筒封装和超声波光纤传感器EPFI探头的连接处。

[0016] 优选地,所述的超声波光纤传感器IPFI测量臂以光纤本身为谐振腔介质,采用光纤传输通过光电转换和放大装置,将局部放电的超声波信号转化为电压波形信号,用于测量超声波光纤传感器EPFI探头上方和下方存在的变压器油中局部放电信号。

[0017] 优选地,所述的超声波光纤传感器EPFI探头以薄膜腔体作为谐振介质,采用光纤传输通过光电转换和放大装置,将局部放电的超声波信号转化为电压波形信号,用于测量超声波光纤传感器EPFI探头前方存在的变压器油中局部放电信号。

[0018] 优选地,所述的控制与显示装置的显示和分析内容包括:显示单个脉冲波形、峰值-时间序列以及PRPD谱图,分析信号趋势分析、模式识别和定位。

[0019] 优选地,所述的超声波光纤传感器EPFI探头采用基于MEMS设计和加工技术。

[0020] 一种所述的基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统的方法,包括以下步骤:

[0021] 步骤1,将IFPI和EFPI两类Fabry-perot型超声波光纤传感器封装成一体化超声波光纤传感器;

[0022] 步骤2,将一体化超声波光纤传感器利用变压器壳体上的放油阀进行安装,深入于变压器油内;

[0023] 步骤3,变压器油中局部放电产生的超声波信号,同时作用于IFPI测量臂和EFPI探头的法珀腔,两路反射光强均发生变化,经光纤传输、光电转换和放大后转化为电压波形信号,实现传感器上方、下方和前方存在局部放电的超声波信号检测;

[0024] 步骤4,利用双通道数据同步采集装置对局部放电超声波信号进行同步采集、存储和传输;

[0025] 步骤5,局部放电超声波信号显示和对比分析。

[0026] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0027] 1、本发明提供了一种综合利用IFPI和EFPI两类Fabry-perot型超声波光纤传感器检测局部放电信号的方法和系统。

[0028] 2、本发明提供一种能够利用一个光源,同时实现两类超声波光纤传感检测局部放电信号的方法。

[0029] 3、本发明提供一种能够测量变压器油中局部放电全方位超声波信号的检测方法及其系统。

[0030] 4、本发明提供了一种比传统局部放电超声波信号更加有效的侵入式检测方法，其不但解决了电磁干扰问题，同时也避免了原超声波沿变压器壳体传播影响定位的问题。

#### 附图说明

[0031] 图1为本发明的系统结构示意图。

[0032] 图2为本发明的方法流程图。

[0033] 图3为本发明的一体化超声波光纤传感器的结构示意图。

[0034] 图4为图3的A部局部放大图。

[0035] 图5为本发明的超声波光纤传感器IPFI测量臂的工作原理图。

[0036] 图6为本发明的超声波光纤传感器EPFI探头的工作原理图。

[0037] 图7为图6的B部局部放大图。

[0038] 其中1为变压器壳体，2为变压器放油阀，3为变压器油，4为一体化超声波光纤传感器，41为超声波光纤传感器IPFI测量臂，42为超声波光纤传感器EPFI探头，43为环氧套筒封装，44为第一单模光纤、45为第二单模光纤、46为连接器，5为超声波光纤传感器用光源，6为1×2耦合器，7为3db耦合器，8为法拉第旋转镜，9为光纤，10为双通道光电转换和放大装置，11为双通道数据同步采集装置，12为控制与显示装置。

#### 具体实施方式

[0039] 下面将对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明的一部分实施例，而不是全部实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例，都应属于本发明保护的范围。

[0040] 如图1所示，一种基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测系统，该系统包括变压器壳体1、变压器放油阀2、变压器油3、一体化超声波光纤传感器4、超声波光纤传感器用光源5、1×2耦合器6、3db耦合器7、法拉第旋转镜8、光纤9、双通道光电转换和放大装置10、双通道数据同步采集装置11和控制与显示装置12。

[0041] 所述的一体化超声波光纤传感器4通过变压器放油阀2侵入变压器壳体1内并淹没在变压器油3中，所述的一体化超声波光纤传感器4基于变压器放油阀2安装且连接处不漏油，所述的一体化超声波光纤传感器4按照电场计算要求深入于变压器放油阀中2，且与变压器壳体1形成一定距离。

[0042] 所述的一体化超声波光纤传感器4的一路通过光纤9连接超声波光纤传感器用光源5、1×2耦合器6、3db耦合器7以及法拉第旋转镜8，形成IFPI超声波传感器，所述的IFPI超声波传感器的光强变化信号进入双通道光电转换和放大装置10的第一采集通道，转化为电压波形信号送入双通道数据同步采集装置11和控制与显示装置12；所述的一体化超声波光纤传感器4的另一路通过光纤连接超声波光纤传感器用光源5、1×2耦合器6、3db耦合器7，形成EFPI超声波传感器，所述的EFPI超声波传感器的光强变化信号进入双通道光电转换和放大装置10的第二采集通道，转化为电压波形信号送入双通道数据同步采集装置11和控制

与显示装置12。

[0043] 所述的控制与显示装置12通过数据线对双通道光电转换和放大装置10和双通道数据同步采集装置11进行参数设置。

[0044] 如图3所示,所述的一体化超声波光纤传感器4包括环氧套筒封装43、第一单模光纤44、第二单模光纤45、连接器46、超声波光纤传感器IPFI测量臂41和超声波光纤传感器EPFI探头42。

[0045] 所述的第一单模光纤44穿过环氧套筒封装43,一端连接3db耦合器7,另一端通过连接器46和超声波光纤传感器IPFI测量臂41连接法拉第旋转镜8;所述的第二单模光纤45穿过环氧套筒封装,一端连接3db耦合器7,另一端连接超声波光纤传感器EPFI探头42,所述的超声波光纤传感器IPFI测量臂41缠绕在环氧套筒封装43和超声波光纤传感器EPFI探头42的连接处。

[0046] 所述的超声波光纤传感器IPFI测量臂41以光纤本身为谐振腔介质,采用光纤传输通过光电转换和放大装置,将局部放电的超声波信号转化为电压波形信号,用于测量超声波光纤传感器EPFI探头42上方和下方存在的变压器油3中局部放电信号。

[0047] 所述的超声波光纤传感器EPFI探头42以薄膜腔体作为谐振介质,采用光纤传输通过光电转换和放大装置,将局部放电的超声波信号转化为电压波形信号,用于测量超声波光纤传感器EPFI探头42前方存在的变压器油3中局部放电信号。

[0048] 所述的控制与显示装置12的显示和分析内容包括:显示单个脉冲波形、峰值-时间序列以及PRPD谱图,分析信号趋势分析、模式识别和定位等。

[0049] 所述的超声波光纤传感器IPFI测量臂41的光纤匝半径和匝数根据具体测量情况而定,所述的超声波光纤传感器EPFI探头42采用基于MEMS设计和加工技术,也可以采用其他设计或加工方法,所述的超声波光纤传感器EPFI探头42的相关参数根据具体测量情况而定,所述的超声波光纤传感器用光源5、光纤9、1×2耦合器6、3db耦合器7和双通道光电转换和放大装置10的光电转换的相关参数根据具体测量情况而定。

[0050] 如图2所示,一种基于光纤传感技术的局部放电超声信号检测的方法,包括以下步骤:

[0051] 步骤1,将IFPI和EFPI两类Fabry-perot型超声波光纤传感器封装成一体化超声波光纤传感器;

[0052] 步骤2,将一体化超声波光纤传感器利用变压器壳体上的放油阀进行安装,深入于变压器油内;

[0053] 步骤3,变压器油中局部放电产生的超声波信号,同时作用于IFPI测量臂和EFPI探头的法珀腔,两路反射光强均发生变化,经光纤传输、光电转换和放大后转化为电压波形信号,实现传感器上方、下方和前方存在局部放电的超声波信号检测;

[0054] 步骤4,利用双通道数据同步采集装置对局部放电超声波信号进行同步采集、存储和传输;

[0055] 步骤5,局部放电超声波信号显示和对比分析。

[0056] 如图5所示,超声波光纤传感器IPFI测量臂的工作原理:从光源5发射出的单色光经过3dB耦合器(或者环形器)7沿着光纤9传入测量臂41,入射光在光纤连接器46处形成第一次反射(反射1),入射光在光纤回路末端法拉第旋转镜8形成第二次全反射(反射2),它们

的干涉结果再经过3dB耦合器(或者环形器)7输出至光电转换装置。局部放电形成的超声波作用于测量臂41,改变了两个反射面之间的光程,导致干涉相位和光强度发生变化,两者的关系式如下:

$$[0057] \quad I_o = \frac{R_1 + R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2} \cos \delta}{1 + R_1 R_2 - 2\sqrt{R_1 R_2} \cos \delta} I_i$$

[0058] 式中: $R_1$ 为连接器处的反射率; $R_2$ 为末端法拉第旋转镜处的反射率; $\delta$ 为干涉相位, $\delta = 4\pi n l / \lambda$ , $n$ 为光纤纤芯折射率, $l$ 为连接器至末端的光纤长度, $\lambda$ 为光源波长; $I_o$ 为反射输出光强; $I_i$ 为光源入射光强。

[0059] 如图6和图7所示,超声波光纤传感器EPFI探头的工作原理图:从光源5发射出的单色光经过3dB耦合器(或者环形器)7沿着光纤9传入测量探头42即法珀腔,入射光在光纤与法珀腔第一个交界处形成第一次反射(反射1),在法珀腔内侧硅薄膜片处形成第二次反射(反射2),它们的干涉结果再经过3dB耦合器(或者环形器)7输出至光电转换装置。局部放电形成的超声波作用于探头法珀腔的硅模薄片,改变了两个反射面之间的光程即法珀腔腔长,导致干涉相位和光强度发生变化,两者的关系式如下:

$$[0060] \quad I_o = \frac{R'_1 + R'_2 - 2\sqrt{R'_1 R'_2} \cos \delta'}{1 + R'_1 R'_2 - 2\sqrt{R'_1 R'_2} \cos \delta'} I_i$$

[0061] 式中: $R'_1$ 为光纤与法珀腔第一个交界面处的反射率; $R'_2$ 为法珀腔内侧硅薄膜片处的反射率; $\delta'$ 为干涉相位, $\delta' = 4\pi n' l' / \lambda$ , $n'$ 为法珀腔密封介质气体折射率, $l'$ 为法珀腔腔长, $\lambda$ 为光源波长; $I_o$ 为反射输出光强; $I_i$ 为光源入射光强。

[0062] 所述的检测方法涉及的传感器、数据采集和显示分析等参数分别如下定义:

[0063] IFPI测量臂

[0064] 光纤匝数:20;

[0065] 光纤匝半径:1cm。

[0066] EFPI法珀腔体探头

[0067] 密封气体介质:空气;

[0068] 腔体长度:15 $\mu$ m

[0069] 腔体半径:100 $\mu$ m。

[0070] 加工工艺:MEMS技术。

[0071] 光源及光纤等

[0072] 光源:LED激光器,波长1550nm,功率2mW;

[0073] 光纤:单模,波长1550nm,纤芯9 $\mu$ m;

[0074] 耦合器:波长1550nm,各种损耗均大于50dB;

[0075] 光电转换:光电二极管,波长1550nm,受光面积1mm,灵敏度1mA/mW。

[0076] 电压数据采集

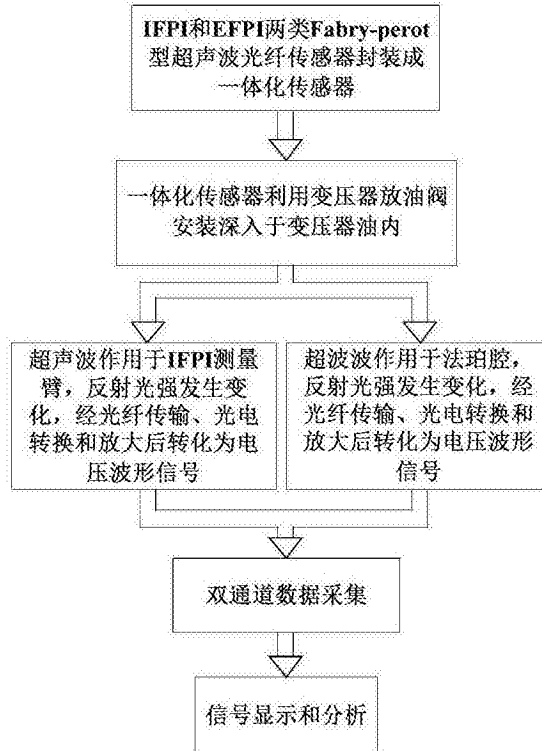
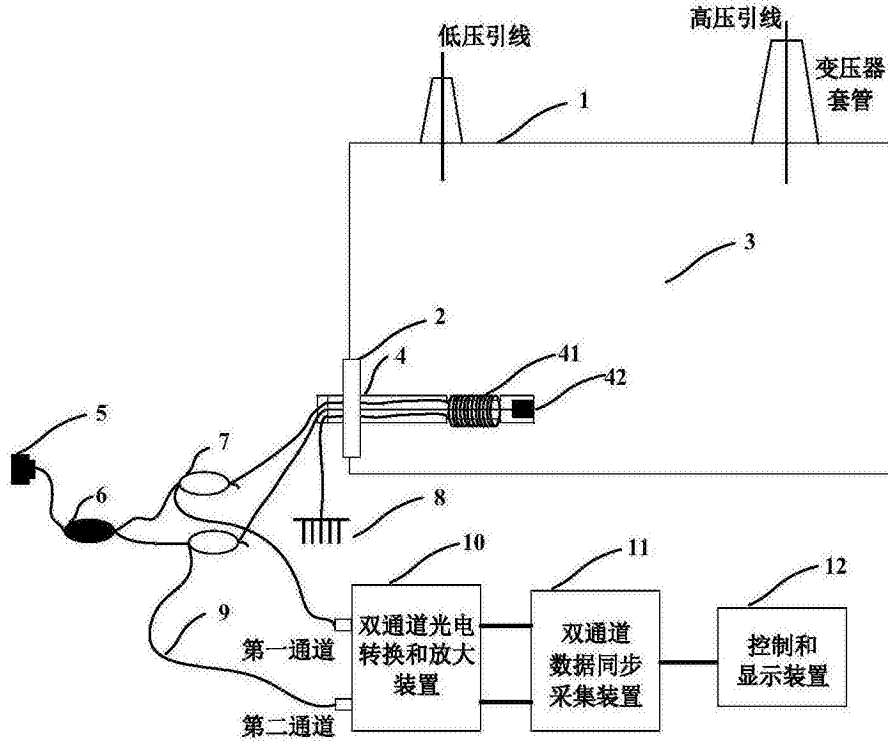
[0077] 采样率:1MS/s;

[0078] 模拟带宽:500kHz。

[0079] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到各种等效的修改或替



换,这些修改或替换都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以权利要求的保护范围为准。



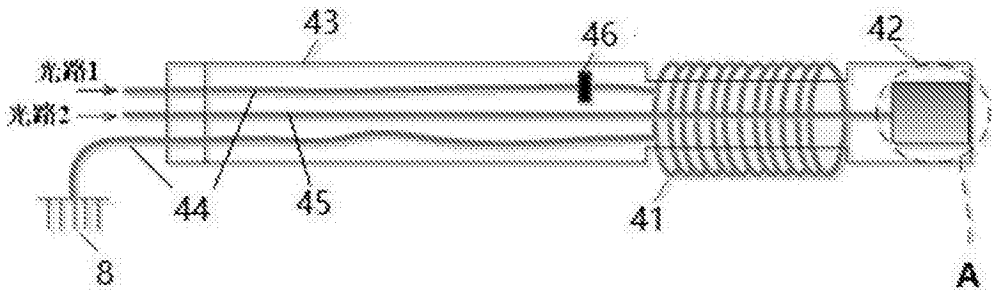


图3

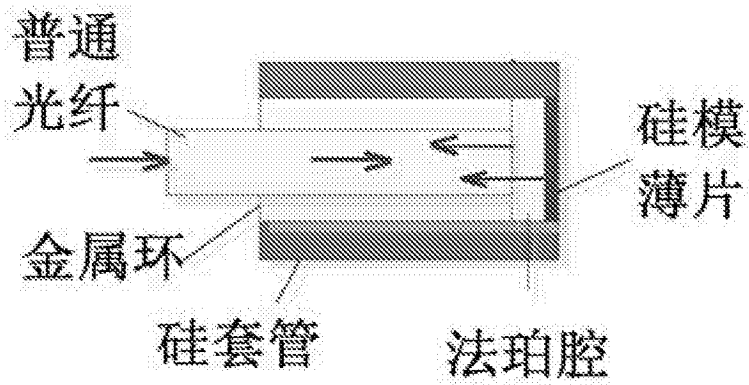


图4

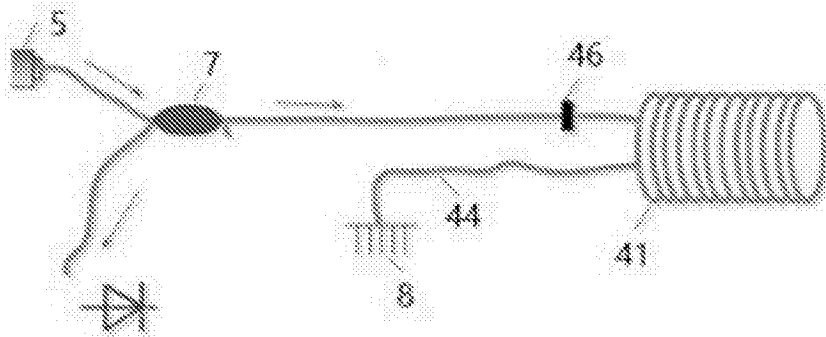


图5

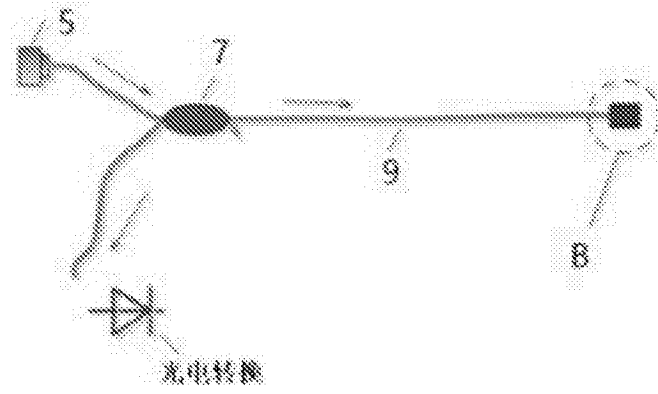


图6

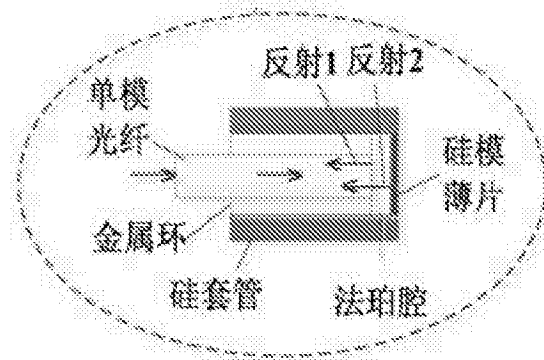


图7