(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108603855 B
(45)授权公告日 2021.12.03

(21)申请号 201780008183.3
(22)申请日 2017.01.26
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108603855 A
(43)申请公布日 2018.09.28
(30)优先权数据
1601609.9 2016.01.28 GB
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2018.07.25
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/GB2017/050203 2017.01.26
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2017/129983 EN 2017.08.03
(73)专利权人 腐蚀检测有限公司
地址 英国剑桥郡
(72)发明人 普拉夫尔·沙玛 霍伊·杨
(74)专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事务所(普通合伙) 11201
代理人 宋融冰
(51)Int.Cl.
G01N 27/20(2006.01)
G01N 17/00(2006.01)
(56)对比文件
US 2009287426 A1,2009.11.19
CN 1595616 A,2005.03.16
CN 201173985 Y,2008.12.31
CN 102016524 A,2011.04.13
CA 2059100 A1,1992.07.13
Robin E. Jones 等.Use of Microwaves for the Detection ofWater as a Cause of Corrosion Under Insulation.《Journal of Nondestructive Evaluation》.2011,第31卷(第1期),第65-76页.
审查员 曾超敏

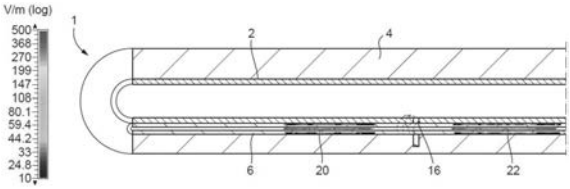
权利要求书3页 说明书10页 附图5页

(54)发明名称

腐蚀检测系统

(57)摘要

一种用于在金属体(2)的外表面上检测和定位腐蚀的系统(1)。所述系统包括邻近所述金属体的所述外表面而布置的延伸式电磁波导(6)。所述电磁波导包括牺牲构件,所述牺牲构件经历与所述金属体的所述外表面基本相同的环境。所述系统还包括波形发生器(10),所述波形发生器布置成连接到所述波导且将电磁波形注入所述波导中。所述系统还包括连接到所述波导的波形分析器(12)。所述波形分析器布置成从所述波导接收所注入的电磁波形的反射部分。所述波形分析器使用所注入的电磁波形的所述反射部分确定所述波导的所述牺牲构件的腐蚀的位置。



CN 108603855 B

1.一种被配置为在金属体的外表面上检测和定位腐蚀的系统,其中所述金属体的所述外表面被覆盖在绝缘层中,所述系统包括:

布置在所述金属体的所述外表面与所述绝缘层之间或布置成嵌入所述绝缘层内的延伸式电磁波导,所述延伸式电磁波导包括牺牲构件,所述牺牲构件经历与所述金属体的所述外表面基本相同的环境;

其中,所述延伸式电磁波导与所述金属体分离,并且所述延伸式电磁波导包括一对延伸导体;以及

其中,所述一对延伸导体中的一个延伸导体包括所述牺牲构件,并且所述一对延伸导体中的另一个延伸导体包括非牺牲构件;

其中,所述系统还包括:

波形发生器,所述波形发生器布置成连接到所述延伸式电磁波导且将电磁波形注入所述延伸式电磁波导中;以及

波形分析器,所述波形分析器连接到所述延伸式电磁波导且布置成从所述延伸式电磁波导接收所注入的电磁波形的反射部分以及使用所注入的电磁波形的所述反射部分确定所述延伸式电磁波导的所述牺牲构件的腐蚀的位置。

2.如权利要求1所述的系统,其中,所述金属体包括金属管道。

3.如权利要求2所述的系统,其中,所述延伸式电磁波导布置在所述管道下方。

4.如权利要求1、2或3中任一项所述的系统,其中,所述延伸式电磁波导被布置成使得所述延伸式电磁波导的所述牺牲构件不与所述金属体的所述外表面接触。

5.如权利要求1、2或3中任一项所述的系统,其中,所述系统包括设置在所述延伸式电磁波导与所述金属体的外表层之间的穿孔层。

6.如权利要求1、2或3中任一项所述的系统,其中,所述延伸式电磁波导包括同轴波导,所述牺牲构件包括所述同轴波导的外部传导护罩。

7.如权利要求1、2或3中任一项所述的系统,其中,所述延伸式电磁波导是柔性的。

8.如权利要求1、2或3中任一项所述的系统,其中,所述延伸式电磁波导被布置成使得所述延伸式电磁波导的所述牺牲构件的腐蚀改变所述延伸式电磁波导的阻抗。

9.如权利要求1、2或3中任一项所述的系统,其中,所述延伸式电磁波导包括以比形成所述金属体的所述外表面的材料更快的速率腐蚀的材料。

10.如权利要求1、2或3中任一项所述的系统,其中,所述波形分析器布置成从针对所述延伸式电磁波导的所述牺牲构件确定的腐蚀量确定所述金属体的所述外表面的腐蚀量。

11.如权利要求1、2或3中任一项所述的系统,其中,所述延伸式电磁波导的所述牺牲构件的厚度在5μm和2mm之间。

12.如权利要求中1、2或3任一项所述的系统,其中,所述延伸式电磁波导的长度大于10m。

13.如权利要求1、2或3中任一项所述的系统,其中,所述系统包括多个延伸式电磁波导,每个延伸式电磁波导包括牺牲构件且各自连接到波形发生器和波形分析器。

14.如权利要求1、2或3中任一项所述的系统,其中,所述电磁波形包括多种周期性波形,各种周期性波形具有不同频率。

15.如权利要求14所述的系统,其中,所述多种周期性波形中的每一者的宽度在1ps和

1000ps之间。

16.如权利要求14所述的系统，其中，所述多种周期性波形中的每一者被编码。

17.如权利要求1、2或3中任一项所述的系统，其中，所述电磁波形包括在1MHz和20GHz之间的频率。

18.如权利要求1、2或3中任一项所述的系统，其中，所述系统包括布置成执行所述波形发生器和所述波形分析器二者的功能的集成式波形发生器和波形分析器。

19.如权利要求1、2或3中任一项所述的系统，其中，所述波形分析器布置成在所述延伸式电磁波导的所述牺牲构件中检测多个腐蚀点。

20.如权利要求1、2或3中任一项所述的系统，其中，所述波形分析器布置成执行时域或频域反射测定法，所述时域或频域反射测定法使用所注入的电磁波形的所述反射部分确定所述延伸式电磁波导的所述牺牲构件的所述腐蚀的位置。

21.如权利要求1、2或3中任一项所述的系统，其中，所述波形分析器布置成对所述电磁波形的所述反射部分执行傅里叶逆变换。

22.如权利要求1、2或3中任一项所述的系统，其中，所述系统包括发射器，所述发射器布置成发送来自所述波形分析器的输出数据。

23.一种腐蚀检测和定位系统，包括：

具有外表面的金属体，在所述外表面上待检测腐蚀，其中所述金属体的所述外表面被覆盖在绝缘层中；

布置在所述金属体的所述外表面与所述绝缘层之间或布置成嵌入所述绝缘层内的延伸式电磁波导，所述延伸式电磁波导包括牺牲构件，所述牺牲构件经历与所述金属体的所述外表面基本相同的环境；

其中，所述延伸式电磁波导与所述金属体分离，并且所述延伸式电磁波导包括一对延伸导体；以及

其中，所述一对延伸导体中的一个延伸导体包括所述牺牲构件，并且所述一对延伸导体中的另一个延伸导体包括非牺牲构件；

其中，所述系统还包括：波形发生器，所述波形发生器布置成连接到所述延伸式电磁波导且将电磁波形注入所述延伸式电磁波导中；以及

波形分析器，所述波形分析器连接到所述延伸式电磁波导且布置成从所述延伸式电磁波导接收所注入的电磁波形的反射部分以及使用所注入的电磁波形的所述反射部分确定所述延伸式电磁波导的所述牺牲构件的腐蚀的位置。

24.一种在金属体的外表面上检测和定位腐蚀的方法，其中所述金属体的所述外表面被覆盖在绝缘层中，所述方法包括：

将电磁波形注入布置在所述金属体的所述外表面与所述绝缘层之间或布置成嵌入所述绝缘层内的延伸式电磁波导中，所述延伸式电磁波导包括牺牲构件，所述牺牲构件经历与所述金属体的所述外表面基本相同的环境；

其中，所述延伸式电磁波导与所述金属体分离，并且所述延伸式电磁波导包括一对延伸导体；以及

其中，所述一对延伸导体中的一个延伸导体包括所述牺牲构件，并且所述一对延伸导体中的另一个延伸导体包括非牺牲构件；

其中,所述方法还包括:

从所述延伸式电磁波导接收所注入的电磁波形的反射部分;以及

使用所注入的电磁波形的所述反射部分确定所述延伸式电磁波导的所述牺牲构件的腐蚀的位置。

腐蚀检测系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于检测和定位腐蚀的系统，尤其是一种用于检测和定位在绝缘下的管道和其它主体的腐蚀的系统。

背景技术

[0002] 例如在石油和天然气、石油化工和制药行业中存在许多包含数百(如果没有数千)千米的金属管道工程的装置。这类金属管道通常被包裹在绝缘护套中以使该管道绝缘。在这些装置中的金属管道由于暴露于水和氯化物而在其外表面上尤其易受腐蚀影响，尤其对于沿海和近海装置，例如，由于流经管道的流体而引起的提升的操作温度以及温度循环经常加速腐蚀。

[0003] 尽管绝缘护套有助于保护管道免受水和氯化物的进入，但是难以将管道维持在完全密封的环境中，因此将必然发生腐蚀。然而，该腐蚀的性质和位置是不稳定的，因此难以保护。此外，由于管道被绝缘护套覆盖，因此腐蚀难以检测。例如，目视检查需要将绝缘护套去除，这对于具有数千米管道的装置来说是昂贵的、在逻辑上困难的且时间密集的任务。一旦任何腐蚀已开始，则它快速扩散，从而一旦(例如在常规的目视检查期间)发现了腐蚀，则通常都来不及发起任何补救行动而不必走到替换管道的整个区段的地步(这又是困难且昂贵的任务)，这中断装置的操作。

[0004] 将理解，这类石油和天然气装置中的泄漏的结果有可能在环境上、经济上以及对于装置的相关方的名声都是灾难性的。管道工程的主动检查以检测腐蚀的早期阶段因此是必要的，但是由于大规模的管道工程而目视检查会极其昂贵(例如，每个石油和天然气提炼厂每年数百万美元)，该管道工程的大部分经常是难接近的且因此可能需要大规模的复杂脚手架以到达和检查。

[0005] 因此希望具有一种能够检测和定位管道的腐蚀而不必执行目视检查(且因此消除上文所提及的在逻辑上和经济上的挑战)的腐蚀检测和定位技术。可以实施使用例如X射线、中子散射或超声波的对管道区段的扫描，但是这些技术难以实施、解释结果复杂、且不容易扩展，例如，这些技术仅能够调查管道的有限长度。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种改进的腐蚀检测和定位系统。

[0007] 当从第一方面的视角看时，本发明提供了一种用于在金属体的外表面上检测和定位腐蚀的系统，所述系统包括：

[0008] 邻近所述金属体的所述外表面而布置的延伸式电磁波导，所述电磁波导包括牺牲构件，所述牺牲构件经历与所述金属体的所述外表面基本相同的环境；

[0009] 波形发生器，所述波形发生器布置成连接到所述波导且将电磁波形注入所述波导中；以及

[0010] 波形分析器，所述波形分析器连接到所述波导且布置成从所述波导接收所注入的

电磁波形的反射部分以及使用所注入的电磁波形的所述反射部分确定所述波导的所述牺牲构件的腐蚀的位置。

[0011] 当从第二方面的视角看时，本发明提供了一种在金属体的外表面上检测和定位腐蚀的方法，所述方法包括：

[0012] 将电磁波形注入邻近所述金属体的所述外表面而布置的电磁波导中，所述电磁波导包括牺牲构件，所述牺牲构件经历与所述金属体的所述外表面基本相同的环境；

[0013] 从所述波导接收所注入的电磁波形的反射部分；以及

[0014] 使用所注入的电磁波形的所述反射部分确定所述波导的所述牺牲构件的腐蚀的位置。

[0015] 因此本发明提供了一种腐蚀检测和定位系统以及一种执行腐蚀检测和定位的方法，其能够在金属体的外表面上检测腐蚀的存在且定位腐蚀。该系统包括延伸式电磁波导，该延伸式电磁波导布置成位于金属体的外表面附近，使得它经历与金属体的外表面基本相同的环境。该系统还包括连接到波导的波形发生器。该波形发生器布置成生成电磁波形并将其注入波导中，其中，该延伸式波导布置成携带所注入的波形(及其一个或多个反射部分)。

[0016] 该系统还包括连接到波导的波形分析器。该波形分析器布置成从波导接收所注入的电磁波形的反射部分，例如由于波导的牺牲组件的腐蚀而引起该反射部分，该腐蚀改变了该波导在腐蚀位置处的阻抗。该波形分析器然后布置成使用所注入的电磁波形的反射部分来检测波导的牺牲构件的任何腐蚀的存在、并使用所注入的电磁波形的从该波导中的一个或多个反射点且被波形分析器接收的部分来确定波导的牺牲构件的任何腐蚀的位置。

[0017] 因此将理解，本发明的腐蚀检测系统通过提供邻近金属体的外表面的延伸式波导而允许执行腐蚀的原地测量，该测量可以被监控且例如被远程控制。放置成邻近金属体的外表面且放置在与金属体的外表面基本相同的环境中的波导的牺牲构件经历相同的环境状况，例如暴露于水和氯化物。因此，波导的牺牲构件的腐蚀应当与金属体的外表面的腐蚀相关。

[0018] 本发明的系统和方法使用在波导下方发送(由波形发生器产生且输入)的电磁波形来检测波导中的阻抗的变化(通过检测且分析反射波形，其中，当存在波导的阻抗的变化时产生反射)。波导的牺牲构件的腐蚀因此布置成在腐蚀位置处改变波导的阻抗，从而引起输入波形的反射。使用波形分析器来使用所注入的电磁波形的反射部分因此允许确定波导的牺牲构件的腐蚀的位置，例如通过使用输入波形与反射波形之间的时延以及使用波导的介电常数所计算的波速(即，距离＝时间/速度，其中，速度＝c/√(介电常数)，且c为光在真空中的通用速度)。

[0019] 由于牺牲构件的腐蚀很可能与金属体的外表面的腐蚀相关，因此在波导的牺牲构件中的腐蚀的位置提供如下指示：在该位置处可能存在金属体的外表面的腐蚀。然后这允许在该特定位置执行进一步调查(例如目视检查)以及从事任何补救工作。

[0020] 因此将看出，利用在例如管道工程装置中安装的这类腐蚀检测系统，该腐蚀检测系统可以对金属体的外表面的可能腐蚀执行监控，从而消除执行推测性的目视检查的需求。本发明的腐蚀检测系统因此有可能大幅改善金属体的外表面的腐蚀的检测以及简化这类工作且降低这类工作的成本。

[0021] 金属体(对此通过相邻波导监控外表面的腐蚀)可以包括任何合适且期望的金属体,即,其具有金属外表面。金属体可以包括容器(例如罐)或其至少一个壁。在优选实施方式中。金属体包括金属管道。优选地,在石油和/或天然气装置中布置金属管道,因此该金属管道优选地布置成携带石油和/或天然气。

[0022] 金属体(例如金属管道)可以不被覆盖。例如,可以将管道埋在地下或定位在海下方,例如在海床上。然而优选地,金属体(例如金属管道)的外表面被覆盖(包裹)在绝缘层(例如绝缘护套)中。这类绝缘护套保护金属体的(金属)外表面免受其外部环境且因此免受腐蚀(但是,如上所述,这类绝缘通常不完美)。

[0023] 当金属体的外表面被覆盖在绝缘层中时,优选地,波导布置在金属体的外表面与绝缘层之间或布置成嵌入绝缘层内,使得波导的牺牲构件经历与金属体的外表面基本相同的环境。

[0024] 尽管邻近(例如靠近)金属体的外表面而布置的延伸式波导可以与金属体的外表面接触,但是优选地,延伸式波导被布置成使得波导的牺牲构件不与金属体的外表面接触,因为这可能引起波导的牺牲构件与金属体的外表面之间的腐蚀,例如,由于在该点收集的水或通过电化学腐蚀。因此,优选地,使波导的牺牲构件与金属体的外表面间隔开(同时仍保持相邻,使得该牺牲构件经历与金属体的外表面基本相同的环境)。优选地,使波导的牺牲构件与金属体的外表面间隔小于5cm、例如小于2cm、例如小于1cm。

[0025] 在一个实施方式中,该系统包括穿孔层,例如护套或套管,该穿孔层设置在延伸式波导(例如,尤其该延伸式波导的牺牲构件)与金属体的(例如围绕该延伸式波导的)外表面之间。优选地,该穿孔层包括介电(绝缘)材料。在延伸式波导(的牺牲构件)与金属体的外表面之间设置穿孔层有助于防止延伸式波导的牺牲构件直接接触金属体的外表面且因此引起牺牲构件与金属体的外表面之间的腐蚀。由于在穿孔层中的穿孔,因此延伸式波导的牺牲构件仍能够经历与金属体的外表面基本相同的环境。在一个实施方式中,穿孔层包括塑料网。

[0026] 延伸式波导可以包括任何合适且期望的波导,例如,在该波导上可以注入且反射电磁波形。在优选实施方式中,延伸式波导包括一对延伸导体,其中,该对延伸导体中的一个延伸导体包括牺牲构件且该对延伸导体中的另一个延伸导体包括非牺牲构件。优选地,该非牺牲构件布置成被保护免受牺牲构件布置成暴露的环境。

[0027] 这类双导体波导可以有助于允许系统在波导的牺牲构件中检测和定位多个腐蚀点。这是因为非牺牲构件优选地布置成携带电磁波形在电磁波导中越过牺牲构件的任一腐蚀点的透射部分。因此,延伸式波导的非牺牲构件可以有助于允许电磁波形的透射部分行进越过牺牲构件中的腐蚀的起点,使得该系统能够检测和定位牺牲构件中的另一腐蚀点。

[0028] 在优选实施方式中,延伸式波导(例如一对延伸导体)包括传输线。波导(例如传输线)可以包括双绞线或平行(例如共面)线对(诸如形成在例如柔性印制电路板上的一对),其中,牺牲构件包括该对电线中的一条电线。这样一对电线例如如果这形成在该对电线之间则也可以允许检测水的存在。在优选实施方式中,延伸式波导包括同轴波导,例如电缆,其中,牺牲构件包括同轴波导的外部传导护罩,以及例如,同轴波导的芯包括非牺牲构件。

[0029] 优选地,波导与金属体分离,即,金属体不形成波导的一部分。因此,如上所指示,金属体的外表面上的腐蚀不直接被检测,但是从在延伸式波导的牺牲构件中检测的腐蚀推

导。

[0030] 优选地，延伸式波导为柔性的。这允许波导遵循金属体的外表面的轮廓，例如，(例如非线性)管道的路径。

[0031] 延伸式波导的牺牲构件可以形成为或具有任何合适且期望的形状，从而该牺牲构件暴露于与金属体的外表面基本相同的环境状况。优选地，牺牲构件沿着延伸式波导的基本整个长度延伸。优选地，牺牲构件形成延伸式波导的传导构件之一，例如，一对电线之一或同轴波导的外部传导护罩。因此优选地，延伸式波导被布置成使得延伸式波导的牺牲构件的腐蚀改变延伸式波导的阻抗(即，在腐蚀的位置处)。

[0032] 波导(或至少其牺牲构件)可以包括任何合适且期望的材料，例如使得该波导受腐蚀。例如，波导(或至少其牺牲构件)可以包括铝、碳钢和/或不锈钢(后两种材料通常用于形成金属管道和其它主体)。因此，波导(或至少其牺牲构件)可以包括与金属体的外表面相同的材料，即，使得它们以类似速度受腐蚀(在相同环境中)。因此这可以允许在检测波导的牺牲构件中的腐蚀时给出如下良好指示：金属体的外表面的腐蚀已发生。

[0033] 然而，在优选实施方式中，波导(或至少其牺牲构件)可以包括(在暴露于与形成金属体的外表面的材料相同的环境状况下)以比形成金属体的外表面的材料更快的速率腐蚀的材料，即，优选地，波导(或至少其牺牲构件)比金属体的外表面的耐腐蚀性小。提供比金属体的外表面的耐腐蚀性小的延伸式波导允许提供腐蚀检测，该腐蚀检测对腐蚀更敏感且因此可以提供对金属体的腐蚀可能性的早期警告。这可以允许对金属体执行预防性或补救工作而管道原封不动，从而使这类维修的成本最小化。

[0034] 在优选实施方式中，延伸式波导的牺牲构件包括铜。这在延伸式波导包括同轴波导且牺牲构件包括同轴波导的外部传导护罩时尤其便利。当延伸式波导包括同轴波导时，内部导体和外部传导护罩优选包括铜，其中，在二者之间提供电介质(绝缘体)。

[0035] 在优选实施方式中，延伸式波导的牺牲构件的腐蚀速率与金属体的外表面的腐蚀速率之间的相关性是已知的，从而该相关性可以被例如波形分析器或后续处理器用以从针对延伸式波导的牺牲构件确定的腐蚀量确定金属体的外表面的腐蚀量。优选地，从系统(例如，牺牲构件和金属体)中使用的材料的实验室试验确定延伸式波导的牺牲构件的腐蚀速率与金属体的外表面的腐蚀速率之间的(数学)关系，即相关性。例如，延伸式波导的牺牲构件的腐蚀速率与金属体的外表面的腐蚀速率之间的数学关系可以具有线性形式，例如$R_1 = KR_2$，其中，R_1和R_2分别为金属体和牺牲构件的腐蚀速率。

[0036] 例如预先计算的相关性可以使用查找表来实现。优选地，例如预先计算的延伸式波导的牺牲构件的腐蚀速率与金属体的外表面的腐蚀速率之间的相关性用于确定在金属体的外表面中的腐蚀量。因此，一旦已确定延伸式波导的牺牲构件的腐蚀量，则可以很容易由此确定金属体的外表面的腐蚀量。

[0037] 在优选实施方式中，腐蚀检测系统布置成检测延伸式波导的牺牲构件何时包括厚度完全腐蚀的一部分。在一些实施方式中，当牺牲构件在特定位置上完全腐蚀时，可能发生波导的阻抗的可检测变化。因此，优选地，除了选择延伸式波导的牺牲构件的材料以外(因为牺牲构件的腐蚀速率取决于其材料)，延伸式波导的牺牲构件的厚度被选择以确定该延伸式波导的牺牲构件完全腐蚀所用的速率、例如根据金属体的外表面的材料来选择，从而可以例如针对由特定材料制成的金属体设置腐蚀检测系统的敏感度。在优选实施方式中，

延伸式波导的牺牲构件的厚度在5μm和2mm之间、例如在50μm和1mm之间、例如为0.2mm。优选地，延伸式波导的牺牲构件的厚度被选择使得该延伸式波导是柔性的。

[0038] 延伸式波导(以及优选地，其牺牲构件)可以为任何合适且期望的长度。在优选实施方式中，延伸式波导(以及优选地，其牺牲构件)的长度大于10m、例如长度大于20m、例如长度大于50m、例如长度大约为100m，但是也设想甚至更大长度，例如高达1km或2km。

[0039] 此外，该系统可以包括多个延伸式波导，每个延伸式波导包括牺牲构件且连接到波形发生器和波形分析器。这允许针对腐蚀监控金属体的外表面的大得多的长度、例如管道工程的更大长度。

[0040] 延伸式波导(或多个延伸式波导)可以以任何合适且期望的方式相对于金属体的外表面来布置。当金属体包括管道时，延伸式波导可以布置成例如在相对于管道固定的位置上基本平行于该管道行进。对于水平管道(以及优选地，其它非竖直管道)，优选地将延伸式波导布置在该管道下方。这是便于监控管道的腐蚀的位置，因为这是水可能聚集之处，例如在绝缘护套内。

[0041] 在尤其适合于监控管道工程的一个实施方式中(即，当金属体包括金属管道时)，多个延伸式波导(每一者包括牺牲构件且连接到波形发生器和波形分析器)串联布置，例如，以沿着一个或多个管道的长度行进。

[0042] 然而，在另一个实施方式中，多个延伸式波导(每一者包括牺牲构件且连接到波形发生器和波形分析器)并联布置。这种布置方式适合于监控围绕管道的圆周(或例如，跨越罐表面)的多个不同点处的腐蚀。在金属体包括金属管道时尤其合适的替选布置方式是，将延伸式波导以螺旋状缠绕在管道的圆周周围。

[0043] 也考虑上述地形布置方式的其它组合，例如，使多个延伸式波导串联和并联布置。这可以为格子形式，其可以例如适合于在大的表面区域(例如罐壁)上监控腐蚀。可替选地，它可以为多个平行延伸式波导的形式，这些延伸式波导每一者均与其它多个平行延伸式波导串联连接(例如多次)，从而例如允许沿着管道工程的较长的长度针对腐蚀监控围绕管道的圆周的不同点。

[0044] 波形发生器可以布置成生成任何合适且期望的电磁波形并将其注入延伸式波导中。所使用的电磁波形可以取决于由波形分析器用来确定腐蚀的位置的技术，例如，由于用于确定腐蚀的位置的模型或数学公式。这是因为，从另一个角度看，波形分析器可以根据注入延伸式波导中的电磁波形的类型确定腐蚀的存在和位置。

[0045] 在一个实施方式中，电磁波导包括一个或多个(优选地多个)周期性波形，例如脉冲或正弦波形。优选地，将多个周期性波形一个接一个地注入波导中，例如，以一连串的周期性波形。该一个或多个周期性波形均可以具有任何合适且期望的特性，例如振幅、宽度、相位和频率中的一者或多者(在适当的时候)。例如，当周期性波形包括脉冲时，每个脉冲优选地由其振幅和其宽度之一(或优选地二者)来限定。当周期性波形包括正弦波形时，每个正弦波形优选地由其频率、其振幅和其相位中的一者或多者(且优选地全部)来限定。

[0046] 振幅、宽度、相位和/或频率(当周期性波形由这些变量中的一者或多者限定时)可以采用任何合适且期望的值。在优选实施方式中，当电磁波形包括多个周期性波形时，所有周期性波形可以为相同的，即，由它们限定的变量全部具有相同的值。在其它实施方式中，多个周期性波形可以包括不同的周期性波形，即，由它们限定的变量具有不同的值。

[0047] 当周期性波形包括宽度时，例如对于脉冲，优选地，一个或多个脉冲中的每个脉冲的宽度在1ps与1000ps之间、例如在10ps与100ps之间。

[0048] 当电磁波形包括多个周期性波形(例如多个正弦波形)时，优选地该多个周期性波形均具有不同频率。因此优选地，波形发生器布置成生成具有多个不同频率的多个周期性波长并将其注入波导中。将多个频率不同的周期性波形注入波导中允许每个周期性波长(在可用时)的反射部分被用来确定腐蚀的位置。这可以允许更准确地确定腐蚀的位置，将如下文所描述。

[0049] 电磁波形(例如一个或多个周期性波形)的频率(尤其当周期性波形包括正弦波形时)可以为任何合适且期望的一个或多个频率。优选地，周期性波形的频率或周期性波形包括的频率在1MHz和20GHz之间、例如大于1GHz、例如大于5GHz、例如大约为10GHz。(优选地，避免受约束的通信频率，例如处于900MHz、1.8GHz和2.4GHz。)对于周期性波长的一个或多个更高频率有助于减小(即改善)系统能够定位延伸式波导的牺牲构件的腐蚀的分辨率。例如，同轴波导中的1GHz的频率提供大约10cm的分辨率，而10GHz的频率提供大约1cm的分辨率。

[0050] 在另一实施方式中，编码(例如赋形)一个或多个周期性波形。这允许例如波形分析器使反射波形的形状与注入波形的形状相关，这因此可以增强所获得的测量的敏感度。在优选实施方式中，波形发生器布置成生成一连串的周期性波形(并将其注入延伸式波导中)，例如，各个波形具有不同的频率、相位、宽度和/或振幅(例如可使用巴克码)。

[0051] 腐蚀检测系统可以布置成以任何合适且期望的方式监控金属体的外表面的腐蚀。波形分析器可以连续地或在离散时刻(例如按一定间隔分隔)监控腐蚀。因此优选地，波形发生器布置成连续地或在离散时刻生成一系列电磁波形，例如周期性波形(并将其注入延伸式波导中)，以及波形分析器优选地也布置成接收且使用该系列所注入的电磁波形的反射部分。

[0052] 波形分析器可以包括任何合适且期望类型的波形分析器，其布置成从波导接收所注入的电磁波形的反射部分以及使用所注入的电磁波形的反射部分检测波导的牺牲构件的腐蚀的存在且确定该腐蚀的位置。波形分析器可以包括专用设备，例如阻抗分析器，或波形分析器可以简单地包括数据采集装置(Data Acquisition Device，DAD)和(例如计算机)处理器，这避免了对于专业工具的需求。在优选实施方式中，波形分析器包括网络分析器，例如向量网络分析器。

[0053] 尽管波形发生器和波形分析器可以包括均连接到波导的分离构件(以及优选地，在本实施方式中，波形发生器和波形分析器布置成在波导的基本相同点处(例如在波导的(例如区段的)一端)连接到波导)，但是在一个实施方式中，该系统包括布置成执行发生器和分析器二者的功能的集成式波形发生器和分析器。在优选实施方式中，集成式波形发生器和分析器共享与波导的连接，例如，它们通过单一连接端口或电缆连接到波导。这使得该集成式(单一)构件共享与波导的这个单一连接，通过该单一连接发送所注入的电磁波形且接收反射部分。

[0054] 优选地，波形分析器布置成在延伸式波导的牺牲构件中检测多个腐蚀点，例如通过接收且使用所注入的电磁波形的反射部分，该反射部分从延伸式波导的牺牲构件中的多个腐蚀点反射。这是可能的，因为所注入的电磁波形可能并不是全部被其在延伸式波导的

牺牲构件中遇到的第一腐蚀点反射，即，注入的电磁波形的一部分可以被透射。从而透射部分可以被其在延伸式波导的牺牲构件中遇到的另外的一个或多个腐蚀点反射。此外，如上所述，这可以在延伸式波导包括非牺牲构件(除了牺牲构件外)的实施方式中得到帮助。

[0055] 在本实施方式中，电磁波形的多个反射部分被波形分析器接收，该多个反射部分对应于在延伸式波导的牺牲构件中的多个腐蚀点。然后可以使用波导的介电常数从电磁波形的多个反射部分中的每一者的时延(例如相对于所注入的电磁波形)确定延伸式波导的牺牲构件中的多个腐蚀点中的每一个的位置。

[0056] 波形分析器布置成使用所注入的电磁波形的反射部分以任何合适且期望的方式检测波导的牺牲构件的腐蚀的存在并确定该腐蚀的位置。当电磁波形包括周期性波形时，优选地，使用经反射的周期性波形的振幅、宽度、相位和频率中的一者或多者(以及优选地可用的全部)(例如通过将它们与所注入的周期性波形的一个或多个对应值相比较)来确定波导的牺牲构件的腐蚀的位置。

[0057] 当将多个(例如频率不同的)周期性波形注入波导中时，优选地波形分析器布置成使用多个所注入的周期性波形中的每一者的反射部分来确定波导的牺牲构件的腐蚀的位置。

[0058] 波形分析器可以使用查找表确定腐蚀的位置，例如，使反射部分的经确定的时延与该反射的起因(例如，波导中的腐蚀)沿着波导的距离相关。当所注入的电磁波形包括多个周期性波形时，优选地使用群时延(反射部分的相位相对于频率的导数)来确定腐蚀的位置，例如使用群时延对比沿着波导的距离(例如，从注入电磁波形的位置起)的查找表。

[0059] 在优选实施方式中，波形分析器布置成使用数学模型，例如执行使用所注入的电磁波形的反射部分的时域或优选地频域反射测定法，来确定波导的牺牲构件的腐蚀的位置。该反射测定技术为尤其便于使用所注入的电磁波形和反射的电磁波形检测波导中的阻抗变化的方式。

[0060] 在波形分析器布置成使用数学模型的另一优选实施方式中，波形分析器布置成对电磁波形的一个或多个反射部分执行傅里叶逆变换以确定腐蚀的位置，例如作为时域或频域反射测定法的部分。这允许反射信号被转换为时延且然后使用电磁波形在波导中的速度转换为距离，如上所述。这在电磁波形包括多个(例如频率、振幅和/或相位不同的)周期性波形时尤其便利，因为傅立叶逆变换可以能够一起处理多个周期性波形的反射部分。例如，对于具有特定频率的周期性波形(例如在具有多个不同频率的多个周期性波形中)，可以使用反射波形的振幅和相位来确定腐蚀的位置。当周期性波形包括脉冲时，优选地，使用反射波形的振幅和宽度来确定腐蚀的位置。

[0061] 在优选实施方式中，波形分析器布置成对电磁波形的一个或多个反射部分执行信号处理，例如以检测由于腐蚀造成的波导的阻抗变化和由于其它原因(例如不良连接(例如在波导与波形发生器和/或分析器之间))造成的阻抗变化以及在二者之间进行区分。

[0062] 波形分析器可以布置成执行使用电磁波形的反射部分的所有必需且期望的处理，以确定金属体的外表面的腐蚀的位置和性质。例如，波形分析器可以例如执行时域或频域反射测定法来确定电磁波形的注入部分与反射部分之间的时间推移，然后使用该时间推移确定腐蚀的位置，使电磁波导的牺牲构件的腐蚀的量级与金属体的外表面的腐蚀的评估量级相关，以及执行使用电磁波形的反射部分的信号处理以对于阻抗变化在电磁波导的牺牲

构件的腐蚀与其它原因之间进行区分，即，以允许正确地识别腐蚀的位置。

[0063] 然而，在一个实施方式中，这些步骤中的一个或多个步骤可以被与波形分析器不同的构件执行。因此优选地，该系统包括发射器，该发射器布置成发送来自波形分析器的数据，例如由时域或频域反射测定法获取或分析的数据的输出，以允许执行这些步骤中的一个或多个步骤。这允许远程执行更为复杂的处理，从而允许波形分析器简单地接收电磁波形的反射部分且执行时域或频域反射测定法，因此有助于确保在原地仅需要提供(且安装)最小数量的构件。例如，可以原地执行腐蚀的位置的初步确定，而可以就地、离线或远程执行更多深度处理，例如，以确定在波导(例如其牺牲构件)中的故障的类型(例如腐蚀、潮湿、不良连接等)。

[0064] 可以使用用于发送数据的任何合适或期望的连接(例如有线或无线连接)将从波形分析器发送的数据发送到任何合适或期望的其它构件，例如计算机。这允许远程监控金属体的外表面的状况(以及甚至金属体的整个集合，例如在装置中)。波形发生器也可以布置成远程受控，例如，有别于布置成生成待连续地或以有规律间隔注入的电磁波形。这可以允许例如由控制器操作的系统按需监控金属体的外表面的腐蚀。

[0065] 尽管本发明可以仅扩展到腐蚀检测系统本身，但是申请人还设想本发明扩展到并入腐蚀检测系统的金属体。因此，当从另一方面的视角看时，本发明提供了一种腐蚀检测和定位系统，该系统包括：

[0066] 具有外表面的金属体，在所述外表面上待检测腐蚀；

[0067] 邻近所述金属体的所述外表面而布置的经延伸的电磁波导，所述电磁波导包括牺牲构件，所述牺牲构件经历与所述金属体的所述外表面基本相同的环境；

[0068] 波形发生器，所述波形发生器布置成连接到所述波导且将电磁波形注入所述波导中；以及

[0069] 波形分析器，所述波形分析器连接到所述波导且布置成从所述波导接收所注入的电磁波形的反射部分以及使用所注入的电磁波形的所述反射部分确定所述波导的所述牺牲构件的腐蚀的位置。

[0070] 上文提及的可选特征和优选特征中的任一者或每一者也被视为适用于本发明的这个方面。尤其，优选地，该金属体包括金属管道，和/或优选地，该系统包括覆盖金属体的外表面的绝缘层。

附图说明

[0071] 下面将仅通过示例方式、参照附图描述本发明的实施方式，附图中：

[0072] 图1示出根据本发明的实施方式的腐蚀检测系统；

[0073] 图2示出用在图1中所示的系统中的同轴电缆；

[0074] 图3a和图3b示出在图1中所示的、具有所注入的电磁波形的腐蚀检测系统的另一视图；以及

[0075] 图4示出所注入的电磁波形和反射的电磁波形的曲线图。

具体实施方式

[0076] 典型的石油和天然气提炼厂可以包含数千千米的金属管道工程。这些金属管道通

常被包裹在绝缘护套中以使该管道绝缘以及保护管道的外表面免受腐蚀。尽管绝缘护套保护管道井免受水和氯化物的进入，但是难以将管道维持在完全密封的环境中，因此必然会发生腐蚀。

[0077] 由于在石油和天然气提炼厂中从受腐蚀管道的泄漏的潜在灾难性影响，因此重要的是，监控管道的腐蚀的标记，从而可以在腐蚀发展到更严重阶段之前采取补救措施。本发明的腐蚀检测系统允许对石油和天然气提炼厂(其他装置)中的金属管道执行这类监控。

[0078] 图1示出根据本发明的实施方式的腐蚀检测系统1。系统1包括金属管道2，该金属管道2具有覆盖在绝缘护套4中的金属外表面。在绝缘护套4中布置成紧密靠近但不与金属管道2的外表面接触的是同轴电缆6。该同轴电缆6布置成沿着金属管道2的长度行进且因此能够沿着金属管道2的该长度监控腐蚀。

[0079] 该同轴电缆6具有铜芯和铜制外部护罩，该芯和护罩被电介质分离。图2示出用在图1中所示的系统中的同轴电缆6。尽管在图1中未示出，但是如在图2中可见，同轴电缆6被穿孔的塑料套管14包围。穿孔套管14有助于防止同轴电缆6的外部护罩接触金属管道2的外表面且因此引起二者之间的腐蚀。

[0080] 在图1中所示的腐蚀检测系统1中，同轴电缆6的一端附接到集成式波形发生器和分析器8。该集成单元8包括波形发生器10和波形分析器12，该波形发生器10布置成生成电磁波形且将其注入同轴电缆6中，该波形分析器12布置成接收且分析来自同轴电缆6的所注入的电磁波形的反射部分。

[0081] 在图3a和图3b中示出了腐蚀检测系统1的其它视图。图3a和图3b示出系统1，其中，金属管道2且因此同轴电缆6在沿着金属管道2的特定位置上具有腐蚀16的区域。

[0082] 图3a示出了在电磁波形18已被注入同轴电缆6中时的系统1，从而该电磁波形18沿着同轴电缆6、朝向腐蚀16行进(从左到右)。图3b示出了后续时刻的系统1，此时，所注入的电磁波形18已入射在腐蚀16上且电磁波形的一部分20已从腐蚀16的位置被反射以及电磁波形的其余部分22已被透射且沿着同轴电缆6继续前进。

[0083] 图4示出了所注入的电磁波形18(“输入信号”)和该电磁波形的反射部分20(“从缺陷反射的信号”)的曲线图，该反射部分20从在图3a和图3b中所示的布置方式的模拟来确定。

[0084] 下面将参照图1至图4描述系统1的操作。

[0085] 在操作中，同轴电缆6(被穿孔的塑料套管14包围，如图2所示)相对于金属管道2来布置，如图1所示，且连接到集成式波形发生器和分析器8。随着时间推移，水和氯化物进入金属管道2的绝缘护套4内腐蚀金属管道2的外表面。由于同轴电缆6的外部护罩暴露于与金属管道2的外表面相同的环境，即在绝缘护套4内，因此同轴电缆6的外部护罩也腐蚀。

[0086] 周期性地，波形发生器10生成以一系列频率预定的正弦波形(通常在从1MHz到1GHz的频率范围内)的形式的电磁波形并将其注入同轴电缆中，在该系列中的各正弦波具有不同频率。在图4中示出了典型注入的电磁波形18。

[0087] 如果正弦波形经历同轴电缆6的阻抗的任何变化，例如由于同轴电缆6的牺牲外部护罩的腐蚀16(如图3a和图3b所示)，则这导致该系列正弦波形的从同轴电缆6中的阻抗变化点反射的一部分的振幅和相位的变化，同时该系列正弦波形的其余部分22沿着同轴电缆6运载(即，可遇到阻抗的其它变化且因此生成其它反射)。在图4中示出了所注入的电磁波

形的典型反射部分20。

[0088] 波形分析器12接收这些反射的正弦波形20且对其执行频域反射测定法，尤其根据如下离散傅里叶逆变换对反射的正弦波形采用傅立叶逆变换。

[0089] $$h_k = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1} x_i \, e^{-2j\pi ik/n}$$

[0090] 其中，j为虚数(√-1)且n为在所注入的电磁波形18中的频率点的数量，即频率不同的正弦波形的数量，h为在时域中的变换复数且x为在频域中的复数($x = Ae^{j\varphi}$，其中，A为频率分量的振幅且φ为相位)。

[0091] 这使得所注入的正弦波形18与反射的正弦波形20之间的时间差值能够被确定(如图4所示，可以看出，这大约为5ns)，然后将差值与同轴电缆6的介电常数一起用于计算潜在腐蚀16的位置。在对于注入系列的正弦波形的大约1GHz的频率下，可以获得大约1cm的位置分辨率。

[0092] 反射的正弦波形20的信号处理能够使由腐蚀引起的那些与阻抗变化的其它来源分离，该其它来源也在同轴电缆6中造成反射，例如同轴电缆6之间的不良连接。此外，同轴电缆6的外部护罩的腐蚀16可以与金属管道2的外表面的腐蚀相关，例如取决于制作它们所用的各自的材料。

[0093] 在知道同轴电缆6的外部护罩的腐蚀16的位置的情况下，可以在该位置上打开围绕金属管道2的绝缘护套4。然后这允许执行金属管道2的外表面的目视检查且执行任何补救措施，例如防腐蚀处理。

[0094] 从上文可看出，本发明的腐蚀检测系统1(例如安装在提炼厂中)可以对金属管道2的外表面的可能腐蚀执行监控，从而消除执行推测性的目视检查的需求。此外，由于使用例如频域反射测定法(使用具有预选频率的正弦波形)，因此可以在同轴电缆6的整个长度上执行腐蚀的位置的准确确定。本发明的腐蚀检测系统1因此有可能大幅改善金属体的外表面的腐蚀的检测以及简化这类工作且降低这类工作的成本。

[0095] 应当注意，尽管针对腐蚀检测系统所描述的特定实施方式用于监控金属管道的腐蚀，但是可以使用这类系统监控任何合适且期望的金属体的外表面，例如金属罐的外表面。此外，金属体可以不被覆盖在绝缘层中，该金属体可以出于不同原因而难以接近，例如将该金属体埋在或定位在海床上。

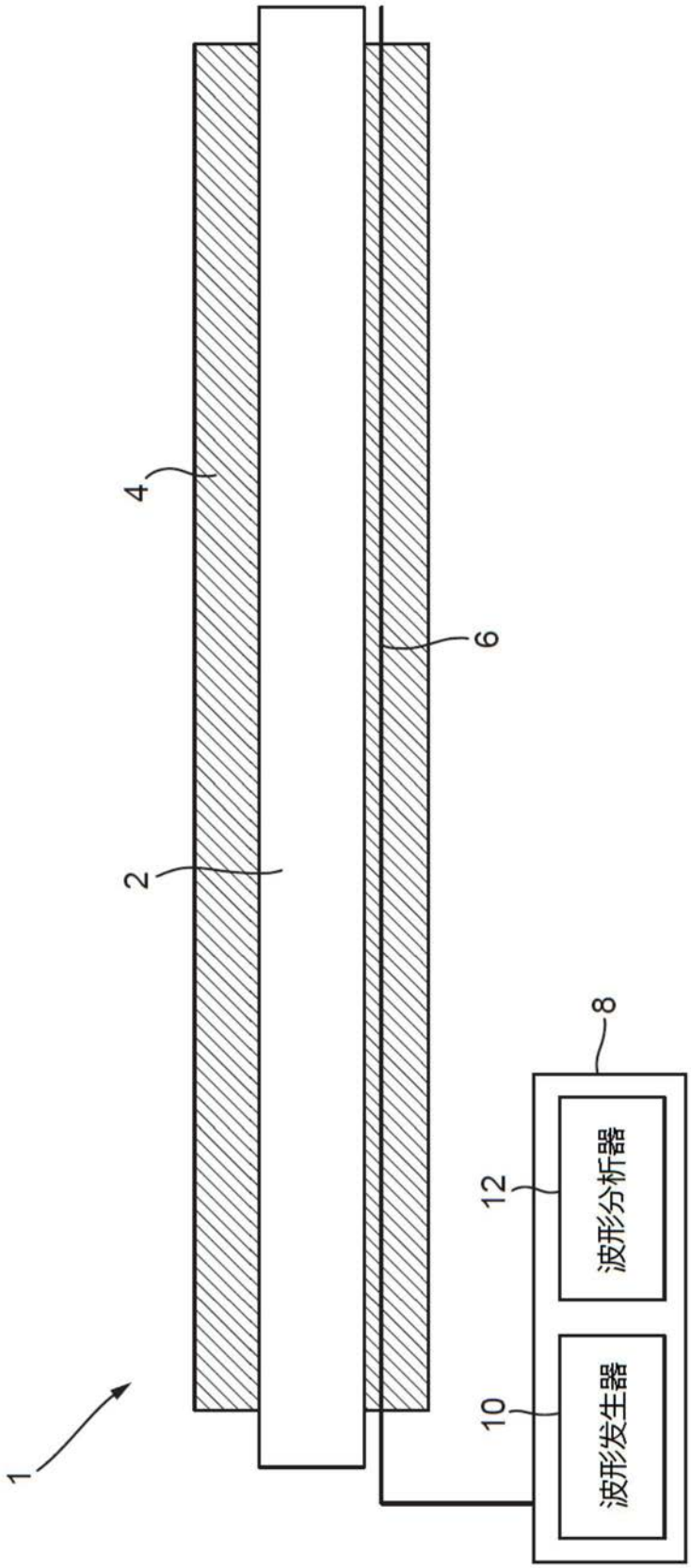


图1

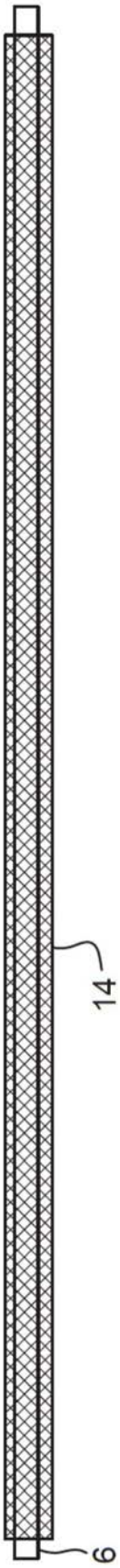


图2

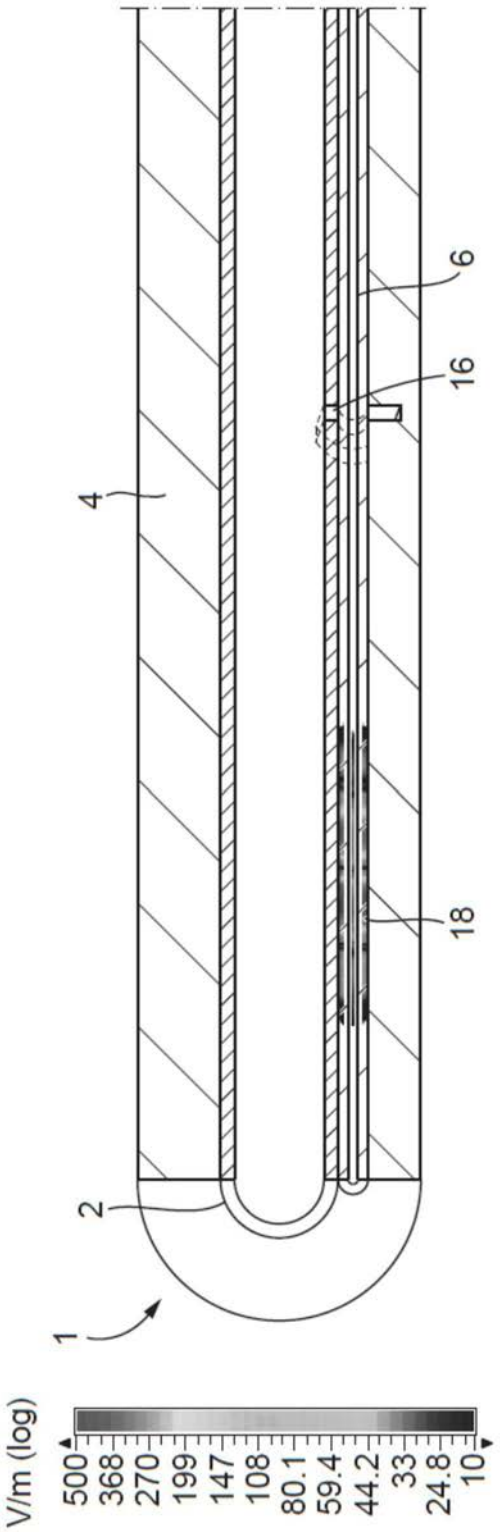


图3a

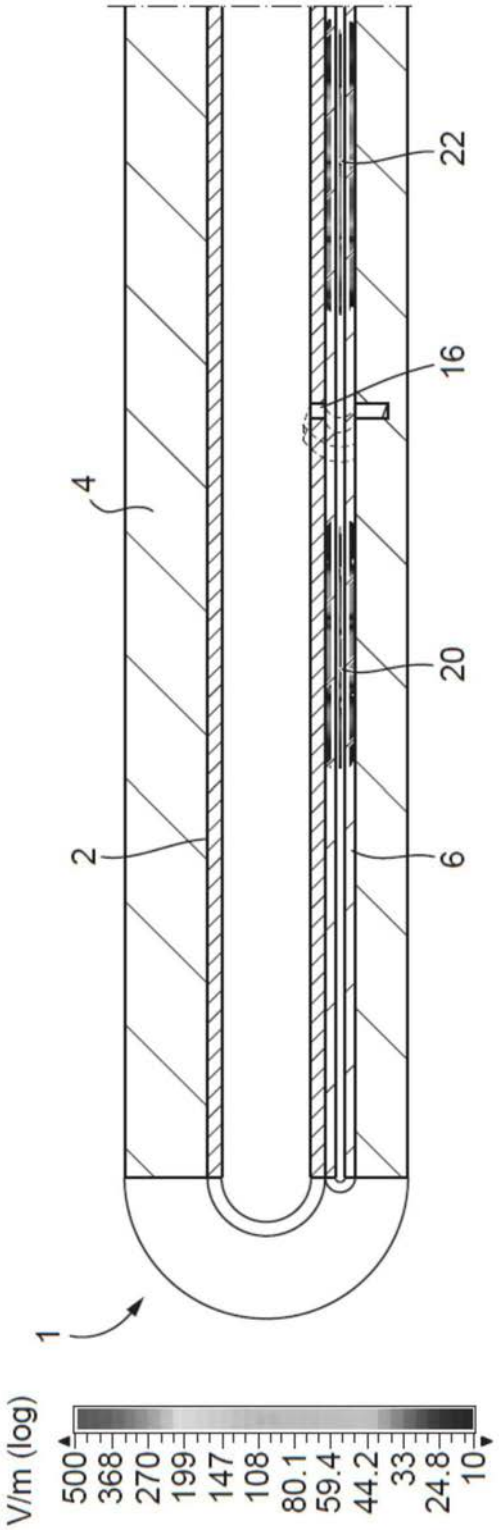


图3b

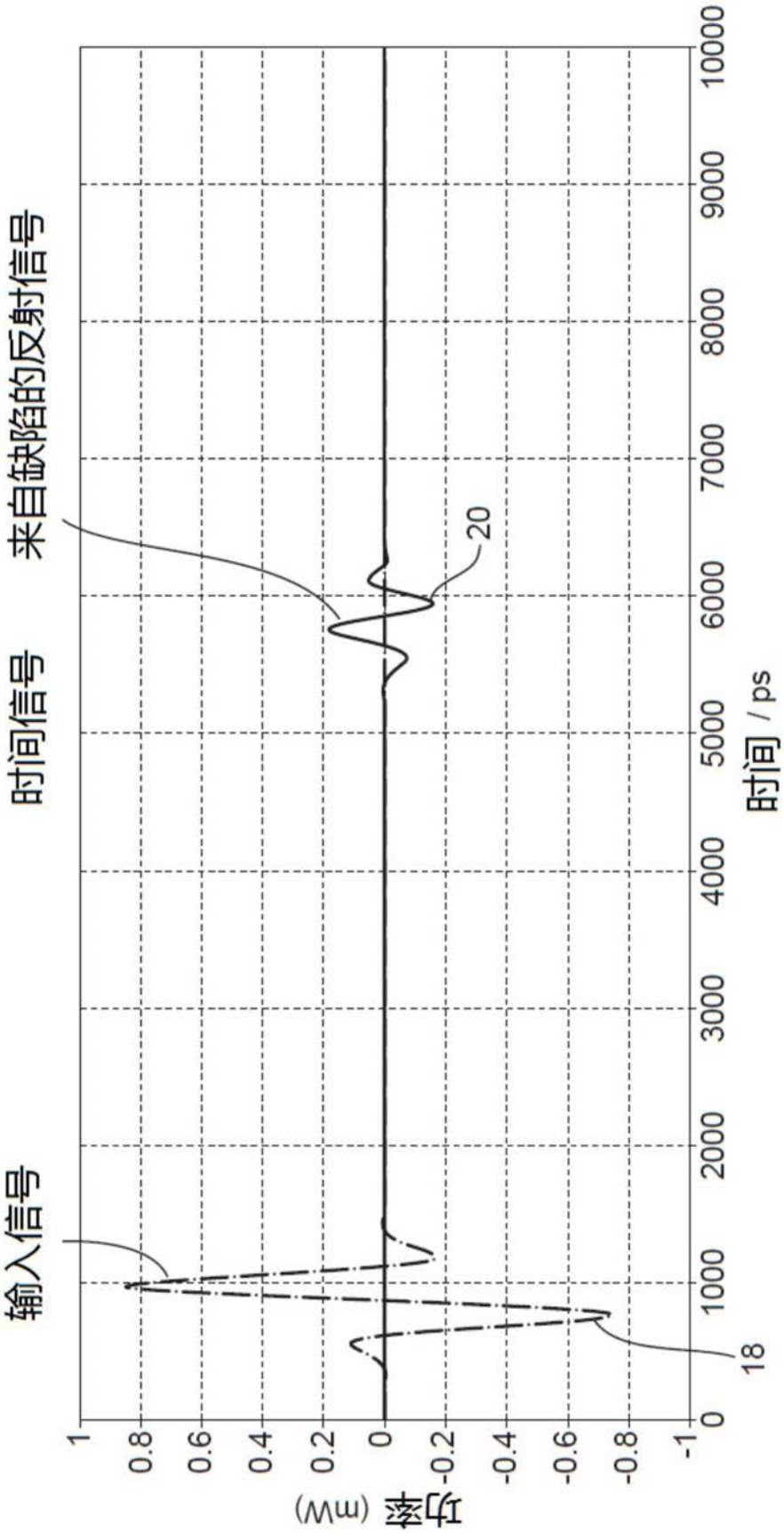

输入信号
时间信号
来自缺陷的反射信号
20
18
功率 (mW)
时间 / ps
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
-1
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000
10000

图4