



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105353032 B

(45)授权公告日 2020.03.20

(21)申请号 201510431267.0

G01N 25/72(2006.01)

(22)申请日 2015.07.21

G01N 27/02(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105353032 A

(43)申请公布日 2016.02.24

(30)优先权数据

14/337,285 2014.07.22 US

(73)专利权人 波音公司

地址 美国伊利诺伊州

(72)发明人 G·E·乔治森 W·J·塔皮亚

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

代理人 赵蓉民 徐东升

(51)Int.Cl.

G01N 27/90(2006.01)

(56)对比文件

US 2007197383 A1,2007.08.23,

US 3803485 A,1974.04.09,

US 2012225294 A1,2012.09.06,

US 2003041654 A1,2003.03.06,

US 2643285 A,1953.06.23,

FR 2356540 A1,1978.03.03,

US 2011262273 A1,2011.10.27,

US 3803485 A,1974.04.09,

CN 103619285 A,2014.03.05,

WO 2012048237 A2,2012.04.12,

审查员 唐仕军

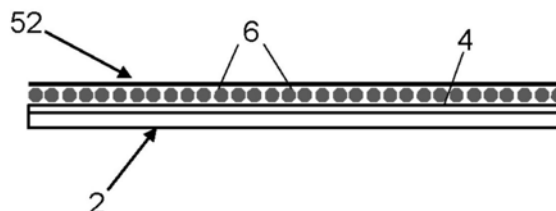
权利要求书3页 说明书14页 附图9页

(54)发明名称

钝性撞击指示器方法

(57)摘要

本申请公开钝性撞击指示器方法。使用流体填充的中空微球体以协助监控或指示对结构(诸如,飞行器)高能量钝性撞击的系统和方法。多个微球体可以附连至或嵌入施加在基底(例如,带或附饰物)的表面上的涂层,基底转而能够附连到被监控的结构表面。微球体被设计以在一个或更多个具体压力阈值下破裂。在一些实施例中,以导电流体填充微球体,如果导电流体从破裂的微球体释放,则基底的电磁状态变化。响应于基底的电磁状态的足够大变化的监控,产生钝性撞击指示。撞击部位随后可以经历无损检查。



1. 一种钝性撞击指示器设备,其包含:  
基底 (2),其包含第一表面和第二表面;和  
多个可破裂壳 (8),其接近于所述基底 (2) 的所述第一表面 (52) 布置,所述壳 (8) 具有布置在所述壳的内容积中的导电流体 (20);  
天线,其包括第一导电体和第二导电体 (12、14),所述第一导电体和第二导电体在缺乏导电流体 (20) 的情况下不彼此电耦合;以及  
射频识别电路 (64),其包括连接到所述第一导电体和第二导电体 (12、14) 的收发器,  
其中所述第一导电体和第二导电体 (12、14) 被布置在所述基底 (2) 的所述第一表面的一侧上并且经配置并被隔开使得在存在从所述多个壳释放的导电流体 (20) 的情况下,所述第一导电体和第二导电体 (12、14) 能够彼此电耦合,并且  
其中当所述第一导电体和第二导电体通过从所述多个壳 (8) 逸出的导电流体 (20) 而彼此电耦合时,由所述收发器发射的任何响应将具有作为所述天线的阻抗的函数的频率。
2. 根据权利要求1所述的钝性撞击指示器设备,其中所述壳 (8) 是由介电材料制成的中空微球体 (6)。
3. 根据权利要求1-2中任一项所述的钝性撞击指示器设备,其中所述基底 (2) 具有带或附饰物的形式。
4. 根据权利要求3所述的钝性撞击指示器设备,进一步包含:  
电压源 (18),其连接到所述第一导电体和第二导电体 (12、14)。
5. 根据权利要求3所述的钝性撞击指示器设备,进一步包含:  
导电材料的第一层,其被布置在所述基底的所述第一表面上;  
导电材料的第二层,其覆盖所述导电材料的第一层且在所述导电材料的第一层和所述导电材料的第二层之间具有空间,所述多个壳被布置在所述空间中;和  
电压源 (18),其被连接到所述导电材料的第一层和第二层,  
其中所述导电材料的第一层和第二层被空间隔开,使得当所述导电材料的第一层和第二层被从所述多个壳 (8) 中释放的导电流体 (20) 弄湿时,所述导电材料的第一层和第二层将彼此电耦合,且在缺乏来自所述多个壳 (8) 的导电流体 (20) 的情况下,所述导电材料的第一层和第二层将不会彼此电耦合。
6. 一种钝性撞击指示器设备,其包含:  
基底;  
易碎的导电体 (44),其被布置在所述基底 (2) 上或嵌入所述基底 (2) 中并具有第一端子和第二端子;  
电压源 (18),其被连接到所述易碎的导电体 (44) 的所述第一端子和第二端子;  
连续指示器 (49),其被电连接到所述易碎的导电体 (44);  
多个可破裂壳 (8),其接近所述基底的表面布置,所述壳分布在包围所述易碎的导电体 (44) 的区域,每个壳具有内容积;和  
导电流体 (20),其被布置在所述多个壳中的相应壳的所述内容积中。
7. 根据权利要求6所述的钝性撞击指示器设备,其中所述易碎的导电体 (44) 具有蛇形或螺旋形构造。
8. 一种用于监控结构的由于钝性撞击而产生的损坏的方法,其包含:

将基底 (2) 附接到所述结构的表面,所述基底 (2) 包含附连到所述基底或嵌入所述基底中的多个可破裂壳 (8),每个壳具有内容积,和导电流体 (20),所述导电流体布置在所述多个壳 (8) 中的相应壳的所述内容积中;以及

检测所述基底的导电率变化,

其中所述检测所述基底的导电率变化包括:

接近于所述基底放置线圈;

在第一时间间隔和第二时间间隔期间,引起交流电流流过所述线圈,所述交流电流的幅度和使所述线圈与所述基底分开的距离被选择以便在所述基底中感应涡电流;以及

测量在所述第一时间间隔期间所述线圈的第一阻抗和在所述第二时间间隔期间所述线圈的第二阻抗之间的任何差异。

9. 一种用于监控结构的由于钝性撞击而产生的损坏的方法,其包含:

将基底 (2) 附接到结构的表面,所述基底包含多个可破裂壳 (8),其被布置为接近所述基底 (2) 的表面,每个壳具有内容积,和导电流体 (20),其被布置在所述多个壳中的相应壳的所述内容积中;以及

检测所述基底的热状态变化。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中所述检测所述基底的热状态变化包含在不重叠的第一时间间隔和第二时间间隔期间执行以下步骤:

(a) 接近于所述基底放置线圈;

(b) 当所述线圈接近于所述基底时,引起交流电流流过所述线圈;

(c) 在步骤 (b) 期间由于通过所述线圈中的所述交流电流而在所述导电流体中感应的涡电流,而已经在区域中加热基底之后,移除所述线圈;和

(d) 在已经移除所述线圈之后,使用热成像相机获得加热的所述基底的所述区域的热图像。

11. 一种用于监控结构的由于钝化撞击而产生的损坏的方法,其包含:

将射频识别电路 (64) 以及第一和第二蛇形导电体放置在基底上,所述第一和第二蛇形导电体具有电连接至所述射频识别电路的相应端子的相应第一端子和彼此未电连接的相应第二端子;

将多个可破裂壳 (8) 放置在所述第一和第二蛇形导电体上方,每个壳具有至少部分以导电流体 (20) 填充的内容积;以及

通过将射频信号传送通过由射频识别电路 (64) 交叉的空间容积,询问所述射频识别电路,

其中对通过所述射频识别电路 (64) 的询问的任何响应将具有一频率,如果所述第一和第二蛇形导电体通过从所述多个壳 (8) 中逸出的导电流体 (20) 彼此电耦合,则所述频率是形成的天线的阻抗的函数。

12. 一种钝性撞击指示器设备,其包含:

基底,其包含第一表面和第二表面;

附连到所述基底的所述第一表面的多个射频识别电路;

多个可破裂壳,其包括覆盖相应的射频识别电路的相应组的可破裂壳,每个壳具有布置在所述壳的内容积中的导电流体;和

分别连接到所述多个射频识别电路的多个天线，

其中每个所述天线包括第一导电体和第二导电体，所述第一导电体和第二导电体经配置并被隔开使得在存在从所述多个壳释放的导电流体的情况下，所述第一导电体和第二导电体能够彼此电耦合，

其中每个射频识别电路包括连接到相应天线的所述第一导电体和第二导电体的相应收发器，并且

其中当所述第一导电体和第二导电体通过从所述多个壳逸出的导电流体而彼此电耦合时，由所述收发器发射的任何响应将具有作为所述相应天线的阻抗的函数的频率。

## 钝性撞击指示器方法

### 技术领域

[0001] 本公开大体涉及用于监控和指示对结构高能量撞击的系统和方法。更具体地，本公开涉及用于测量高能量撞击事件的幅度和位置的系统和方法。

### 背景技术

[0002] 当怀疑结构组件损坏时，通常使用无损评价 (NDE) 技术以监控可能损坏的组件的结构完整性。当使用 NDE 技术时，快速确定具体的损坏点可能是困难的，因为可能需要扫描大面积的结构。因而，期望具有能够容易地确定精确的损害位置的技术。

[0003] 在航空工业中，飞行器可以受到来自后勤车和地面保障设备 (诸如，货带式装载机、行李车、飞行器加燃料器、餐饮车、地面动力装置、机场巴士和乘客登机楼梯) 的高能量钝性撞击的影响。响应于已经发生的高能量钝性撞击的任何指示，通常的第一维护程序是执行受撞击区域的无损评价，这足以确定适当的安排，例如，修复飞行器的受损区域。

[0004] 虽然一种通过将撞击带 (包含由有色指示器流体填充的可破裂微球体) 放置在易受这种撞击影响的飞行器结构的表面上而为偶然观察者制造飞行器上高能量钝性撞击的可见指示的方法是众所周知的，然而，在某些情况下表面损害的可见指示可以是不被需要的。

[0005] 用于监控或指示对结构 (诸如，飞行器) 的高能量钝性撞击的现有技术存在改进的余地。

### 发明内容

[0006] 本文公开的主题目的在于使用流体填充的中空微球体以协助监控或指示对结构 (诸如，飞行器) 高能量钝性撞击的系统和方法。多个微球体可以附连至或嵌入施加在基底 (例如，带或附饰物 (appliqué)) 的表面的涂层，基底转而能够附连到将被监控的结构表面。微球体被设计以在一个或多个具体压力阈值下破裂。在一些实施例中，以导电流体填充微球体，如果导电流体从破裂的微球体释放，则其使基底的电磁状态变化。响应于基底的电磁状态的足够大变化的监控，产生钝性撞击指示。撞击部位随后可以经历无损检查。

[0007] 下面详细公开的主题的一个方面是钝性撞击指示器设备，该设备包含：基底，其包含第一和第二表面；和多个可破裂壳，其接近于所述基底的所述第一表面布置，壳具有布置在壳的内容积中的导电流体。壳可以是由介电材料制成的中空微球体。基底可以具有带或附饰物的形式。

[0008] 根据一个实施例，钝性撞击指示器设备进一步包括：第一导电体和第二导电体；和电压源，其连接到第一导电体和第二导电体，其中第一导电体和第二导电体布置在基底的第一表面的一侧上且空间隔开，使得第一导电体和第二导电体通过从多个壳中逸出的导电流体而彼此电耦合且在缺乏来自多个壳的导电流体的情况下，将不会彼此电耦合。可以提供计量器用于测量流过第一导电体的电流的幅度。

[0009] 根据另一个实施例，钝性撞击指示器设备进一步包含：在缺乏导电流体的情况下，

未彼此电耦合的第一导电体和第二导电体；和射频识别电路，其被连接到第一导电体和第二导电体，其中第一导电体和第二导电体布置在基底的第一表面的一侧上，且经配置并被隔开使得在存在从多个壳释放的导电流体的情况下，第一导电体和第二导电体可以彼此电耦合。在该实施例中，射频识别电路可以包含收发器，其耦接到第一导电体和第二导电体；和非易失性存储器，其存储唯一地识别射频识别电路的信息。

[0010] 根据进一步的实施例，钝性撞击指示器设备进一步包含：导电材料的第一层，其布置在基底的第一表面上；导电材料的第二层，其覆盖导电材料的第一层且在所述导电材料的第一层和第二层之间具有空间，多个壳被布置在空间中；和电压源，其连接到导电材料的第一层和第二层，其中导电材料的第一层和第二层空间隔开，使得当导电材料的第一层和第二层由从多个壳中释放的导电流体弄湿 (wetted) 时，导电材料的第一层和第二层将彼此电耦合，且在缺乏来自多个壳的导电流体的情况下，导电材料的第一层和第二层将不会彼此电耦合。

[0011] 下面详细公开的主题的另一个方面是钝性撞击指示器设备，该设备包含：基底；易碎的导电体，其布置在基底上或嵌入基底中并具有第一端子和第二端子；电压源，其连接到易碎的导电体的第一端子和第二端子。可选地，钝性撞击指示器设备进一步包含：多个可破裂壳，其接近基底的表面布置，壳分布在包围易碎的导电体的区域，每个壳具有内容积；导电流体，其被布置在多个壳中的相应壳的内容积中。

[0012] 本文公开的主题的进一步方面是一种用于监控结构的由于钝性撞击而产生的损坏的方法，其包含：将基底附接到结构的表面，基底包含附连到所述基底或嵌入所述基底的多个可破裂壳，每个壳具有内容积，和导电流体，其布置在多个壳中的相应壳的内容积中；以及检测基底的导电率变化。根据一个实施例，检测基底的导电率变化的步骤包含：接近于基底放置线圈；在第一时间间隔和第二时间间隔期间，引起交流电流流过线圈，交流电流的幅度和线圈距离基底的距离被选择，用于在基底中感应涡电流；以及测量在第一时间间隔期间线圈的第一阻抗和在第二时间间隔期间线圈的第二阻抗之间的任何差异。可选地，检测基底的导电率变化进一步包含：确定第一和第二阻抗之间的差异是否大于指定阈值；以及如果第一和第二阻抗之间的差异大于指定阈值，则在线圈接近的结构区域中执行无损检查。

[0013] 又一个方面是一种用于监控结构的由于钝性撞击而产生的损坏的方法，其包含：将基底附接到结构的表面，基底包含多个可破裂壳，其布置为接近基底的表面，每个壳具有内容积，和导电流体，其布置在多个壳中的相应壳的内容积中；以及检测基底的热状态变化，该热状态变化是导电流体从壳中逸出的指示。根据一个实施例，检测基底的热状态变化的步骤包含在不重叠的第一时间间隔和第二时间间隔期间执行以下步骤：(a) 接近于基底放置线圈；(b) 当线圈接近于基底时，引起交流电流流过线圈；(c) 在步骤 (b) 期间由于通过线圈中的交流电流而在导电流体中感应的涡电流，而已经在区域中加热基底之后，移除线圈；和 (d) 在已经移除线圈之后，使用热成像相机获得加热的基底的区域的热图像。优选地，检测基底的热状态变化的步骤进一步包含：比较在第一时间间隔期间获得的第一热图像与在第二时间间隔期间获得的第二热图像。该方法可以进一步包含显示第一和第二热图像之间的图像表示差异。

[0014] 另一个方面是一种用于监控由于钝化撞击而产生的损坏的结构的方法，其包含：

将射频识别电路以及第一和第二蛇形导电体放置在基底上,第一和第二蛇形导电体具有电连接至射频识别电路的相应端子的相应第一端子和彼此未电连接的相应第二端子;将多个可破裂壳放置在第一和第二蛇形导电体上方,每个壳具有至少部分以导电流体填充的内容积;以及通过将射频信号传送通过由射频识别电路交叉的空间容积,询问射频识别电路,其中通过射频识别电路的询问的任何响应将具有一频率,如果第一和第二蛇形导电体通过从多个壳中逸出的导电流体彼此电耦合,则该频率是形成的天线的阻抗的函数。

[0015] 公开的主题的进一步方面是钝性撞击指示器设备,该设备包含:基底,其具有表面;第一多个可破裂壳,其布置为接近基底的表面,第一多个可破裂壳中的每个壳具有内容积;第一流体,其具有第一pH水平,布置在第一多个壳中的相应壳的内容积中;和pH敏感材料的层,其布置邻近第一多个可破裂壳。该钝性撞击指示器设备可以进一步包含:第二多个可破裂壳,其与第一多个可破裂壳混合,第二多个可破裂壳中的每个壳具有内容积;以及第二流体,其具有不同于第一pH水平的第二pH水平,布置在第二多个壳中的相应壳的内容积中。

[0016] 公开的主题的方面进一步包括:

[0017] A1.一种钝性撞击指示器设备,其包含:

[0018] 基底,其包含第一和第二表面;和

[0019] 多个可破裂壳,其布置为接近所述基底的所述第一表面,所述壳具有布置在壳的内容积中的导电流体。

[0020] A2.根据A1所述的钝性撞击指示器设备,其中所述壳是由介电材料制成的中空微球体。

[0021] A3.根据A1-A2中任一项所述的钝性撞击指示器设备,进一步包含:粘合剂的层,其在所述基底的所述第二表面上。

[0022] A4.根据A1-A3中任一项所述的钝性撞击指示器设备,其中所述基底具有带或附饰物的形式。

[0023] A5.根据A1-A4中任一项所述的钝性撞击指示器设备,进一步包含:

[0024] 第一导电体和第二导电体;和

[0025] 电压源,其连接到所述第一导电体和第二导电体,

[0026] 其中所述第一导电体和第二导电体布置在所述基底的所述第一表面的一侧上且空间隔开,使得所述第一导电体和第二导电体通过从所述多个壳中逸出的导电流体将彼此电耦合,且在缺乏来自所述多个壳的导电流体的情况下,将不会彼此电耦合。

[0027] A6.根据A5所述的钝性撞击指示器设备,其中所述第一导电体和第二导电体是蛇形的。

[0028] A7.根据A5-A6中任一项所述的钝性撞击指示器设备,进一步包含:计量器,其用于测量流过所述第一导电体的电流的幅度。

[0029] A8.根据A1-A4中任一项所述的钝性撞击指示器设备,进一步包含:

[0030] 在缺乏导电流体的情况下,彼此未电耦合的第一导电体和第二导电体;和

[0031] 射频识别电路,其被连接到所述第一导电体和第二导电体,

[0032] 其中所述第一导电体和第二导电体被布置在所述基底的所述第一表面的一侧上,且经配置并被隔开使得在存在从所述多个壳中释放的导电流体的情况下,所述第一导电体

和第二导电体可以彼此电耦合。

[0033] A9. 根据A8所述的钝性撞击指示器设备,其中所述射频识别电路包含:收发器,其耦接到所述第一导电体和第二导电体;和非易失性存储器,其存储唯一地识别所述射频识别电路的信息。

[0034] A10. 根据A1-A4中任一项所述的钝性撞击指示器设备,进一步包含:

[0035] 导电材料的第一层,其布置在所述基底的所述第一表面上;

[0036] 导电材料的第二层,其覆盖所述第一层导电材料且在所述导电材料的第一层和第二层之间具有空间,所述多个壳被布置在所述空间中;和

[0037] 第一层和第二层电压源,其被连接至所述导电材料的第一层和第二层,

[0038] 其中所述导电材料的第一层和第二层被空间隔开,使得当所述导电材料的第一层和第二层由从所述多个壳中释放的导电流体弄湿时,所述导电材料的第一层和第二层将彼此电耦合,且在缺乏来自所述多个壳的导电流体的情况下,所述导电材料的第一层和第二层将不会彼此电耦合。

[0039] B1. 一种钝性撞击指示器设备,其包含:

[0040] 基底;

[0041] 易碎的导电体,其布置在所述基底上或嵌入所述基底中并具有第一端子和第二端子;

[0042] 电压源,其连接到所述易碎的导电体的所述第一端子和第二端子;和

[0043] 连续指示器,其连接到所述易碎的导电体。

[0044] B2. 根据B1所述的钝性撞击指示器设备,其中所述易碎的导电体具有蛇形或螺旋形构造。

[0045] B3. 根据B1-B2中任一项所述的钝性撞击指示器设备,进一步包含:

[0046] 多个可破裂壳,其接近所述基底的表面布置,所述壳分布在包围所述易碎的导电体的区域,每个壳具有内容积;和

[0047] 导电流体,其布置在所述多个壳中的相应壳的内容积中。

[0048] C1. 一种用于监控结构的由于钝性撞击而产生的损坏的方法,其包含:

[0049] 将基底附接到结构的表面,基底包含附连到所述基底或嵌入所述基底的多个可破裂壳,每个壳具有内容积,和导电流体,其布置在所述多个壳中的相应壳的内容积中;以及

[0050] 检测基底的导电率的变化。

[0051] C2. 根据C1所述的方法,其中所述检测基底的导电率变化包含:

[0052] 接近于基底放置线圈;

[0053] 在第一时间间隔和第二时间间隔期间,引起交流电流流过线圈,交流电流的幅度和线圈距离基底的距离被选择,用于在基底中感应涡电流;以及

[0054] 测量在所述第一时间间隔期间线圈的第一阻抗和在所述第二时间间隔期间线圈的第二阻抗之间的任何差异。

[0055] C3. 根据C2所述的方法,其中所述检测基底的导电率变化进一步包含:

[0056] 确定所述第一和第二阻抗之间的差异是否大于指定阈值;以及

[0057] 如果所述第一和第二阻抗之间的所述差异大于所述指定阈值,则在线圈接近的结构区域中执行无损检查。



[0058] D1.一种用于监控结构的由于钝性撞击而产生的损坏的方法,其包含:

[0059] 将基底附接到结构的表面,基底包含多个可破裂壳,其布置为接近基底的表面,每个壳具有内容积,和导电流体,其布置在所述多个壳中的相应壳的内容积中;以及

[0060] 检测基底的热状态变化。

[0061] D2.根据D1所述的方法,其中所述检测基底的热状态变化包含在不重叠的第一时间间隔和第二时间间隔期间执行以下步骤:

[0062] (a) 接近于基底放置线圈;

[0063] (b) 当线圈接近于基底时,引起交流电流流过线圈;

[0064] (c) 在步骤(b)期间由于通过线圈中的交流电流而在导电流体中感应的涡电流,而已经在区域中加热基底之后,移除线圈;和

[0065] (d) 在已经移除线圈之后,使用热成像相机获得加热的基底的区域的热图像。

[0066] D3.根据D2所述的方法,其中所述检测基底的热状态变化进一步包含:

[0067] 比较在所述第一时间间隔期间获得的第一热图像与在所述第二时间间隔期间获得的第二热图像。

[0068] D4.根据D3所述的方法,进一步包含:显示所述第一和第二热图像之间的图像表示差异。

[0069] E1.一种用于监控由于钝化撞击而产生的结构损坏的方法,其包含:

[0070] 将射频识别电路以及第一和第二蛇形导电体放置在基底上,第一和第二蛇形导电体具有电连接至射频识别电路的相应端子的相应第一端子和彼此未电连接的相应第二端子;

[0071] 将多个可破裂壳放置在第一和第二蛇形导电体上方,每个壳具有至少部分以导电流体填充的内容积;以及

[0072] 通过将射频信号传送通过由射频识别电路交叉的空间容积,询问射频识别电路,

[0073] 其中通过射频识别电路的询问的任何响应将具有一频率,且如果第一和第二蛇形导电体通过从多个壳中逸出的导电流体彼此电耦合,则所述频率是形成的天线的阻抗的函数。

[0074] F1.一种钝性撞击指示器设备,其包含:

[0075] 基底,其具有表面;

[0076] 第一多个可破裂壳,其布置为接近所述基底的所述表面,所述第一多个可破裂壳中的每个壳具有内容积;

[0077] 第一流体,其具有第一pH水平,其被布置在所述第一多个壳中的相应壳的内容积中;和

[0078] pH敏感材料的层,其被布置邻近所述第一多个可破裂壳。

[0079] F2.根据F1所述的钝性撞击指示器设备,进一步包含:

[0080] 第二多个可破裂壳,其与所述第一多个可破裂壳混合,所述第二多个可破裂壳中的每个壳具有内容积;以及

[0081] 第二流体,其具有不同于所述第一pH水平的第二pH水平,其被布置在所述第二多个壳中的相应壳的内容积中。

[0082] 下面公开和声明用于监控和指示对结构(诸如,飞行器)的高能量钝性撞击的系统

和方法的其它方面。

## 附图说明

[0083] 图1是表示根据一些实施例的包含以导电流体填充的可破裂微球体的钝性撞击指示器带的侧视图的示意图。

[0084] 图2是表示根据替代实施例的一部分钝性撞击指示器带的横截面图的示意图。

[0085] 图3是示出使用探针用于结构的无损检查的装置的组件的框图,该探针包含用于监控由导电流体从分布在表面上或结构的表面层中的中空微球体逸出而引起的磁场扰动的感应线圈。

[0086] 图4是示出使用探针用于结构的无损检查的自动扫描装置的组件的框图,该探针包含用于监控由导电流体从分布在表面上或结构的表面层中的中空微球体逸出而引起的磁场扰动的感应线圈。

[0087] 图5是图示说明使用感应线圈以检测由导电流体从分布在结构的表面层中的中空微球体逸出而引起的磁场扰动的示意图。

[0088] 图6是示出根据替代实施例的用于在包含导电的、流体填充的微球体并在撞击事件前后捕获热图像的结构中产生涡电流的系统的组件的示意图。

[0089] 图7A和图7B是表示根据另一个实施例的钝性撞击指示器系统的顶视图的示意图,该指示器系统包含基底,其涂有以导电流体填充的可破裂微球体;导体,其中当微球体未受损时,导体未电耦合;和电压源。图7A示出当所有微球体未受损时的系统,而图7B示出在一些微球体已经破裂且导电流体已经被释放之后的系统。

[0090] 图8是示出用于提供钝性撞击的水平(即,幅度)和位置的测量而无需使用图7A和图7B中示出的系统的直接可见指示的方法的步骤的流程图。

[0091] 图9是表示根据替代实施例的包含多个无源RFID芯片的钝性撞击指示器的顶视图的示意图。

[0092] 图10是表示包含在图9中描述的钝性撞击指示器的无源RFID芯片类型的顶视图(具有放大的比例)的示意图。

[0093] 图11是示出包含能够读取存储在安装在结构上的有源RFID芯片中的钝性撞击数据的RFID阅读器的系统的组件的框图。

[0094] 图12是表示根据另一个实施例的包含易碎的电导体(例如,导线)的基体(matrix)的钝性撞击指示器的顶视图的示意图。

[0095] 图13是表示图12中描述的钝性撞击指示器的横截面图的示意图。

[0096] 图14是表示钝性撞击指示器的横截面图的示意图,该钝性撞击指示器包含pH敏感纸和以具有将产生颜色变化的pH水平的流体填充的中空微球体,当流体从破裂的微球体释放时,所述颜色变化在正常照明和其它照明(紫外线、红外线等)下可见。

[0097] 图15是表示根据进一步的实施例的一部分钝性撞击指示器带的横截面图的示意图。

[0098] 图16是飞行器生产和使用方法的流程图。

[0099] 图17是示出飞行器的系统的框图。

[0100] 下文将参考附图,其中在不同附图中相同的参考数字表示相同的元件。

## 具体实施方式

[0101] 仅出于说明的目的,现将详细描述采用流体填充的微球体的钝性撞击指示器的各种实施例。这些钝性撞击指示器可以以具有具有粘合底衬(backing)的基底(例如,带或附饰物)的形式而被施加在结构的表面上。微球体可以附连到基底或嵌入到被施加到基底上的涂层中。

[0102] 图1示意性描述前述类型的钝性撞击指示器的第一说明性实施例。该钝性撞击指示器包含基底2,基底2具有通过粘合材料的层4(下文称“粘合层4”)附接到基底2的一个表面并分布在其上的多个中空微球体6。可选地,微球体6由覆盖层52覆盖。

[0103] 基底2可以具有不同形式。在一些情况下,基底2可以具有包含薄塑料材料条的带的形式。在另一些情况下,基底可以具有包含薄塑料材料片的附饰物的形式。如本文所使用的,术语“带”和“附饰物”分别指具有不同宽度范围的基底,其中带的宽度小于附饰物的宽度。带或附饰物能够被切割以适应并附连到结构(例如,飞行器)的表面。

[0104] 替代地,如图2的横截面图所示,微球体6可以被嵌入到被施加在基底2的外表面上的涂层51中。粘合层4附连到基底2的第一表面2a,而粘合底衬10粘合到基底2的第二表面2b。可选地,基底2可以进一步包含在基底2附连到结构的表面(未示出在图1和图2中)之前覆盖和保护粘合底衬10的离型膜(release film)(未示出)。

[0105] 如图2所示,每个微球体6包含壳8,当壳8未受损时,可以限制内容积。每个壳8能够由具有指定爆裂强度的介电材料制造。在一些应用中,壳8可以具有大约相同的爆裂强度。在其他应用中,不同子组的壳8可以具有不同的爆裂强度。

[0106] 仍参考图2,以导电流体20填充(或部分填充)每个壳8的内容积。当钝性撞击指示器被附接到底层结构(未示出在图1和图2中)时,底层结构遭受足够幅度的钝性撞击以引起多个壳8中的至少一些壳破裂,导电流体20中的部分或全部将从破裂的壳中渗出、漏出或以其它方式逸出以在钝性撞击的区域中形成一水坑或其它集合的流体,用于将在下文中描述的目的。

[0107] 如图2所描述的,钝性撞击指示器设备优选地包含多个密堆积的中空微球体6。微球体6的介电壳8可以由玻璃、塑料或陶瓷制造。然而,壳8是球形的并非是本发明所必需的。其它中空结构可以被采用(例如,非球形)。导电流体20可以是任何合适的基流体,包括但不限于可以用其它添加剂(表面活性剂,溶剂,防冻剂等)稀释以满足特定环境的外壳(envelope)的要求的胶体石墨悬浮液(例如,在水中制备的细纯胶体石墨)。

[0108] 导电流体20的释放能够改变钝性撞击的区域中结构的电磁特性。更具体地,当微球体未受损时(在这种情况下,中空微球体内的导电流体的单个容积通过未受损的介电壳彼此隔绝),在导电流体已经从撞击区域中破裂的微球体逸出之后,结构的电磁特性将不同于相同区域的电磁特性。可以用不同方式检测由于钝性撞击而产生的电磁特性的这种改变。

[0109] 图3是示出使用探针80用于结构的无损检查的装置的组件的框图,探针80包含连接到电压源82且连接到检测系统84的感应线圈(未示出在图3中),该检测系统84检测由导电流体从被分布在表面上或在所检查结构的表面层中的中空微球体6逸出而引起的磁场扰动。所检查结构可以是飞行器的一部分(诸如,机身)上的蒙皮。

[0110] 根据一个实施例,探针80被放置接近被检查的区域。随后,打开电压源82。电压源

82以指定频率产生交流电流,其中交流电流流过探针80的感应线圈。所导致的从线圈发出的电磁辐射波转而引起在邻近的任何导体中的感应涡电流(例如,导电流体从在表面上或在被检查的结构的面层中破裂的微球体逸出)。这些涡电流转而产生更多的电磁辐射波,从而分布由驱动感应线圈产生的磁场。

[0111] 仍参考图3,检测系统84可以包含经配置以量化由感应线圈产生的磁场的扰动或变化的电路(即,处理器)。在一个示例中,通过探针80的感抗检测磁场的扰动或变化。检测系统84可以进一步包括显示器以呈现从磁场扰动而产生的感抗变化,使得随着技术人员在被检查的结构的不同部分上方移动探针80时,他或她可以见到这些变化。

[0112] 在图3中描述的示例中,探针80可以通过技术人员执行检查而可移动的手持单元。检测系统84可以是配置硬连接电子电路或被编程以在微球体6已经破裂之后将探针的感抗变化转换为表示参数化数据的电信号的处理器,该参数化数据随后可以与参考参数化数据相比较,该参考参数化数据被存储在存储器中且当微球体6未受损(即,预钝化撞击事件)时在先前被获取。

[0113] 图4示出使用探针用于结构的无损检查的自动扫描装置的组件,该探针包含感应线圈。另外,感应线圈可以用于检测由从先前分布在表面上或结构的表面层中的中空微球体6漏出的导电流体的存在而引起的磁场扰动。在该实施例中,探针80被安装到扫描仪88的臂86的末端执行器。该系统进一步包含控制扫描仪88并接收来自探针80的感抗数据用于呈现在显示屏92上的计算机90。扫描仪88还可以提供探针80的电压源。

[0114] 在图4描述的示例中,计算机90产生指令以在将被检查的区域上方或附近通过扫描仪88引导臂86的运动。电压源通过探针80的感应线圈以指定频率传送交流电流,以产生随着电流的方向交替而增强和减弱的变化磁场。另外,由探针80产生的磁场在由于钝性撞击事件而从微球体6中逸出的导电流体内引起涡电流,其中随着探针80移动接近被检查的区域,涡电流转而引起由探针80产生的磁场的扰动或变化。扫描结构的不同部分的结果可以被呈现在显示屏92上。该显示屏可以具有不同的磁场强度以不同的颜色显示的颜色编码显示屏。

[0115] 探针80可以被设计或被配置以产生具有选定大小和强度的磁场。在一些示例中,由探针80产生的磁场的大小和强度可以基于若干不同参数被配置和选择,诸如,交流电流的频率、探针线圈的尺寸和几何结构以及线圈导线的直径。这些参数和其它参数还可以用于选择或产生具有指定形状的磁场。

[0116] 图5是图示说明使用感应线圈94以产生磁场M1且然后检测由于已经从被检查的区域中的破裂的微球体(未示出)逸出的水坑或其它导电流体96的集合的存在而产生的磁场扰动M<sub>2</sub>的示意图。(图5仅示出未受损的微球体6以避免使一系列导电流体96与破裂的壳的描述混乱)响应于以交流电流驱动线圈94,线圈94产生变化磁场M<sub>1</sub>,该变化磁场M<sub>1</sub>在某一瞬间由图5中的6条下指虚线箭头指示。在导电流体96中感应的涡电流转而产生变化磁场扰动M<sub>2</sub>,该磁场扰动M<sub>2</sub>在相同的某一瞬间由图5中的6条上指虚线箭头指示。随着线圈在被检查的区域上方移动,磁场扰动M<sub>2</sub>将变化。可以使用连接到探针的测量电路检测磁场扰动M<sub>2</sub>。在线圈94的感抗变化中检测扰动。电抗是因为电容和电感电子组件表现出交流电流的通路相反的形式。当交流电流穿过具有阻抗的组件时,能量被交替地存储在磁场或电场中或从其释放。至于磁场,电抗是感应的。

[0117] 图5中描述的感应线圈94可以在上面关于图3和图4描述的任何类型的系统中使用。当导电流体在钝性撞击下分散时,其可以使用感应线圈94来检测。可以通过作为指定压力阈值的函数的爆裂强度来设计微球体6的介电壳。在该情况下,钝性撞击指示器设备能够检测产生超过该阈值的压力的任何钝性撞击。使用感应线圈以检测钝性撞击事件具有以下益处:对于偶然的观察者无钝性撞击事件的指示是可见的。反而,电指示可以被传送到仅维护人员可使用的远程设备,且在被检查的结构是飞行器的情况下,可选地被传送到机组人员。

[0118] 根据替代实施例,线圈94可以是美国专利N0.7312608中描述和说明的类型的手持传导检查装置。

[0119] 图6是示出根据替代实施例的系统的组件的示意图。由该系统实施的测量方法包含在钝性撞击事件前后执行的以下步骤:在包含导电的、流体填充的微球体的结构的区域中产生涡电流;移除涡电流发生器,且随后捕获已经由涡电流加热的区域的热图像。出于说明的目的,图6描述具有(由虚线椭圆形指示的)附饰物96的复合飞行器机身132的一部分的检查,其中中空微球体被附连到或嵌入到其表面上的涂层中。当中空微球体中的导电介质在撞击下分散时,其可以使用高功率射频(RF)线圈134成像以产生足够强的涡电流,从而在局部升高温度,其中使用热成像相机136(例如,红外线相机)给产生的温度升高成像。产生的图像可以显示在被电耦合到数据获取和控制计算机系统138的显示监视器140上,颜色的变化示出钝性撞击的区域。

[0120] 该热成像方法包含放置高功率RF线圈134接近附饰物96且随后激活该线圈以产生电磁场。高功率RF线圈134的激励频率可以在100到400kHz的范围内。该范围已经被发现用于产生穿透复合材料的电磁场。通过改变磁场在传导介质中感应涡电流是众所周知的。例如,可以从线圈和传导介质的相对运动产生变化的磁场;或由于电磁场随时间的变化。施加的电磁场越强,或传导介质的导电率越大,或相对运动速度越大,所开发出的涡电流越大。在图6描述的应用中,根据附饰物96的任何区域是否已经通过钝体使用充足的压力而被撞击从而在撞击区域中使中空微球体劈裂,由变化磁场感应的涡电流将是不同的。因此,撞击区域中的涡电流将强于撞击区域外的涡电流。撞击区域内外的涡电流强度的差异将产生对应的不同程度的加热。可以通过脉冲宽度调制线圈的激励电流,从而允许被控制的加热。

[0121] 该方法进一步包含被加热区域的热成像。更具体地,产生传导介质的热图像以在附饰物96中揭示关于导电介质的电磁状态信息。在图6描述的实施例中,使用热成像相机136产生热图像。在其他的实施例中,可以通过将热成像膜放置在复合组件的表面上而产生热图像。热成像膜是温度敏感的并产生加热区域的光学可视表示。美国专利N0.7,287,902详细描述了这种热成像膜。

[0122] 如图6所示,高功率RF线圈134由可控电压源142驱动。放置功率RF线圈134接近机身132的复合蒙皮表面引起附饰物96中的电流流动和附饰物96的关联局部加热。热成像相机136被定向在具有包围附饰物96的全部或部分的视场的蒙皮表面处,以在已经移除RF线圈134之后允许记录加热的附饰物96的热梯度。数据获取和控制计算机系统138记录来自热成像相机136的数据并提供用于各种热成像技术的可控电压源142,如将在随后更详细描述。

[0123] 对于具有不同成像过程的特定实施例,附饰物96的初始(例如,预钝性撞击事件)

和最终(例如,后钝性撞击事件)图像被捕获。在每种情况下,功率被施加到感应线圈134,且在手控实施例中,检查员/操作员使被检查的区域上方的线圈134成波形。线圈134的期望运动及其具蒙皮表面的距离取决于功率水平、RF频率、线圈134的形状和大小。线圈的电磁场在附饰物96和底层蒙皮的任何导电区域中感应地产生涡电流。在导电材料中产生的涡电流具有足够的强度,以根据局部电路产生热。热成像相机136在钝性撞击事件前后用于给相对加热成像。对于特定实施例,使用通过从最终图像值中减去初始图像值的不同热成像确定相对加热。

[0124] 在图6描述的系统中,热成像相机136包含焦平面阵列红外线相机。由线圈134产生的感应电流构成了激励技术,从而产生揭示相应的成像区域的电磁特性的任何差异的热梯度。能够以脉冲方式产生感应电流加热,以便允许被控制的加热而不会损坏附饰物96的底层结构。此外,(通过同步单元144电耦合到数据获取和控制计算机系统138并到可控电压源142)由热成像相机136捕获的框架能够与供应到线圈134的电流脉冲同步,使得可以在电流被施以脉冲之前获得且然后在电流已经被施以脉冲之后捕获图像。数据获取和控制计算机系统138被编程以控制热成像相机136和电压源142两者以及来自相机的数据的存储。呈现的捕获的热成像数据被提供在显示监视器140上且被存储在存储器中,用于附加处理。

[0125] 在采用自动系统的替代实施例中,感应线圈运动通过使用三轴线定位设备而被完成,其具有沿蒙皮表面的运动,由计算机控制系统控制的线圈激励和热成像用于数据的同步。

[0126] 图7A和图7B是表示根据另一个实施例的钝性撞击指示器系统的顶视图的示意图,该指示器系统包含基底2,其涂有以导电流体填充的可破裂微球体6;一对蛇形导电体12和14,其中当微球体6未受损时,导电体12和14彼此未电耦合(由断开电路16指示);和电压源18(例如,电池)。导电体12和14可以包含导线和嵌入基底2或印在其上的电流路径。图7A示出当所有微球体6未受损且通过导电体12、14的电流是 $I=0$ 时的系统,而图7B示出在一些微球体已经破裂且导电流体已经被释放以形成水坑或导电流体的集合20之后的系统。如果导电水坑或集合20的程度足以使导电体12和14彼此电耦合,则将闭合电压源18的功率端子和接地端子之间的电路。可以通过电流计60(或其它电流检测器)检测到流过完整电路的电流 $I=I_d$ ,电流计60向报警设备62发送报警信号以指示撞击超过由微球体壳强度限定的阈值。

[0127] 根据欧姆定律,当电压源1的8端子两端的电势差(即,端子电压)为常量时,电流 $I_d$ 将反比于完整电路的电阻。该电阻转而直接与完整电路的长度成比例,这意味着电流 $I_d$ 将反比于完整电路的长度。如果导线的位置被映射,则随后能可以据由电流计60检测的电流水平来确定撞击的位置。

[0128] 图8示出使用图7A和图7B中示出的系统用于提供钝性撞击的水平(即,幅度)和位置的测量而无需直接可见指示的过程。当一对导电体连接到电压源的端子且未彼此连接时,感测状态为开(状态22)。出于说明的目的,将假定已经发生撞击(事件24)。该系统的响应将取决于撞击是否超过微球体破裂的阈值,如由图8中的判定块26所指示的。如果微球体未破裂,则随后无通知产生(选项28)且感测状态保持为开(状态22)。相反地,如果微球体已经破裂,则随后中空微球体内的导电流体将分散在撞击部位的周围(事件30)。如果已经分散足够容积的导电流体,则随后导电流体将在形成电压端子的电压源线和接地线之间产生电流路径(事件32)。通过电流检测器检测完整电路(即,回路)中产生的电流(步骤34),电流

检测器输出指示已经发生超过阈值的撞击的信号36。此外,如果导电体(例如,导线)的位置已经被映射且如果电流检测器具有能够检测完整电路中的电流水平的电流计,则随后电流计将向撞击位置处理器输出指示电流水平的信号。撞击位置处理器可以将电流水平输入到查询表中,查询表确定撞击相对于映射导线的位置40(步骤38)。

[0129] 图7A和图7B指示DC电压源18(例如,隔板结构的电池),其具有串联构件以感测电流。撞击使两个蛇形导电体12和14之间的电路完整。否则,不存在电路且不存在感测的电流。由于经由线的交流电流具有比直流电流更小的压降,因此更有效的方法将是接入结构外的一些类型的AC发电机。

[0130] 图9是表示根据替代实施例的钝性撞击指示器的顶视图的示意图。这个钝性撞击指示器根据与图7A和图7B中描述的先前实施例相同的原理工作(即,使微球体破裂以在撞击部位释放导电流体,从而使电路完整),但具有较小的比例。图9中描述的实施例包含附连到基底(即,带或附饰物)的表面并在其上分布的多个无源RFID芯片42a-42d。多个中空微球体6附连至或嵌入基底的表面,其中相应的多个微球体6覆盖相应的RFID芯片42a-42d。响应于产生足以使撞击的微球体破裂的压力的钝性撞击,微球体在撞击部位处将破裂,从而在可以重叠一个或更多个RFID芯片42a-42d的区域中释放导电流体20。

[0131] 如图10所描述的,每个无源RFID芯片42优选地包含连接到一对蛇形导电体12和14的RFID集成电路64,其中在蛇形导电体12和14之间缺乏导电流体的情况下,蛇形导电体12和14彼此未电耦合。响应于导电流体的释放,导电体12和14形成完整电路,从而使这些导电体能够充当与RFID阅读器通讯的天线线圈和用于检测局部区域的感测线圈两者,其中在该局部区域中已经发生撞击超过指定阈值。阈值优选地是微球体8的壳的爆裂强度的函数。

[0132] RFID集成电路64执行以下功能:存储和处理信息、调制和解调射频(RF)信号、从事件阅读器信号收集DC电压源和其它专业功能。当导电体12和14通过导电流体电连接时,其充当用于接收和传送RF信号的天线。独特的RFID标签信息被存储在非易失性存储器中,用于每个RFID芯片。RFID集成电路64包括有线芯片的逻辑或用于处理数据的编程或可编程的数据处理器。

[0133] 虽然图10示出导电体12和14被包含在RFID芯片42内的实施例,但该RFID芯片42也可能具有印在RFID芯片附接到的带或附饰物上的导电体12和14。根据替代实施例的钝性撞击指示器可以使用较少的RFID芯片提供更多覆盖。

[0134] 在从中空微球体8释放导电流体的情况下,导电体12和14将以先前关于图7B描述的方式形成完整电路。另外,在完整电路中流动的电流的幅度将反比于完整电路的长度。RFID集成电路64的响应由释放的导电流体改变。当查询时,由于导电体12和14的不同阻抗,无源RFID芯片42将具有不同的频率响应。当导电体12和14电连接时,可以充当与另一个设备(诸如,RFID阅读器)通讯的天线。由于讨论的撞击情景而产生的阻抗变化将引起可以被感测的天线响应的转移。

[0135] 根据图9中描述的实施例,每个RFID芯片42a-42d具有无源种类的性质。当无源RFID芯片穿过扫描天线的场时,RFID芯片42的导电体12和14(见图10)拾取由扫描天线输出的RF信号且随后返回信号与一些附加数据,诸如,独特的序列号或其它定制的信息。更具体地,蛇形导电体12和14产生电磁场,从而激活其电路,其中RFID芯片从该电磁场中消耗功率。RFID电路64的收发器随后发送在非易失性存储器中编码的并从其中读取的识别信息。

[0136] 替代地,RFID芯片可以具有有源类型的性质,这意味着每个芯片由其自己的电压源(例如,电池)驱动。图11示出包含由电压源18运转的RFID集成电路64和能够接收由RFID集成电路64传送的传感器数据的RFID阅读器66的系统的组件。如先前描述的,当通过RFID集成电路64查询时,附连到撞击区域内的监控结构的RFID芯片将具有不同的频率响应,因为导电体12和14的阻抗变化。当导电体12和14被连接时,可以充当撞击感测线圈和与RFID阅读器66通讯的天线两者。RFID阅读器66根据其功率输出和使用的射频而发射无线电波。当具有释放的导电流体的RF芯片穿过RFID阅读器66的电磁区域时,RFID集成电路64检测阅读器的激活信号。RFID阅读器66解码在RFID集成电路64的非易失性存储器中编码的芯片识别数据且该芯片识别数据(与表示RFID芯片的变化频率响应的日期)被传送到主机,用于处理。在多个RFID芯片被映射在附连到结构的带或附饰物上的情况下,可以处理具有钝性撞击的频率响应指示的任何RFID芯片的识别以确定其位置和撞击区域的程度。

[0137] 图12示意性描述根据替代实施例的钝性撞击指示器。可选地,该指示器系统可以包含具有(以有色流体填充)的多个中空微球体6嵌入其中的层或涂层,出于稍后描述的目的。在图12图示说明的实施例中,由易碎材料(例如,导线)制成的蛇形导电体44布置在基底2(例如,带或附饰物)中或上,该基底转而被施加在被监控的结构表面。在替代实施例中,可以采用具有一些其它几何结构的网格导电体。

[0138] 如图12所示,蛇形导电体44具有分别连接到电压源50的电压端子的一对端子。因而,当蛇形导电体44为完全未受损时,电流通过(串联连接的)导电体48、44和46流过连续指示器49。在一个实施例中,连续指示器49可以如电灯泡或LED那么简单,或更复杂如当由连续指示器的减少而产生电压下降时,处于激活的计算机化程序中。

[0139] 响应于覆盖蛇形导电体44的区域中的钝性撞击,导电体44的一匝或更多匝线圈可以是破损的,在这种情况下电流将停止流过连续指示器49。在该状态下,连续指示器49指示技术人员已经发生钝性撞击事件,但未指示撞击部位的位置或程度。可选地,如果(以有色流体填充的)微球体6在(如由图13中呈现的横截面图所描述的)撞击之前已经分布在由蛇形导电体44占用的区域上,则施加足够压力的任何撞击还将引起一个或更多个微球体6破裂,在这种个情况下释放的有色流体将撞击部位的位置和程度的可见指示提供给技术人员。

[0140] 根据替代实施例,易碎的导电体可以具有附连至结构的基底上的导电网格的形式。在具有足够的力以破坏一些易碎的导电体的队形撞击的情况下,可以单独使用感应线圈或与热成像相机结合使用来检测破坏的区域。

[0141] 图14是表示根据另一个实施例的使用流体填充的微球体的钝性撞击指示器的横截面图的示意图。在这种情况下,该指示器包含:基底2(即,带或附饰物),其附连到被监控的结构表面;多个中空微球体6,其分布在层压到基底2的涂层或层材料(未示出)中;一片pH敏感纸54,其被层压到包含内嵌微球体6的涂层或层;和透明保护层52,其覆盖和保护pH敏感纸54。在一个实施例中,中空微球体6以具有将在pH敏感纸54上产生颜色变化的pH水平的流体填充,其中当流体从破裂的微球体释放时,颜色变化在正常照明或其它照明(紫外线、红外线等)下可见。如果中空微球体6的所有的壳都具有相同的爆裂强度,则随后改变颜色的部分pH敏感纸54将指示在其中施加到撞击上的压力超过了对应于爆裂强度的阈值的区域的位置和程度。根据替代实施例,中空微球体6的壳可以具有不同的爆裂强度且以具有



不同的pH水平的流体填充。例如,具有相对低的的第一多个微球体可以用具有第一pH水平的流体填充,且具有相对高的爆裂强度的第二多个微球体可以用具有不同于第一pH水平的第二pH水平的流体填充。如果指示器遭受足以使第一多个微球体破裂但不足以使第二多个微球体破裂的撞击,则随后仅具有第一pH水平的流体将被释放,从而引起pH敏感纸54从其最初颜色改变颜色为第一颜色。如果指示器遭受足以使第一和第二多个微球体破裂的撞击,则随后具有第一pH水平的流体和具有第二pH水平的流体将被释放,从而引起pH敏感纸54从其最初颜色改变颜色为不同于第一颜色的第二颜色。

[0142] 在一些实施例中,可以通过改变相应多个微球体中壁的厚度来实现微球体壳的抗破裂性(即,爆裂强度)变化。在上面给出的示例中,第一多个微球体的壁厚度可以小于第二多个微球体的壁厚度。在其他的实施例中,可以使用本领域技术人员知晓的替代方法或技术来实现微球体壳的抗破裂性变化。因此,漏出的流体可以标记位置和指示施加到表面的钝性撞击力的幅度两者。

[0143] 对于在不希望钝性撞击指示容易可见的一个特殊要求时的情况下,可以用透明的紫外线或红外线荧光染料填充微球体,其中当释放该透明的紫外线或红外线荧光染料时,该荧光染料肉眼不可见,但能够使用紫外线或红外线光发现。根据另一个实施例,透明的流体被包含在微球体内,其中当透明的流体被释放时,仅当由检查员使用的显影器喷射来化学激活时,该透明的流体变得可见。根据替代实施例,微球体包含至少两种分离流体,当该两种分离流体彼此接触时,可以反应,从而产生显色指示器。

[0144] 图15是表示根据又一个实施例的一部分钝性撞击指示器带的横截面图的示意图。以导电流体填充的多个中空微球体6嵌入介电材料层(未示出),该介电层夹在形成大电容器的一对相互面对的导电层56和58之间。导电层56和58借助电连接器46和48分别电耦合至电压源50的电压端子和至连续指示器49的相应端子。当微球体6保持未受损时,不存在电流从导电层56或58中的一个流至其他的层,因为缺乏分离导电层56和58的空间中的导电流体。相反地,如果在钝性撞击期间劈裂的微球体的数量足以释放足够的导电流体以桥接导电层56和58,则随后电流可以从导电层56或58中的一个流至另一个。电流的流动、钝性撞击的指示将打开连续指示器49。如先前提到的,连续指示器49可以是电灯泡或LED或可以是计算机化程序,其中当电流流过完整电路时,该计算机化程序被激活。

[0145] 根据避免由漫偶然的观察者容易看见的指示的替代实施例,可以以透明的紫外线或红外线荧光染料填充微球体,其中当释放该透明的紫外线或红外线荧光染料,该荧光染料肉眼不可见,但能够使用紫外线或红外线光发现;或它们可以以透明的流体填充,其中当释放透明的流体时,仅当由检查员使用的显影器喷射化学激活时,该透明的流体变得可见。

[0146] 根据进一步的替代实施例,可以用至少两种液体填充微球体,该两种液体在微球体破裂之前分离且随后当开始彼此接触时,彼此反应,从而产生显色(即,可见)指示器。

[0147] 上述公开的系统和方法中的每个可以在如图16所示的飞行器加工和使用方法100中采用,用于监控和指示对如图17所示的飞行器102的高能量钝性撞击。在预生产期间,示例性方法100可以包括飞行器102的规格和设计104以及材料采购106。在生产期间,发生飞行器102的组件和子配件制造108和系统集成110。此后,飞行器102经历校验和交付112,以便投入使用114。当顾客使用时,飞行器102被安排日常维修和维护116(这也可以包括修改、重新配置、翻新等)。

[0148] 方法100的每个过程可以由系统集成商、第三方和/或操作者(例如,顾客)来执行或实施。为了本描述的目的,系统集成商可以包括不限于任何数量的飞行器制造商和主系统分包商;第三方可以包括不限于任何数量的销售商、分包商和供应商;并且操作者可以是航空公司、租赁公司、军事实体、服务组织等。

[0149] 如图17所示,由示例性方法100生产的飞行器102可以包括具有多个系统120的机身118和内部122。高水平系统120的示例包括以下一个或更多个:推进系统124、电气系统126、液压系统128和环境系统130中的一个或更多个。可以包括任何数量的其它系统。

[0150] 本文呈现的系统和方法在飞行器生产和使用方法100或更多个阶段期间可以被使用。另外,一个或更多个系统实施例、方法实施例或其组合可以在生产阶段108和110期间被利用,例如,通过提供在装配飞行器102的过程期间对工件高能量钝性撞击的幅度和位置的测量。类似地,当飞行器102投入使用时,系统实施例、方法实施例或其组合中的一个或更多个可以被利用,例如但不限于维修和维护116。

[0151] 虽然已经参考各种实施例描述系统和方法,但本领用户技术人员应当理解可以做出各种变化且等同物可以替代其元件,而不脱离本文的教导。此外,可以做出许多修改以适应概念和减少,以在本文公开的特定情形下实践。因此,由权利要求覆盖的主题的意图不限于所公开的实施例。

[0152] 下文中阐明的方法和权利要求不应当被构造为要求以字母顺序(权利要求中单独使用的任何字母顺序)或以它们被引用的顺序执行在其中引用的步骤。它们也不应当被构造为排除同时或交替执行的两个或更多个步骤中的任何部分。

[0153] 如在权利要求中使用的,与微球体有关的短语“布置为接近基底的表面”应当被构造以包含至少以下种类:(1)将微球体附接到表面;和(2)将微球体嵌入施加在表面上的涂层中。

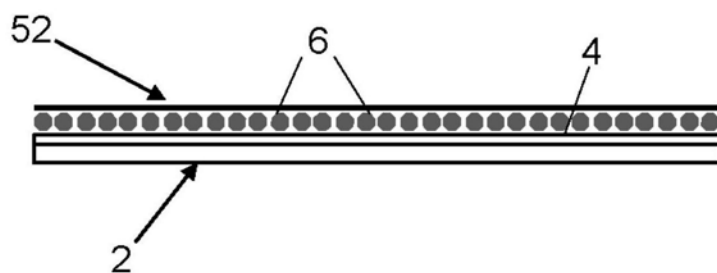


图1

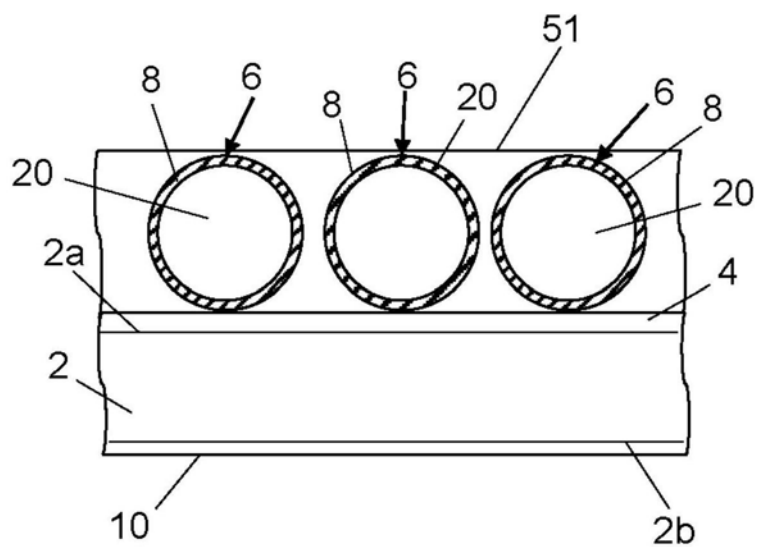


图2

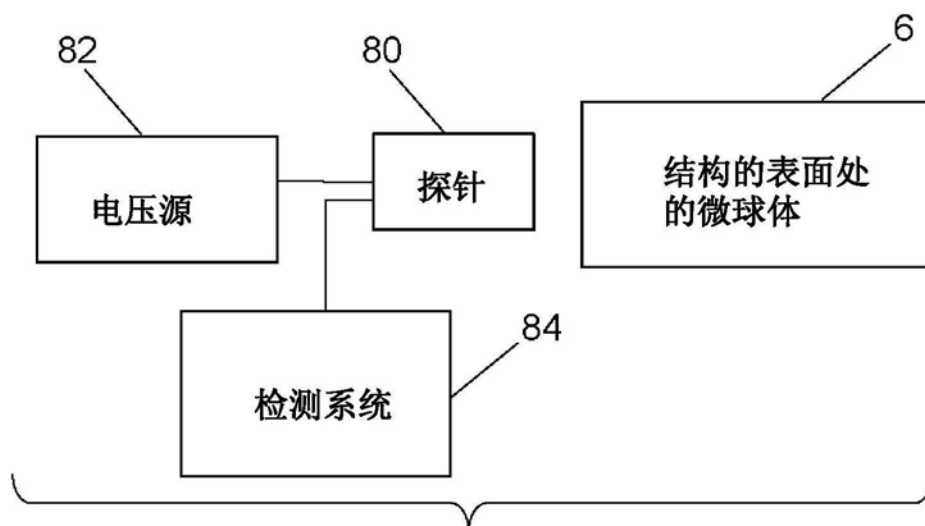


图3

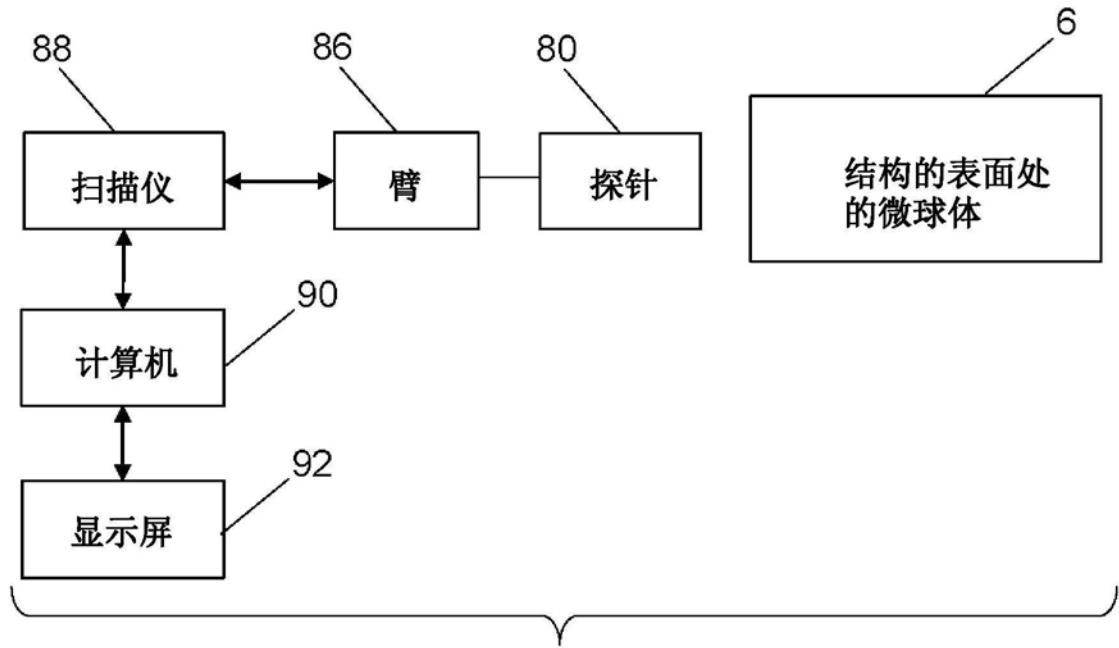


图4

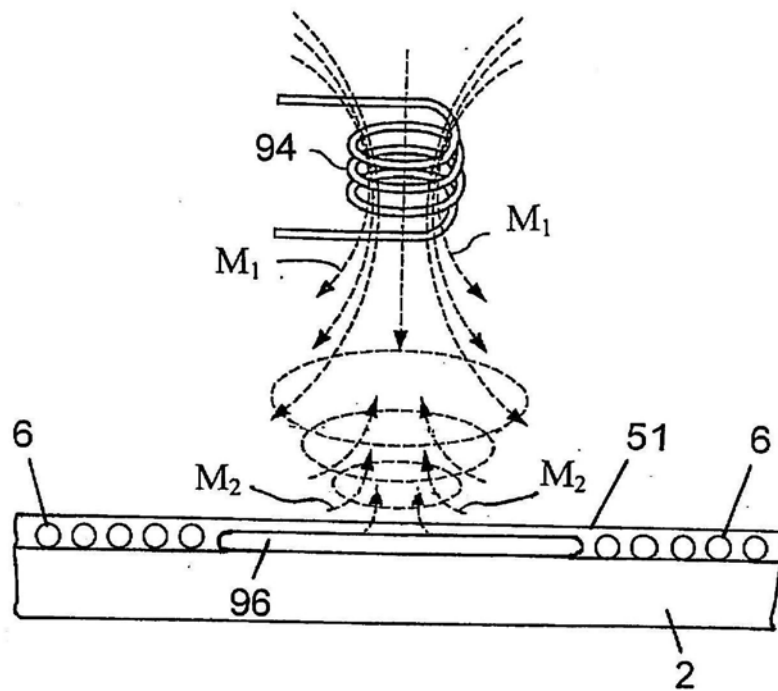


图5

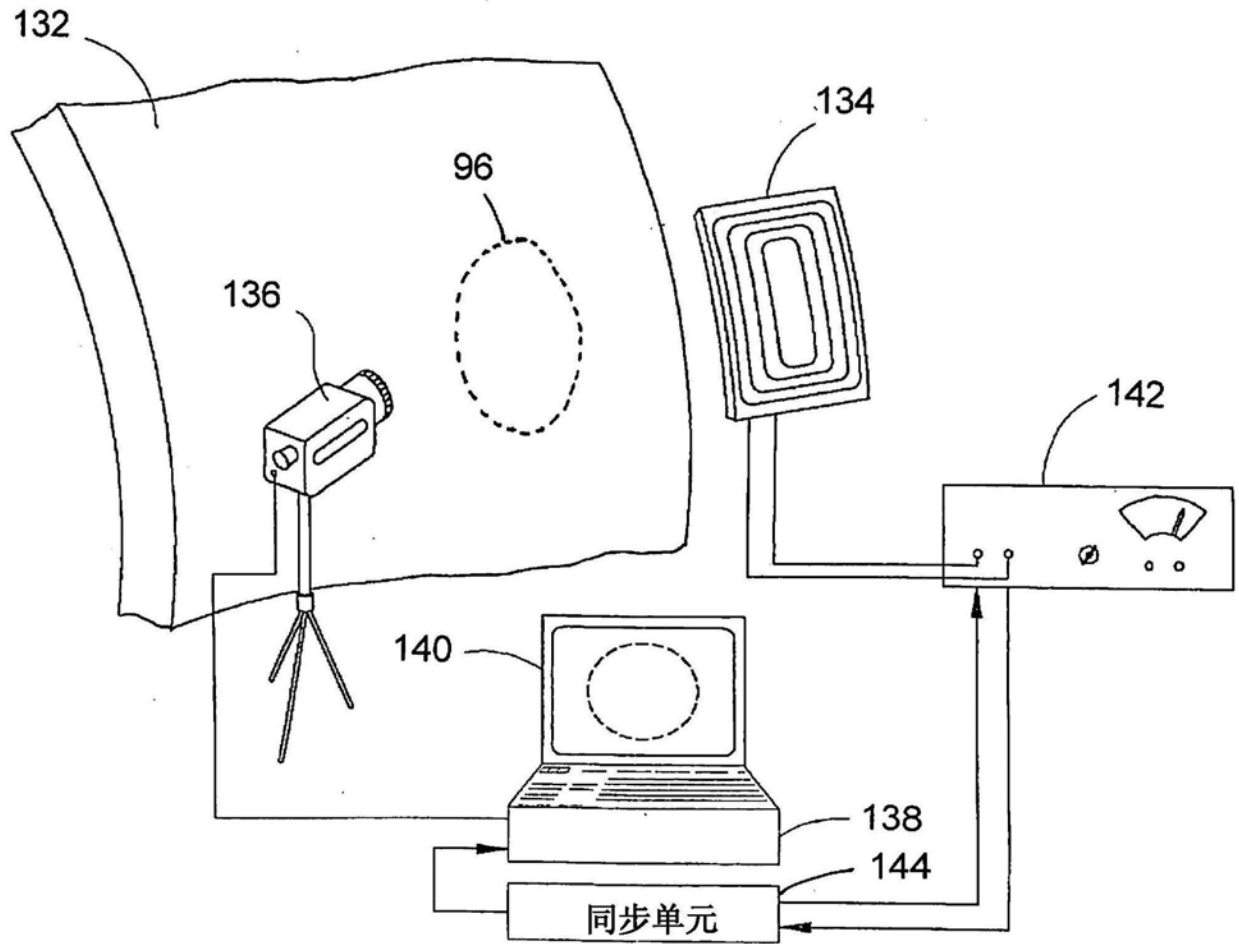


图6

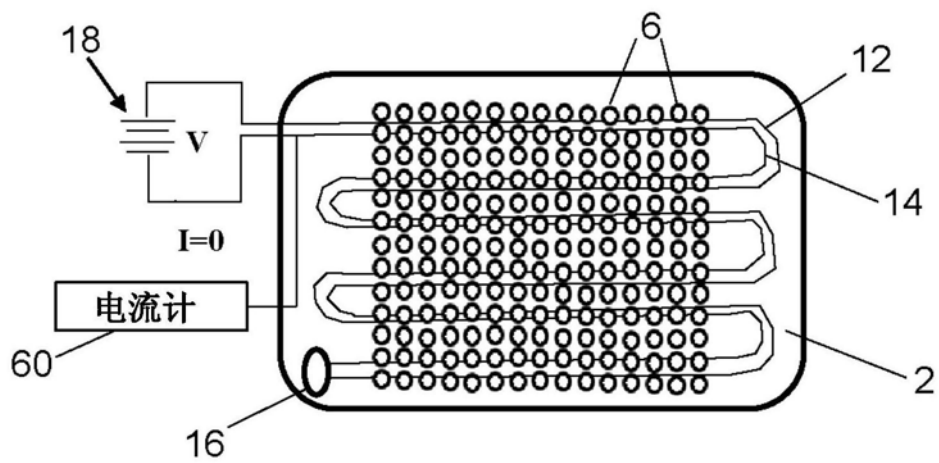


图7A

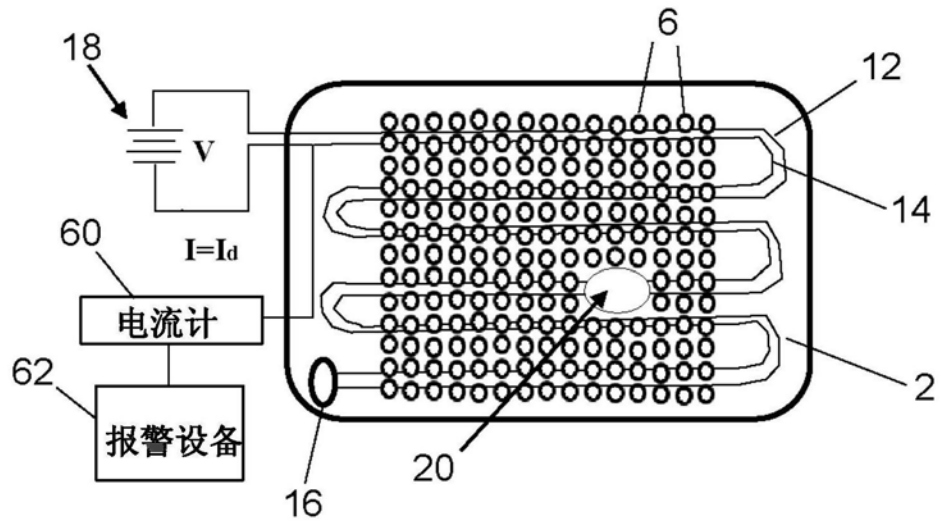


图7B

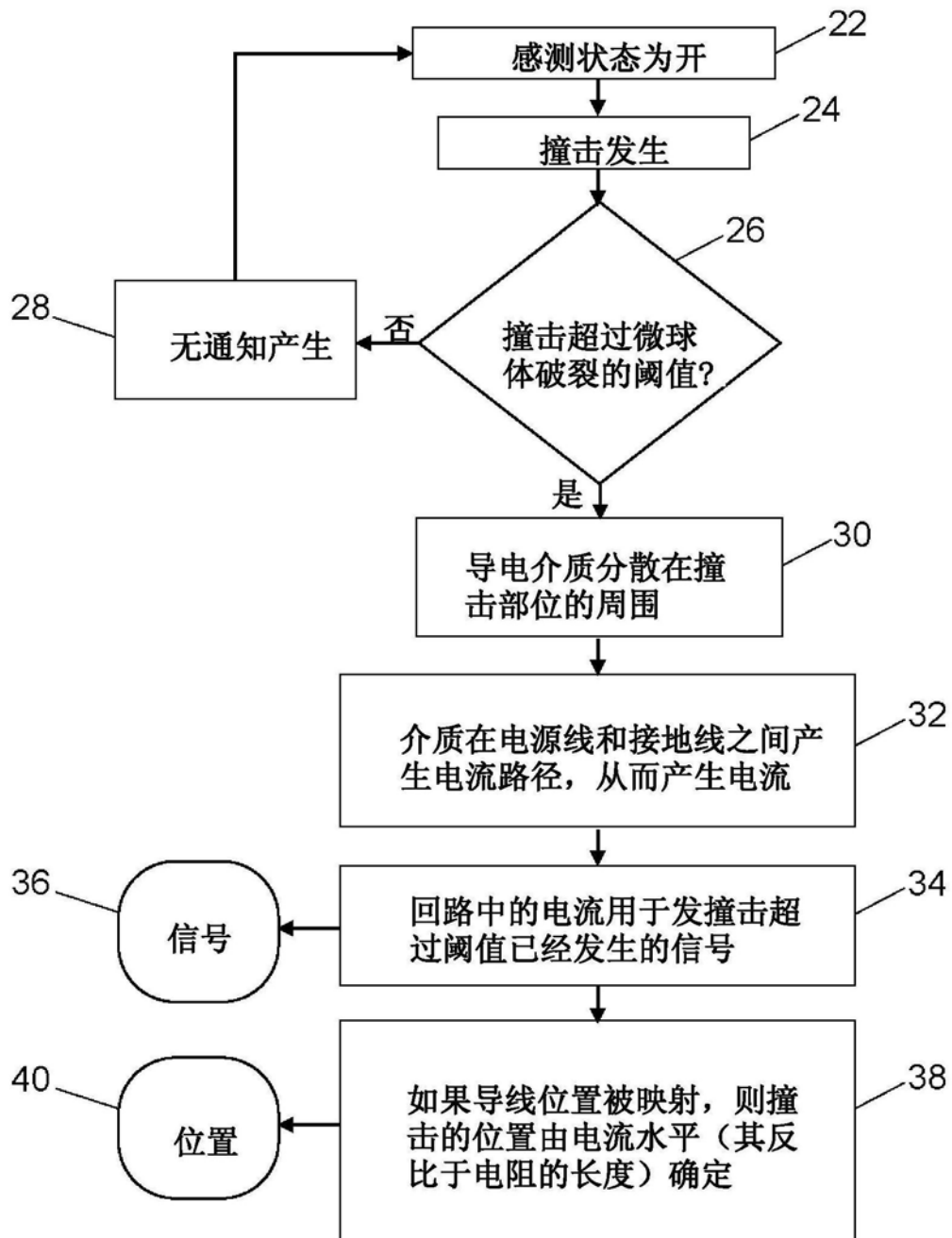


图8

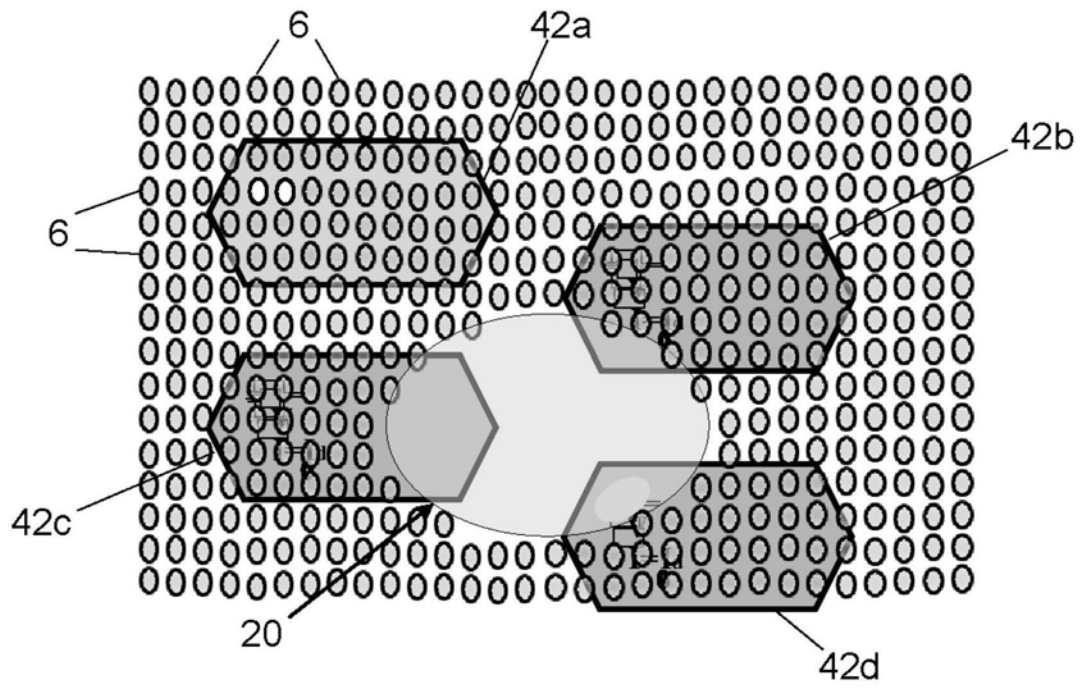


图9

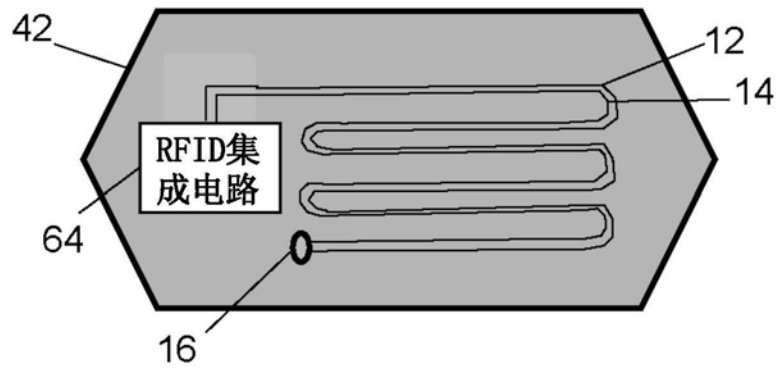


图10



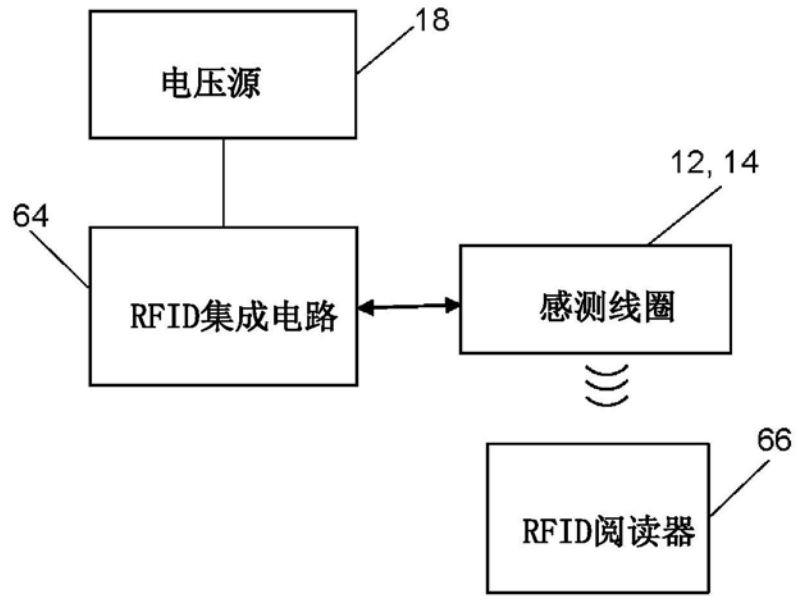


图11

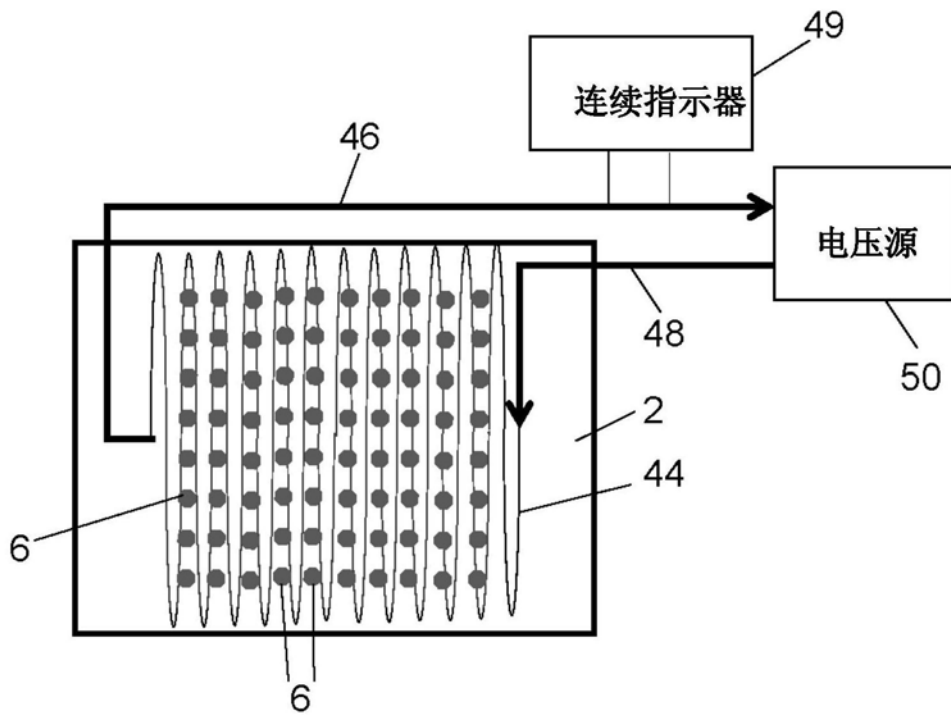


图12



图13

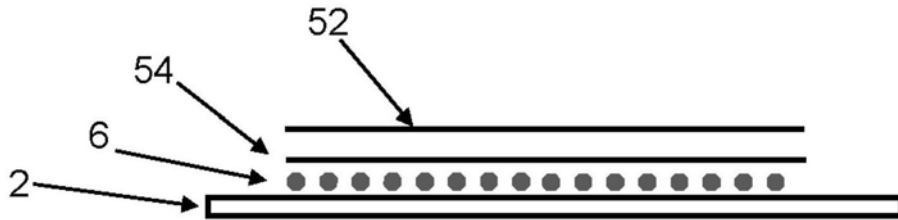


图14

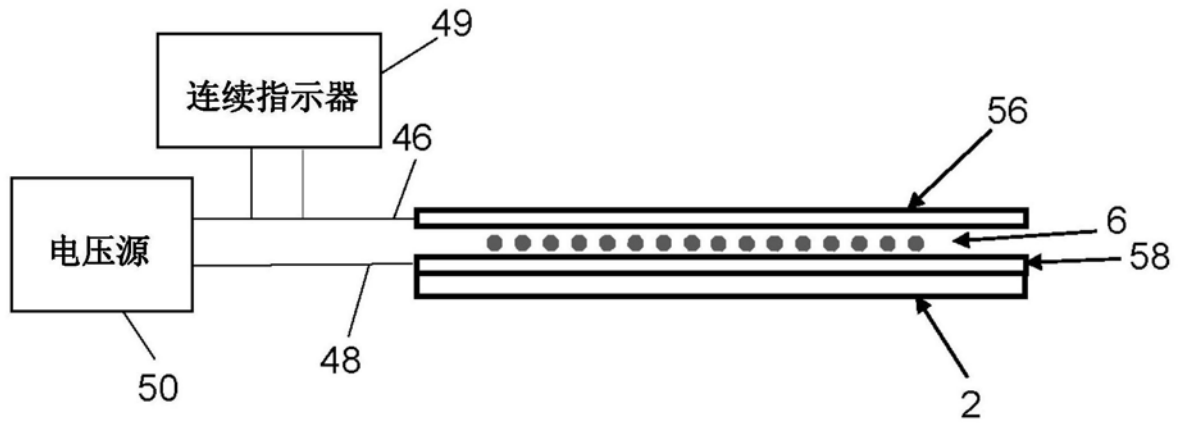


图15

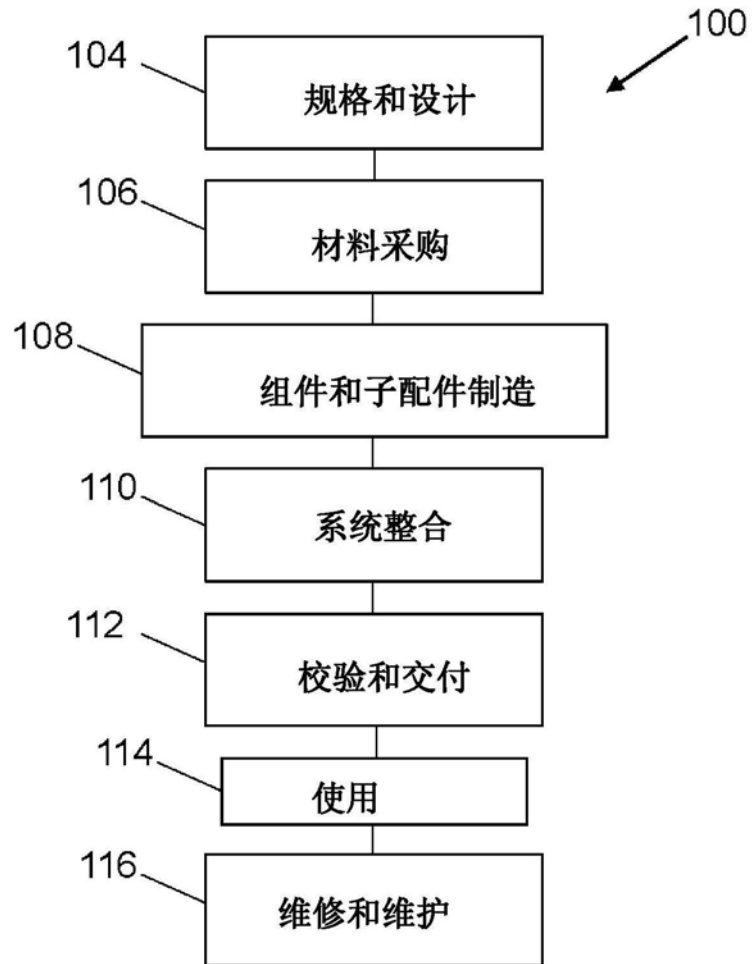


图16

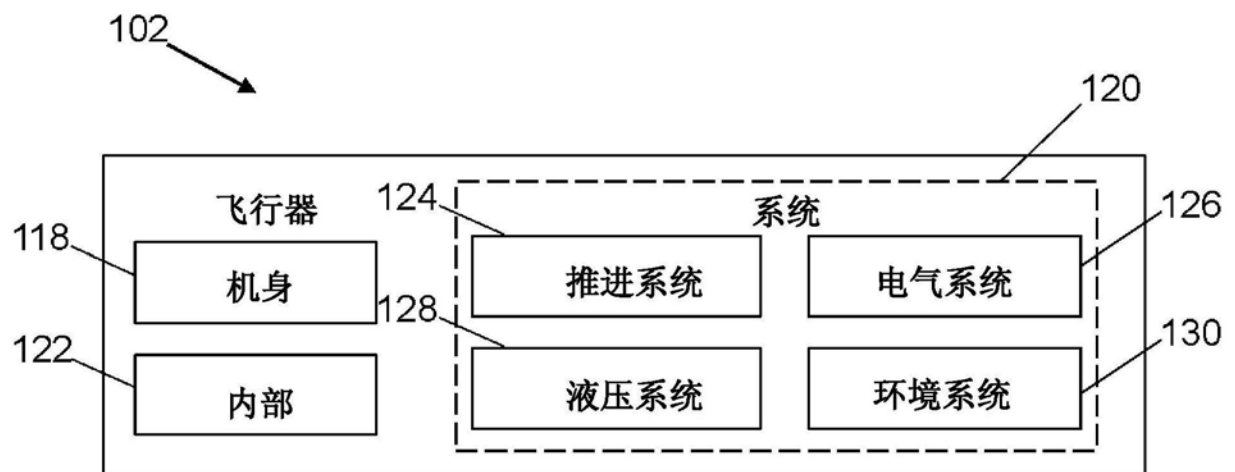


图17