



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107957232 B

(45) 授权公告日 2021.01.08

(21) 申请号 201710846359.4

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2017.09.19

G01B 7/14 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107957232 A

(56) 对比文件

CN 105403137 A, 2016.03.16

(43) 申请公布日 2018.04.24

CN 105091728 A, 2015.11.25

(30) 优先权数据

CN 101672659 A, 2010.03.17

15/295,628 2016.10.17 US

US 2005011866 A1, 2005.01.20

(73) 专利权人 波音公司

审查员 郑俊

地址 美国伊利诺伊州

(72) 发明人 M·萨法伊 M·麦奎因

(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 赵志刚 赵蓉民

权利要求书6页 说明书38页 附图5页

(54) 发明名称

三维间隙测量系统和方法

(57) 摘要

本申请公开一种三维间隙测量系统和方法。

电子测隙规(110)包括传感器叶片(112)、传输系统(120)和接收系统(124)。传感器叶片(112)包括传输感应线圈(114)、接收感应线圈(116)和围绕传感器叶片(112)在二维中间隔的测量位点(118)。测量位点(118)中的每一个与传输感应线圈(114)中的至少一个和接收感应线圈(116)中的至少一个相关联。传输系统(120)被配置为驱动直流电流(128)穿过传输感应线圈(114)，以从传输感应线圈(114)产生传输的探测信号(122)。接收系统(124)被配置为由于所传输的探测信号(122)而从接收感应线圈(116)接收响应信号(126)。

B

CN 107957232

1. 一种电子测隙规(110),其包括:

传感器叶片(112),所述传感器叶片包括传输感应线圈(114)、接收感应线圈(116)和围绕所述传感器叶片(112)在二维中间隔的测量位点(118),其中所述测量位点(118)中的每一个与所述传输感应线圈(114)中的至少一个和所述接收感应线圈(116)中的至少一个相关联;

传输系统(120),其被配置为驱动直流电流(128)穿过所述传输感应线圈(114),以从所述传输感应线圈(114)产生传输的探测信号(122);以及

接收系统(124),其被配置为由于所述传输的探测信号(122)而从所述接收感应线圈(116)接收响应信号(126)。

2. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),其中所述传输系统(120)包括电流源(182),其被配置为产生被驱动穿过所述传输感应线圈(114)的所述直流电流(128)。

3. 根据权利要求1或2所述的电子测隙规(110),其中所述传输的探测信号(122)是稳态磁场。

4. 根据权利要求1或2所述的电子测隙规(110),其中所述接收系统(124)被配置为基于所述响应信号(126)产生分隔距离信号(132),

其中所述分隔距离信号(132)与第一工件(136)的第一表面(140)和第二工件(138)的第二表面(142)之间的所述传感器叶片(112)的所述测量位点(118)处的分隔距离(134)有关,

其中当所述测量位点(118)中的至少一个位于由所述第一表面(140)和所述第二表面(142)限定的间隙(144)内时,所述接收系统(124)被配置为接收所述响应信号(126)。

5. 根据权利要求1或2所述的电子测隙规(110),其中所述传输感应线圈(114)中的每一个由所述传输系统(120)单独地电寻址。

6. 根据权利要求1或2所述的电子测隙规(110),其中所述传输系统(120)包括解复用器(180),以在与所述传输的探测信号(122)中的另一个不同的时间产生所述传输的探测信号(122)中的一个。

7. 根据权利要求1或2所述的电子测隙规(110),其中,所述接收系统(124)包括复用器(190),以在与所述响应信号(126)中的另一个不同的时间接收所述响应信号(126)中的一个。

8. 根据权利要求1或2所述的电子测隙规(110),其中在所述传感器叶片(112)中,所述接收感应线圈(116)与所述传输感应线圈(114)相互交叉。

9. 根据权利要求1或2所述的电子测隙规(110),其中所述接收感应线圈(116)中的至少一个和所述传输感应线圈(114)中的至少一个在重叠区域(148)中重叠,并且由所述重叠区域(148)中的一个或更多个电介质层(150)分开。

10. 根据权利要求1或2所述的电子测隙规(110),其中所述传输感应线圈(114)和所述接收感应线圈(116)由一个或更多个电介质层(150)分开,并且

其中所述传输感应线圈(114)和所述接收感应线圈(116)在所述一个或更多个电介质层(150)中的单个电介质层的相对侧面上形成。

11. 根据权利要求1或2所述的电子测隙规(110),其中所述传输感应线圈(114)包括石墨烯。

12. 根据权利要求1或2所述的电子测隙规(110),其中所述传感器叶片(112)包括覆盖所述传输感应线圈(114)和所述接收感应线圈(116)的外部保护层(152)。

13. 根据权利要求1或2所述的电子测隙规(110),其中所述传输感应线圈(114)中的每一个具有小于1平方厘米且大于100平方微米的侧面面积。

14. 根据权利要求1或2所述的电子测隙规(110),其中所述传感器叶片(112)具有至少1000个所述测量位点(118),其密度大于每平方厘米单个所述测量位点(118)且小于每平方厘米1,000,000个所述测量位点(118)。

15. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),进一步包括操作地耦合到所述接收系统的计算系统,其中所述计算系统被配置为基于所述响应信号和所述测量位点,产生所述传感器叶片探测的间隙的3D虚拟模型。

16. 根据权利要求15所述的电子测隙规(110),其中所述计算系统被配置为通过将候选垫片的尺寸与所述间隙的3D虚拟模型进行比较来识别要插入到所述间隙中的合适的垫片。

17. 根据权利要求15所述的电子测隙规(110),其中所述计算系统包括显示器并且被配置为利用所述显示器呈现所述间隙的3D虚拟模型的图像。

18. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),进一步包括操作地耦合到所述接收系统的计算系统,其中所述计算系统被配置为基于所述响应信号确定分隔距离,其中所述分隔距离在第一工件的第一表面和第二工件的第二表面之间的所述传感器叶片的所述测量位点处。

19. 根据权利要求18所述的电子测隙规(110),其中所述计算系统被配置为通过将候选垫片的尺寸与所述测量位点处的分隔距离进行比较来识别要插入到所述传感器叶片探测的间隙中的合适的垫片。

20. 根据权利要求18所述的电子测隙规(110),其中所述计算系统包括显示器并且被配置为在所述显示器上的所述测量位点处显示所述分隔距离的图像。

21. 根据权利要求18所述的电子测隙规(110),其中所述计算系统和所述接收系统被配置为无线地通信。

22. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),进一步包括操作地耦合到所述接收系统的计算系统,其中所述传感器叶片、所述传输系统和所述接收系统是手持式探针的部分,并且所述计算系统被配置为向所述手持式探针无线地供电。

23. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),其中所述接收系统被配置为基于所述响应信号生成分隔距离信号,其中所述分隔距离信号与在第一工件的第一表面和第二工件的第二表面之间的所述传感器叶片的所述测量位点处的分隔距离相关。

24. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),其中所述传输系统被配置为通过时分复用来复用所传输的探测信号。

25. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),其中所述接收系统被配置为接收至少一个所述响应信号用于所述接收感应线圈中的每个。

26. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),其中所述接收感应线圈中的每个由所述接收系统单独地电寻址。

27. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),其中所述接收系统被配置为通过时分复用来复用所述响应信号。

28. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),其中所述传输感应线圈和所述接收感应线圈的数量相同。

29. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),其中所述接收感应线圈散布在所述传感器叶片中的所述传输感应线圈之间。

30. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),其中在所述传感器叶片中,所述接收感应线圈中的至少一个重叠所述传输感应线圈中的至少一个。

31. 根据权利要求30所述的电子测隙规(110),其中在所述传感器叶片中,所述接收感应线圈中的每个重叠所述传输感应线圈中的至少一个。

32. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),其中所述传输感应线圈和所述接收感应线圈由一个或更多电介质层分隔。

33. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),其中所述传输感应线圈和所述接收感应线圈位于所述传感器叶片中的不同层中。

34. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),其中所述接收感应线圈包括石墨烯。

35. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),其中所述传输感应线圈是螺旋平面电感器。

36. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),其中所述接收感应线圈是螺旋平面电感器。

37. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),其中所述接收感应线圈中的每个具有小于1平方厘米且大于100平方微米的侧面面积。

38. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),其中所述传感器叶片具有小于0.5mm并且大于0.001mm的厚度。

39. 根据权利要求1所述的电子测隙规(110),进一步包括操作地耦合到所述接收系统的计算系统。

40. 一种测量间隙(144)内的分隔距离(134)的方法(400),所述方法包括:

将传感器叶片(112)插入由第一表面(140)和第二表面(142)限定的所述间隙(144)中,其中:

所述传感器叶片(112)包括围绕所述传感器叶片(112)在二维中间隔的传输感应线圈(114)、接收感应线圈(116)和测量位点(118);以及

所述测量位点(118)中的每一个与所述传输感应线圈(114)中的至少一个和所述接收感应线圈(116)中的至少一个相关联;

通过驱动直流电流穿过所述传输感应线圈,从所述传输感应线圈(114)产生传输的探测信号(122);

响应于所述传输的探测信号(122),用所述接收感应线圈(116)接收响应信号(126);以及

基于所述响应信号(126)确定所述测量位点(118)处的所述第一表面(140)和所述第二表面(142)之间的所述分隔距离(134)。

41. 根据权利要求40所述的方法,其中基于所述响应信号确定所述测量位点处的所述第一表面和所述第二表面之间的所述分隔距离包括确定所述响应信号中每个的幅度测量,所述幅度测量选自由振幅、强度、能量和功率组成的组,所述分隔距离中的每一个与所述测

量位点中对应的一个相关联,并且所述分隔距离与所述接收感应线圈的响应信号的幅度测量有关,与所述测量位点中对应的一个相关联。

42.根据权利要求40所述的方法,还包括基于所述测量位点处的所述分隔距离,产生所述间隙的3D虚拟模型。

43.根据权利要求42所述的方法,还包括基于所述间隙的3D虚拟模型,选择一个或更多合适的垫片以适配所述间隙。

44.根据权利要求42所述的方法,还包括通过将候选垫片的尺寸与所述间隙的3D虚拟模型进行比较来识别合适的垫片以适配所述间隙。

45.根据权利要求42所述的方法,还包括基于所述间隙的3D虚拟模型,形成一个或更多合适的垫片以适配所述间隙。

46.根据权利要求40所述的方法,其中产生所述传输的探测信号包括:

从一个或更多所述传输感应线圈产生所述传输的探测信号中的第一个,其与所述测量位点中的第一个关联;以及

从一个或更多所述传输感应线圈产生所述传输的探测信号中的第二个,其与所述测量位点中的第二个关联;

响应于所述传输的探测信号,用所述接收感应线圈接收所述响应信号包括:

响应于所述传输的探测信号中的第一个,用一个或更多所述接收感应线圈接收所述响应信号中的第一个;以及

响应于所述传输的探测信号中的第二个,用一个或更多所述接收感应线圈接收所述响应信号中的第二个;以及

基于所述响应信号确定所述测量位点处的所述第一表面和所述第二表面之间的所述分隔距离包括:

基于所述响应信号中的第一个,确定所述测量位点中第一个处的所述第一表面和所述第二表面之间的所述分隔距离中的第一个;以及

基于所述响应信号中的第二个,确定所述测量位点中第二个处的所述第一表面和所述第二表面之间的所述分隔距离中的第二个。

47.根据权利要求40所述的方法,还包括基于与至少一个所述测量位点关联的来自一个或更多所述接收感应线圈的所述响应信号,识别在所述间隙之外的至少一个所述测量位点。

48.根据权利要求40所述的方法,还包括基于所述测量位点处的所述分隔距离,选择一个或更多合适的垫片以适配所述间隙。

49.根据权利要求40所述的方法,还包括基于所述测量位点处的所述分隔距离,显示所述间隙的图像。

50.根据权利要求40所述的方法,其中所述间隙是具有在所述第一表面和所述第二表面之间的已知厚度分布的校准间隙,所述方法还包括通过基于所述响应信号产生分隔距离信号以及比较所述分隔距离信号和所述已知厚度分布来产生用于所述测量位点的校准系数,来校准电子测隙规,所述电子测隙规包括所述传感器叶片;以及基于所述响应信号确定所述测量位点处的所述第一表面和所述第二表面之间的所述分隔距离包括基于所述响应信号和所述校准系数确定所述分隔距离。

51. 根据权利要求50所述的方法,其中比较所述分隔距离信号和所述已知厚度分布来产生用于所述测量位点的校准系数包括确定所述测量位点处的校准的分隔距离。

52. 根据权利要求51所述的方法,其中比较所述分隔距离信号和所述已知厚度分布来产生用于所述测量位点的校准系数包括确定用于所述测量位点中每个的一个或更多校准系数,以将所述分隔距离信号数学上变换为校准的分隔距离。

53. 根据权利要求52所述的方法,其中比较所述分隔距离信号和所述已知厚度分布来产生用于所述测量位点的校准系数包括确定用于所述测量位点中每个的一个或更多校准系数,以将所述分隔距离信号线性变换为校准的分隔距离。

54. 根据权利要求51所述的方法,还包括根据所述校准系数调整来自所述传输感应线圈的各个所述传输的探测信号,以产生经校准的传输的探测信号。

55. 根据权利要求54所述的方法,还包括利用所述校准间隙中的所述传感器叶片产生所述经校准的传输的探测信号;响应于所述经校准的传输的探测信号,利用所述接收感应线圈接收校准的响应信号;基于所述校准的响应信号确定所述测量位点处的所述第一表面和所述第二表面之间的校准的分隔距离;以及验证所述校准的分隔距离与所述已知厚度分布匹配。

56. 根据权利要求50所述的方法,还包括根据所述校准系数调整所述分隔距离信号,以产生匹配所述已知厚度分布的经校准的分隔距离。

57. 根据权利要求40所述的方法,其中从所述传输感应线圈产生所述传输的探测信号包括驱动直流电流穿过所述传输感应线圈,以产生所述传输的探测信号。

58. 根据权利要求57所述的方法,其中所述传输的探测信号是稳态磁场。

59. 根据权利要求40所述的方法,其中从所述传输感应线圈产生所述传输的探测信号包括驱动调制信号穿过所述传输感应线圈,以产生所述传输的探测信号。

60. 根据权利要求59所述的方法,其中所述传输的探测信号是静态交变电磁场。

61. 根据权利要求59所述的方法,其中从所述传输感应线圈产生所述传输的探测信号包括将调制信号频分复用到所述传输感应线圈。

62. 根据权利要求59所述的方法,其中从所述传输感应线圈产生所述传输的探测信号包括在不同频率处产生传输的探测信号。

63. 根据权利要求59所述的方法,其中从所述传输感应线圈产生所述传输的探测信号包括在公共频率处产生传输的探测信号。

64. 根据权利要求59所述的方法,其中响应于所述传输的探测信号,用所述接收感应线圈接收所述响应信号包括将来自所述接收感应线圈的响应信号频分复用。

65. 根据权利要求59所述的方法,其中响应于所述传输的探测信号,用所述接收感应线圈接收所述响应信号包括接收不同频率处的响应信号。

66. 根据权利要求59所述的方法,其中响应于所述传输的探测信号,用所述接收感应线圈接收所述响应信号包括接收公共频率处的响应信号。

67. 根据权利要求40所述的方法,其中从所述传输感应线圈产生所述传输的探测信号包括产生包括载波频率处的载波的传输的探测信号;响应于所述传输的探测信号,用所述接收感应线圈接收所述响应信号包括接收包括在所述载波频率处的主信号的响应信号;以及基于所述响应信号确定所述测量位点处的所述第一表面和所述第二表面之间的所述分

隔距离包括确定所述主信号相对于所述载波的相对振幅、相对调制以及相位移中的至少一个。

三维间隙测量系统和方法

技术领域

[0001] 本公开涉及三维(3D)间隙测量系统和方法。

背景技术

[0002] 飞行器组件包括以精确的关系接合复杂的大型部件,这通常是有必要的以有效地传递这些部件之间的力。例如,机翼和部分的尾翼(例如,垂直稳定器、水平稳定器)可预先组装,然后使用承载接头(load-bearing joint)将其后附接到机身的相应节段。

[0003] 为了实现配合的飞行器部件之间的适当适配,当将零件接合在一起时,通常使用垫片(也称为填充物)。垫片用于占据接合的零件之间的间隙(或空隙)。在许多情况下,这种间隙或空隙被特别地设计在该结构中,作为示例,以便于组装期间部件的定位和对准。在组装期间使用垫片填充间隙改善配合的部件之间的适配。

[0004] 在许多情况下,间隙用相对均匀的尺寸建模。然而,在其他情况下,穿过和沿着间隙的测量可以是不均匀的。在这种情况下,垫片通常是定制尺寸的以精确填充间隙,和/或需要专门的安装程序。测量不均匀的间隙,准备适当的垫片,以及正确安装这种垫片是增加制造周期的耗时且繁重的过程。

发明内容

[0005] 因此,旨在至少解决上述问题的设备和方法将会发挥效用。

[0006] 下文是根据本发明的主题的可要求保护或可不要求保护的示例的非穷举列表。

[0007] 根据本发明的主题的一个示例涉及一种电子测隙规,其包括传感器叶片、传输系统和接收系统。传感器叶片包括传输感应线圈、接收感应线圈和围绕传感器叶片在二维中间隔的测量位点。测量位点中的每一个与传输感应线圈中的至少一个和接收感应线圈中的至少一个相关联。传输系统被配置为驱动直流电流穿过传输感应线圈,以从传输感应线圈产生传输的探测信号(probe signal)。接收系统被配置为由于所传输的探测信号而从接收感应线圈接收到响应信号。

[0008] 根据本发明的主题的另一个示例涉及一种电子测隙规,其包括传感器叶片、传输系统和接收系统。传感器叶片包括传输感应线圈、接收感应线圈和围绕传感器叶片分隔开的测量位点。测量位点中的每一个与传输感应线圈中的至少一个和接收感应线圈中的至少一个相关联。传输系统被配置为驱动调制信号穿过传输感应线圈,以从传输感应线圈产生传输的探测信号。接收系统被配置为由于所传输的探测信号而从接收感应线圈接收到响应信号。

[0009] 如上述示例中任一项所述的电子测隙规的使用允许在三维中测量(第一工件的)第一表面和(第二工件的)第二表面之间的间隙。使用至少部分地在间隙内的传感器叶片,(围绕传感器叶片在二维中间隔的)测量位点被配置为测量相应的测量位点处的第一表面和第二表面之间的分隔距离。测量位点通常穿过传感器叶片形成二维阵列。

[0010] 可测量(二维间隔的)测量位点中的每一个处的间隙的厚度(也称为间隙的间隔),

以提供穿过并沿着间隙(即,在间隙的宽度和深度尺寸上)的间隙的厚度图。测量位点处分隔距离的厚度图是间隙的三维图。间隙的厚度图可用于创建和/或选择精确填充间隙和/或在一个或更多个维度上不均匀的垫片(shim)。除此之外或另选地,间隙的厚度图可用于验证配合的部件的正确对准和/或适配。航空航天结构(有或没有垫片)的部件的精确的对准和/或适配有利于结构的可靠和高效构造和结构的可靠操作。

[0011] 根据本发明的主题的另一个示例涉及一种测量间隙内的分隔距离的方法。该方法包括将传感器叶片插入由第一表面和第二表面限定的间隙中,从传输感应线圈生成传输的探测信号,响应于传输的探测信号,用接收感应线圈接收响应信号,以及基于响应信号,确定测量位点处的第一表面和第二表面之间的分隔距离。传感器叶片包括传输感应线圈、接收感应线圈和围绕传感器叶片分隔开的测量位点。测量位点中的每一个与传输感应线圈中的至少一个和接收感应线圈中的至少一个相关联。

[0012] 上述方法允许测量间隙内的分隔距离,其可用于选择一个或更多个垫片以填充间隙,以形成填充间隙的一个或更多个垫片,和/或用一个或更多个垫片填充间隙。除此之外或另选地,上述方法可用于验证部件(例如,第一工件和第二工件)的正确组装和/或垫片在间隙内的正确组装。上述方法可导致间隙的3D测量(例如,3D虚拟模型)。

附图说明

[0013] 已经以一般的方式描述了本公开的示例,现在将参考附图,附图不一定按比例绘制,并且其中同样的附图标记贯穿若干视图指定相同或相似的部分,并且其中:

[0014] 图1是根据本公开的一个或更多个示例的电子测隙规系统的框图;

[0015] 图2是根据本公开的一个或更多个示例的图1的电子测隙规的示意性透视图;

[0016] 图3是根据本公开的一个或更多个示例的安装在两个工件之间的间隙中的垫片的示意性横截面视图;

[0017] 图4是根据本公开的一个或更多个示例的电子测隙规系统的示意性框图;

[0018] 图5是根据本公开的一个或更多个示例的图1或图4的电子测隙规的传感器叶片的示例的示意性横截面视图;

[0019] 图6是根据本公开的一个或更多个示例的图1或图4的电子测隙规的传感器叶片的示意性框图;

[0020] 图7是根据本公开的一个或更多个示例的测量间隙内的分隔距离的方法的框图;

[0021] 图8是飞行器生产和服务方法的框图;以及

[0022] 图9是飞行器的示意图。

具体实施方式

[0023] 在上述图1-9中,连接各种元件和/或部件的实线(如果有的话)可表示机械、电气、流体、光学、电磁和其它耦接和/或其组合。如本文所使用的,“耦接”指直接地和间接地相关联。例如,构件A可与构件B直接相关联,或者可例如经由另一个构件C与其间接地相关联。应该理解,不一定表示各种所公开的元件之间的所有关系。因此,也可存在除框图中所示的那些以外的耦接。连接指定各种元件和/或部件的框的虚线(如果有的话)表示与实线表示的功能和目的相似的耦接;然而,由虚线表示的耦接可被选择性地提供,或者可涉及本公开的

另选的示例。类似地,以虚线表示的元件和/或部件(如果有的话)表示本公开的另选示例。在不偏离本公开的范围的情况下,可从特定示例中省略以实线和/或虚线示出的一个或更多个元件。环境元素(如果有的话)用点线表示。为了清楚起见,也可显示虚拟(假想)元件。本领域技术人员将理解,图1-9中所示的一些特征可以各种方式组合,而不需要包括图1-9、其他附图和/或所附公开中描述的其它特征,即使这样的一个组合或多个组合在本文中未明确示出。类似地,不限于所呈现的示例的附加的特征可与本文所示出和描述的特征中的一些或全部组合。

[0024] 在上述图7-8中,框可表示操作和/或其部分,并且连接各个框的线不暗示操作或其部分的任何特定顺序或相关性。由虚线表示的框表示另选的操作和/或其部分。连接各个框的虚线(如果有的话)表示操作或其部分的另选的相关性。应当理解,不一定表示各种所公开的操作之间所有的相关性。图7-8和描述本文所阐述的(一个或多个)方法的操作的随附公开不应被解释为必须确定要执行的操作的顺序。相反,尽管指示了说明性的顺序,但是应当理解,在适当时可修改操作的顺序。因此,某些操作可以不同的顺序或同时执行。另外,本领域技术人员应该理解,并不需要执行所有描述的操作。

[0025] 在下面的描述中,阐述了许多具体细节以提供对所公开概念的透彻理解,这些概念可在没有这些细节中的一些或全部的情况下被实践。在其他情况下,已经省略了已知设备和/或过程的细节,以避免不必要地使本公开变得模糊。虽然将结合具体示例描述一些概念,但是应当理解,这些实施例并不旨在是限制性的。

[0026] 除非另外说明,术语“第一”、“第二”等在本文中仅作为标签,并不旨在对这些术语所指的项目施加序数、位置或层级要求。此外,对例如“第二”项目的引用不需要或排除例如“第一”或较低编号的项目和/或例如“第三”或较高编号的项目的存在。

[0027] 本文中对“一个示例”的引用意思是结合该示例描述的一个或更多个特征、结构或特性被包括在至少一个实施方式中。说明书中的各个地方的短语“一个示例”可以或可以不指相同的示例。

[0028] 如本文所使用的,“被配置为”执行指定功能的系统、装置、结构、物品、元件、部件或硬件”实际上能够在没有任何改变的情况下执行指定的功能,而不是仅在进一步修改之后具有执行指定功能的可能性。换句话说,“被配置为”执行指定功能的系统、装置、结构、物品、元件、部件或硬件被具体地选择、创建、实现、利用、编程和/或设计用于执行指定的功能。如本文所使用的,“被配置为”表示系统、装置、结构、物品、元件、部件或硬件的现有特性,其使得系统、装置、结构、物品、元件、部件或硬件能够在没有进一步修改的情况下执行指定功能。为了本公开的目的,除此之外或另选地,被描述为“被配置为”执行特定功能的系统、装置、结构、物品、元件、部件或硬件可被描述为“适于”和/或“可操作以”执行该功能。

[0029] 下面提供了根据本公开的主题的可要求保护或可不要求保护的说明性的、非穷举的示例。

[0030] 整体参考图1,具体是参考例如图2-6,公开了电子测隙规110。电子测隙规110包括传感器叶片112、传输系统120和接收系统124。传感器叶片112包括传输感应线圈114、接收感应线圈116和围绕传感器叶片112在二维中间隔的测量位点118。测量位点118中的每一个与传输感应线圈114中的至少一个和接收感应线圈116中的至少一个相关联。传输系统120被配置为驱动直流电流128穿过传输感应线圈114,以从传输感应线圈114产生传输的探测

信号122。接收系统124被配置为由于传输的探测信号122而从接收感应线圈116接收响应信号126。本段的前述主题表征本公开的示例1。

[0031] 如示例1中所陈述的电子测隙规110的使用允许测量三维中的(第一工件136的)第一表面140和(第二工件138的)第二表面142之间的间隙144。使用至少部分地在间隙144内的传感器叶片112,(围绕传感器叶片112在二维中间隔的)测量位点118被配置为测量在相应的测量位点118处的第一表面140和第二表面142之间的分隔距离134。测量位点118通常穿过传感器叶片112形成二维阵列。

[0032] 可测量(二维分隔的)测量位点118中每一个处的间隙144的厚度(也称为间隙144的间隔),以提供穿过并沿着间隙144(即,在间隙144的宽度和深度尺寸上)的间隙144的厚度图。测量位点118处的分隔距离134的厚度图是间隙144的三维图。间隙144的厚度图可用于创建和/或选择精确地填充间隙144和/或在一个或更多个维度上不均匀的垫片170。除此之外或另选地,间隙144的厚度图可用于验证配合的部件的正确对准和/或适配。航空航天结构(有或没有垫片)的部件的精确的对准和/或适配有利于结构的可靠和高效构造和结构的可靠操作。

[0033] 测量位点118各自与传输感应线圈114中的至少一个和接收感应线圈116中的至少一个相关联。通常,每个测量位点118与传输感应线圈114中的一个和接收感应线圈116中的一个相关联。相关联的传输感应线圈114中的每一个被配置为在相关联的测量位点118处产生传输的探测信号122中的一个。相关联的接收感应线圈116中的每一个被配置为在相关联的测量位点118处接收响应信号126中的一个。

[0034] 传感器叶片112可以是刚性的或半柔性的结构,其包括传输感应线圈114和接收感应线圈116。刚性的传感器叶片112可用于装配到小间隙144中,从而以所识别的角度装配在间隙144内,和/或抵抗间隙144内的屈曲和/或折叠。半柔性的传感器叶片112可用于符合间隙144,和/或装配在旋绕的间隙144中。半柔性的传感器叶片112可足够刚性以避免在间隙144内的屈曲和/或折叠,和/或足够柔性以符合间隙144内的凹面表面和/或凸面表面。传感器叶片112可具有薄的条(strip)、片(sheet)和/或膜(membrane)的形式。如图2中所示,传感器叶片112具有叶片平面156和叶片厚度158。

[0035] 传输系统120、传输感应线圈114、接收系统124和接收感应线圈116被配置为通过电感应来探测和感测间隙144、第一表面140和/或第二表面142。因此,传输感应线圈114和接收感应线圈116是各自具有特性电感的感应线圈。

[0036] 使用电感应来确定分隔距离134允许间隙144的尺寸的非接触感测。例如,在间隙144的测量期间,不需要传感器叶片112接触第一表面140或第二表面142中的任一个。相对于其它电感测技术(诸如感测电容),使用电感应来确定分隔距离134对于电噪声、环境效应和/或表面污染的存在可以更加稳健(robust)。相对于光学感测技术,使用电感应来确定分隔距离134对于表面光洁度变化和表面污染可以更加稳健。

[0037] 传输感应线圈114被配置为根据直流电流128来传输传输的探测信号122,直流电流128可被传输系统120驱动穿过传输感应线圈114。直流电流128是具有稳态电流值的直流(DC)。(例如,在直流电流128的应用之间)可接通或关闭直流电流128,并且可调整稳态电流值。传输的探测信号122是延伸超过传感器叶片112的磁感应场。

[0038] 传输的探测信号122与第一表面140和/或第二表面142的一种材料或多种材料的

相互作用(相对于无相互作用)改变传输的探测信号122的一个或更多个性质。相互作用可根据(一种或多种)材料的位置和/或性质(诸如导电性和磁化率)而引起传输的探测信号122的增强、衰减和/或位移。

[0039] 接收感应线圈116被配置为根据传输的探测信号122与第一表面140和/或第二表面142的(一种或多种)材料的相互作用来接收响应信号126。接收感应线圈116对电磁场敏感,并且通过感应来感测电磁场。响应于电磁场接通或关闭,响应于电磁场的移动,响应于电磁场内的材料的移动,和/或响应于传感器叶片112相对于间隙144的移动,接收感应线圈116可在存在电磁场的情况下产生电流和/或电压。

[0040] 将传输的探测信号122与响应信号126的比较可用于确定材料的存在或不存在(例如,在第一表面140处和/或在第二表面142处)和/或材料之间的距离(例如,第一表面140和第二表面142之间的分隔距离134)。通常,分隔距离134的测量是在测量位点118处基于响应信号126的测量和/或响应信号126与测量位点118处的传输的探测信号122的比较。

[0041] 传输的探测信号122和测量的间隙距离(厚度)通常在第一表面140和第二表面142之间。在一些示例中,传输的探测信号122和/或测量的间隙距离可在传感器叶片112和第一表面140之间,和/或传感器叶片112和第二表面142之间。例如,电子测隙规110和/或传感器叶片112可被配置为测量传感器叶片112和第一表面140之间的间隙距离,并且被配置为使第二表面142与传感器叶片112接触。在这种配置中,分隔距离134是测量的间隙距离加上传感器叶片112的叶片厚度158。作为另一个示例,电子测隙规110和/或传感器叶片112可被配置为独立地测量传感器叶片112和第一表面140之间的间隙距离(第一间隙距离),以及传感器叶片112和第二表面142之间的间隙距离(第二间隙距离)。在这种配置中,分隔距离134为测量的(第一和第二)间隙距离加上传感器叶片112的叶片厚度158。传输感应线圈114、接收感应线圈116和/或测量位点118可与第一表面140和第二表面142中的一者或两者相关联。

[0042] 如图1的示例所示,电子测隙规110可安装在间隙144中,并且可以是包括安装在间隙144中的电子测隙规110的电子测隙规系统100的一部分。

[0043] 本段的以下主题表征本公开的示例2,其中示例2还包括根据上述示例1的主题。整体上参考图1,并且具体参考例如图2-6,传输系统120包括电流源182,其被配置为产生被驱动穿过传输感应线圈114的直流电流128。

[0044] 电流源182为传输感应线圈114中的每一个产生直流电流128,以产生传输的探测信号122。电流源182可以是被配置为提供电压和/或电流的电源。电流源182可被配置为调节和/或控制直流电流128。电流源182可被配置为将直流电流128传送到传输感应线圈114中的每一个,并且可被配置为将直流电流128同时传送到传输感应线圈114中的一个或更多个。通常,电流源182利用低电阻电路路径连接到传输感应线圈114。低电阻(例如,小于100欧姆)有助于直流电流128的有效电传输。

[0045] 本段的以下主题表征了本公开的示例3,其中示例3还包括根据上述示例1至2中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,所传输的探测信号122是稳态磁场。

[0046] 稳态磁场通常由流经传输感应线圈114的稳态电流(即,直流电流128)产生。稳态磁场超过传输感应线圈114渗透进入与每个稳态磁场相关联的传感器叶片112、测量位点118和传输感应线圈114附近的空间。稳态磁场被金属、金属材料、磁性材料、导磁材料和导电材料扭曲,并与其相互作用。因此,传输的探测信号122可受到包括任何这种材料的第一

表面140和/或第二表面142的存在、类型和/或布置的影响。

[0047] 通常,由传输感应线圈114生成的稳态磁场具有场强(强度),该场强(强度)关于与传输感应线圈114相距的距离的反向功率而减小。稳态磁场中每一个的源强度和源距离关系取决于直流电流128的强度和产生稳态磁场的传输感应线圈114的配置。在稳态磁场的场强具有预定值(例如,对应于接收感应线圈116处的最小可检测值的场强)处与传输感应线圈114相距的距离可以是传感器叶片112的特征感测距离。特征感测距离可为至少1mm、至少5mm、至少10mm和/或小于100mm。因此,电子测隙规110和传感器叶片112可被配置为测量是至少1mm、至少5mm、至少10mm和/或小于100mm的间隙144的分隔距离134。

[0048] 本段的以下主题表征了本公开的示例4,其中示例4还包括根据上述示例1至3中任一个的主题。整体上参考图1,具体是参考例如图2-6,接收系统124被配置为基于响应信号126生成分隔距离信号132。分隔距离信号132与第一工件136的第一表面140和第二工件138的第二表面142之间的传感器叶片112的测量位点118处的分隔距离134有关。

[0049] 电子测隙规110可用于测量相似或不同部件(诸如第一工件136和第二工件138)之间的间隙144。第一工件136和第二工件138的材料和/或形成间隙144的第一表面140和第二表面142的材料可各自独立地为金属、金属的、导电的、磁性的、聚合物的和/或复合材料。不需要材料是导电的或导磁的。不管第一表面140和/或第二表面142处的第一工件136、第二工件138的材料如何,可针对不同类型的材料校准电子测隙规110,以产生可靠的分隔距离测量。通过将传感器叶片112插入到已知尺寸(厚度,并且通常是宽度和深度)和已知材料之间的校准间隙中,可校准电子测隙规110。校准间隙可在校准原器(calibration artifact)(其也可称为校准工具)中形成。如本文进一步讨论的,校准可包括调整穿过传输感应线圈114提供的直流电流128和/或由接收系统124接收的响应信号126。

[0050] 本段的以下主题表征了本公开的示例5,其中示例5还包括根据上述示例4的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收系统124被配置为当测量位点118中的至少一个位于由第一表面140和第二表面142限定的间隙144内时接收响应信号126。

[0051] 传感器叶片112可不完全装配在间隙144内,和/或可不完全插入到间隙144中。间隙144内的测量位点118可用于测量间隙144内的分隔距离134。在间隙144之外的测量位点118可测量基本上无间隙、无限的分隔距离或无信号条件。接收系统124和/或电子测隙规110可被配置为确定哪些测量位点118在间隙144内,哪些测量位点118在间隙144之外。确定哪些测量位点118在间隙144中和/或之外可提供间隙144的深度和/或间隙144的横截面积的测量和/或估计(例如,通过提供间隙144内的传感器叶片112的深度或面积)。接收系统124和/或电子测隙规110可被配置为只有测量位点118中的一个或更多个位于间隙144内才测量分隔距离134。

[0052] 本段的以下主题表征了本公开的示例6,其中示例6还包括根据上述示例1至5中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输感应线圈114中的每一个由传输系统120单独地电寻址(address)。

[0053] 单独寻址传输感应线圈114允许独立地和/或在不同时间操作一个或更多个传输感应线圈114。单独操作可包括独立地接通、关闭、使用不同的直流电流128,和/或调整用于传输感应线圈114的中的一个或更多个(任选地,所有)的直流电流128。传输感应线圈114可以以诸如行、列和/或区域的组来操作(和/或电寻址)。组可以是稀疏的,例如每四个元件,

和/或可以是不规则的,例如每四个元件中的一个的平均值被一起控制的区域。

[0054] 传输感应线圈114中的一个或更多个(任选地,每一个)的单独操作有助于探测间隙144,在不同的传输感应线圈114和/或测量位点118之间有很少甚至没有串扰(诸如干扰的相互作用)。传输感应线圈114中的一个或更多个(任选地,每一个)的单独操作有助于独立地调整由独立控制的传输感应线圈114产生的磁感应场。例如,可调整用于传输感应线圈114中每一个的直流电流128,使得传输感应线圈114中的每一个产生相同强度的磁感应场。

[0055] 本段的以下主题表征了本公开的示例7,其中示例7还包括根据上述示例1至6中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输系统120包括解复用器(de-multiplexer)180,以在与所传输的探测信号122中的另一个不同的时间产生传输的探测信号122中的一个。

[0056] 传输系统120的解复用器180将来自传输系统120的直流电流128路由到传输感应线圈114中的至少一个,以产生相应的传输的探测信号122。通常,传输系统120的解复用器180将单个输入信号(例如,直流电流128)路由到多个输出目的地中的任一个(例如,传输感应线圈114中的一个)。使用解复用器180有助于有效的电气设计,并且有助于使用单个源(例如,电流源182),以向传输感应线圈114中的每一个提供直流电流128。

[0057] 传输系统120和/或解复用器180可被配置为在不同时间将直流电流128路由到不同的传输感应线圈114。因此,电子测隙规110可被配置为在不同时间产生传输的探测信号122中的不同的探测信号122。例如,传输感应线圈114中的每一个可顺序地被传送直流电流128,以在顺序的测量位点118处产生传输的探测信号122。在一些测量位点118处产生传输的探测信号122而在其他测量位点118没有传输的探测信号122,这可减少不同的测量位点118和/或传输感应线圈114之间的串扰。解复用器180可被配置为切换(switch)传输感应线圈114中的接收直流电流128的那些,同时将直流电流128保持稳定(例如,电流源182产生基本上恒定的直流电流128)。

[0058] 本段的以下主题表征了本公开的示例8,其中示例8还包括根据上述示例1至7中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输系统120被配置为通过时分复用(multiplex)所传输的探测信号122。

[0059] 传输系统120和/或解复用器180可被配置为将直流电流128传送到传输感应线圈114,以通过时分复用一次产生一个(或一组)传输的探测信号122。因此,少于全部的(例如,一个)传输感应线圈114将同时产生传输的探测信号122。在不同时间产生传输的探测信号122可减少不同的测量位点118和/或传输感应线圈114之间的串扰。

[0060] 复用是将单个输入信号路由到多个输出信号中(或从多个输入信号路由单个输出信号)的切换方案,并且因此可被描述为一对多切换(一个输入和多个输出)或多对一切换(多个输入对一个输出)。时分复用是其中单个输入(或输出)信号根据时间连接到多个输出(或输入)信号的复用方案。具体地,单个输入(或输出)信号被路由到一个或一组输出(或输入)信号一段时间,然后被路由到另一个或一组输出(或输入)信号下一段时间,等等,直到已经使用所有输出(或输入)信号。然后,重复该过程。典型的时分复用处理基于定时器将单个输入(或输出)信号顺序地切换到输出(或输入)信号中的每一个,使得输出(或输入)信号中的每一个在不同的时间点连接,并且连接相同的时间量。

[0061] 本段的以下主题表征了本公开的示例9,其中示例9还包括根据上述示例1至8中任

一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收系统124被配置为接收用于接收感应线圈116中每一个的响应信号126中的至少一个。

[0062] 接收感应线圈116中的每一个可响应于在相应测量位点118处的磁感应场(来自与间隙144处的材料相互作用的所传输的探测信号122)。接收系统124可接收用于对应于测量位点118的接收感应线圈116中每一个的各个响应信号126。接收用于接收感应线圈116中每一个的响应信号126中的至少一个有助于独立地确定测量位点118中的每一个处的磁感应场的相互作用。

[0063] 本段的以下主题表征了本公开的示例10,其中示例10还包括根据上述示例1至9中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收感应线圈116中的每一个由接收系统124单独地电寻址。

[0064] 单独寻址接收感应线圈116允许独立地和/或在不同时间接收一个或更多个响应信号126。接收感应线圈116可以以对应于有源传输感应线圈114(即,产生传输的探测信号122的传输感应线圈114)的诸如行、列和/或区域的组来使用。除此之外或另选地,接收感应线圈116可单独地电寻址,以在测量位点118中不同的测量位点处(例如,顺序地或连续地)对传输的探测信号122中的一个或更多个进行采样。

[0065] 接收感应线圈116中的一个或更多个(任选地,每一个)单独使用有助于探测间隙144,在不同的传输感应线圈114、接收感应线圈116和/或测量位点118之间有很少甚至没有串扰。例如,对于测量位点118中的每一个,相关联的传输感应线圈114可在该测量位点118处产生相应的传输的探测信号122,而相邻的传输感应线圈114被禁用(不被操作为产生传输的探测信号122)。该测量位点118的相关联的接收感应线圈116(和/或相邻测量位点118的相邻的接收感应线圈116)可用于从正在操作的传输感应线圈114中的一个接收相应的传输的探测信号122,而没有来自其他的传输的探测信号122的显著干扰。

[0066] 本段的以下主题表征了本公开的示例11,其中示例11还包括根据上述示例1至10中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收系统124包括复用器190,以在与响应信号126中的另一个不同的时间接收响应信号126中的一个。

[0067] 接收系统124的复用器190从接收感应线圈116中的至少一个路由响应信号126,以在接收系统124内被测量。通常,接收系统124的复用器190将多个输入信号中的任一个(例如,来自相应的接收感应线圈116的响应信号126中的任一个)路由到单个输出信号,其然后可被进一步处理(例如,通过模数转换)。使用复用器190有助于有效的电气设计,并且有助于使用单组检测电子器件来检测来自所有接收感应线圈116的相应的响应信号126。

[0068] 接收系统124和/或复用器190可被配置为在不同时间从不同的接收感应线圈116路由响应信号126。因此,电子测隙规110可被配置为在不同的时间接收响应信号126中不同的响应信号。例如,接收感应线圈116中的每一个可经由复用器190顺序连接到接收系统124,以从顺序的测量位点118接收顺序的响应信号126。接收来自一些测量位点118的响应信号126而其他测量位点118不传送响应信号126,这可减少不同的测量位点118和/或接收感应线圈116之间的串扰。

[0069] 本段的以下主题表征本公开的示例12,其中示例12还包括根据上述示例1至11中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收系统124被配置为通过时分复用来复用响应信号126。

[0070] 接收系统124和/或复用器190可被配置为经由时分复用从接收感应线圈116一次一个(或一组)地接收响应信号126。因此,少于全部的(例如,一个)接收感应线圈116将同时传送响应信号126。在不同时间接收响应信号126可减少不同的测量位点118和/或接收感应线圈116之间的串扰。

[0071] 本段的以下主题表征了本公开的示例13,其中示例13还包括根据上述示例1至12中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输感应线圈114与接收感应线圈116在数量上相等。

[0072] 通常,传输感应线圈114与接收感应线圈116具有一对一的关系。测量位点118中的每一个在该测量位点118处可具有传输感应线圈114中的一个和接收感应线圈116中的一个。接收感应线圈116中的每一个可被布置和/或定位,以感测由传输感应线圈114中的一个产生的磁感应场。因此,测量位点118中的每一个可具有传输感应线圈114中的单个传输感应线圈和接收感应线圈116中的单个接收感应线圈。被配对和/或配置为串联工作(*work in tandem*)的传输感应线圈114和接收感应线圈116可简化传输和接收电子器件(例如,在传输系统120和接收系统124内)和确定分隔距离134(通过主要将响应信号126与用于配对的和/或串联的传输感应线圈114和接收感应线圈116的传输的探测信号122进行比较)。

[0073] 本段的以下主题表征了本公开的示例14,其中示例14还包括根据上述示例1至13中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收感应线圈116散置(*intersperse*)在传感器叶片112中的传输感应线圈114之间。

[0074] 传输感应线圈114可围绕传感器叶片112分隔开,以探测间隙144内以定距离间隔的测量位点118。接收感应线圈116通常靠近在测量位点118处的相关联的传输感应线圈114。接收感应线圈116可与未被传输感应线圈114占据的空间中的传输感应线圈114协同定位,并且因此可散置在传输感应线圈114之间。协同定位和/或散置传输感应线圈114和接收感应线圈116提供更紧凑的测量位点118和/或更紧凑的传感器叶片112(例如,在叶片平面156的面积方面,在叶片厚度158方面,和/或在传感器叶片112的体积方面)。更紧凑的测量位点118允许传感器叶片112中测量位点118的较高密度,以及因此更高分辨率确定间隙144内的分隔距离134。

[0075] 协同定位的和/或散置的接收感应线圈116可位于传输感应线圈114的上方、下方和/或旁边。例如,接收感应线圈116和传输感应线圈114可位于不同的线圈层154内(如图5的示例中所示)或在相同的线圈层154内。除此之外或另选地,协同定位的和/或散置的接收感应线圈116可至少部分地位于由传输感应线圈114占据的区域内,或者反之亦然(例如,如图6的示例中所示)。

[0076] 本段的以下主题表征了本公开的示例15,其中示例15还包括根据上述示例1至14中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,在传感器叶片112中的接收感应线圈116和传输感应线圈114相互交叉(*interdigitate*)。

[0077] 接收感应线圈116和传输感应线圈114可在传感器叶片112中相互交叉,例如,如图6的示例中所示。相互交叉的接收感应线圈116和传输感应线圈114提供更紧凑的测量位点118和/或更紧凑的传感器叶片112(例如,在叶片平面156的面积方面,在叶片厚度158方面,和/或在传感器叶片112的体积方面)。更紧凑的测量位点118允许传感器叶片112中测量位点118的较高密度,以及因此更高分辨率确定间隙144内的分隔距离134。

[0078] 相互交叉的接收感应线圈116和传输感应线圈114以密切的关系相互缠结,在测量位点118中的每一个处通常是成对的接收感应线圈116和传输感应线圈114。相互交叉的感应线圈可具有紧挨着另一线圈布置的一个线圈,包围另一个线圈的一个线圈,和/或部分地包围另一个线圈的一个线圈(例如,图6的传输感应线圈114部分地包围图6的接收感应线圈116)。相互交叉的感应线圈可与彼此相互缠绕、交错、交织和/或散置。

[0079] 本段的以下主题表征了本公开的示例16,其中示例16还包括根据上述示例1至15中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,在传感器叶片112中,接收感应线圈116中的至少一个与传输感应线圈114中的至少一个重叠。

[0080] 接收感应线圈116中的一些或全部可与传输感应线圈114中的一些或全部重叠。重叠的接收感应线圈116和传输感应线圈114提供更紧凑的测量位点118和/或更紧凑的传感器叶片112(例如在叶片平面156的面积方面,在叶片厚度158方面,和/或在传感器叶片112的体积方面)。更紧凑的测量位点118允许传感器叶片112中测量位点118的较高密度,以及因此更高分辨率确定间隙144内的分隔距离134。

[0081] 接收感应线圈116与传输感应线圈114的重叠在传感器叶片112的叶片平面156内。重叠的接收感应线圈116和传输感应线圈114通常跨叶片厚度158被间隔开,并且可在不同的线圈层154中,如图5的示例中所示。接收感应线圈116和传输感应线圈114在重叠区域148中重叠。重叠区域148通常在测量位点118处。

[0082] 本段的以下主题表征了本公开的示例17,其中示例17还包括根据上述示例16的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,在传感器叶片112中,接收感应线圈116中的每一个与传输感应线圈114中的至少一个重叠。

[0083] 所有的接收感应线圈116可与对应的传输感应线圈114重叠。使所有接收感应线圈116各自与传输感应线圈114中的至少一个重叠提供使所有测量位点118紧凑,和/或与如果只有接收感应线圈116中的一些与传输感应线圈114重叠的情况相比甚至更紧凑的传感器叶片112。

[0084] 本段的以下主题表征了本公开的示例18,其中示例18还包括根据上述示例1至17中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收感应线圈116中的至少一个和传输感应线圈114中的至少一个在重叠区域148中重叠,并且在重叠区域148中被一个或更多个电介质层150分隔。

[0085] 至少在接收感应线圈116和传输感应线圈114重叠(即,在重叠区域148)中,接收感应线圈116和传输感应线圈114被分隔,以避免接收感应线圈116和传输感应线圈114之间的直接电连接。电介质层150(如图5的示例中所示)是传感器叶片112的电绝缘层。相比于一个电介质层150,更多的电介质层150可提供更加抵抗电击穿的电隔离和/或鲁棒性。电介质层150通常非常薄(例如,小于100μm(微米)、小于10μm或小于1μm厚)。电介质层150通常具有足够的弹性,以在传感器叶片112的挠曲之后保持介电完整性。

[0086] 本段的以下主题表征了本公开的示例19,其中示例19还包括根据上述示例1至18中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输感应线圈114和接收感应线圈116由一个或更多个电介质层150分隔。

[0087] 通常,传输感应线圈114和接收感应线圈116可被分隔,以避免传输感应线圈114和接收感应线圈116之间的直接电连接。更多的电介质层150可提供更加抵抗一个电介质层

150的电击穿的电隔离和/或鲁棒性。

[0088] 本段的以下主题表征本公开的示例20,其中示例20还包括根据上述示例19的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输感应线圈114和接收感应线圈116形成在一个或更多个电介质层150中的单个电介质层150的相对侧面上。

[0089] 电介质层150各自可以是可支撑机电结构的基板。例如,电子电路元件可沉积、丝网印刷、蚀刻和/或模制在电介质层150上。传输感应线圈114和/或接收感应线圈116可形成在相同或不同的电介质层150上。在一些示例中,传输感应线圈114和接收感应线圈116可形成在电介质层150中单个电介质层的相对侧面上,以减少传感器叶片112所需的总层数,以简化传感器叶片112的生产,和/或简化传输感应线圈114和接收感应线圈116的配准(相对放置)。

[0090] 本段的以下主题表征了本公开的示例21,其中示例21还包括根据上述示例1至20中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输感应线圈114和接收感应线圈116位于传感器叶片112内的不同层中。

[0091] 为了简化传输感应线圈114的生产,接收感应线圈116的生产和/或传感器叶片112的生产,传输感应线圈114和接收感应线圈116可在传感器叶片112内的不同层上制造,和/或定位在其中。例如,并且如图5所示,传输感应线圈114可位于一个线圈层154中,并且接收感应线圈116可位于另一个线圈层154中。线圈层154中的每一个可独立地制造,然后层叠在一起以形成传感器叶片112。线圈层154可包括在传输感应线圈114和/或接收感应线圈116中每一个之间或周围的介电材料。如果传输感应线圈114和接收感应线圈116保持与彼此电隔离,线圈层154可与或不与中间的电介质层150层叠在一起。线圈层154可非常薄(例如,小于100μm、小于10μm或小于1μm厚)。线圈层154通常具有足够的弹性,以在传感器叶片112的挠曲之后保持传输感应线圈114和/或接收感应线圈116的完整性。

[0092] 本段的以下主题表征了本公开的示例22,其中示例22还包括根据上述示例1至21中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输感应线圈114包括石墨烯。

[0093] 传输感应线圈114是形成为线圈配置的具有导电材料的电路元件。传输感应线圈114通常是微电子装置,并且通常在基板上或基板中形成非常薄的层(例如,小于100μm、小于10μm或小于1μm厚的层)。石墨烯是非常薄的导电形式的碳,其可以成层形成(*formed in layers*),通常仅为单个原子厚。形成石墨烯的传输感应线圈114可允许薄的传输感应线圈114、薄的线圈层154和/或薄的传感器叶片112,其可有利于传输感应线圈114的高密度,和/或在薄间隙144(例如,平均小于10mm、小于1mm或小于0.1mm厚)中使用传感器叶片112。

[0094] 本段的以下主题表征了本公开的示例23,其中示例23还包括根据上述示例1至22中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收感应线圈116包括石墨烯。

[0095] 接收感应线圈116是形成为线圈配置的具有导电材料的电路元件。接收感应线圈116通常是微电子装置,并且通常在基板上或基板中形成非常薄的层(例如,小于100μm、小于10μm或小于1μm厚的层)。形成石墨烯的接收感应线圈116可允许薄的接收感应线圈116、薄的线圈层154和/或薄的传感器叶片112,其可有利于接收感应线圈116的高密度和/或在薄间隙144中使用传感器叶片112。

[0096] 本段的以下主题表征了本公开的示例24,其中示例24还包括根据上述示例1至23中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输感应线圈114是螺旋平面的电

感器。

[0097] 螺旋平面的电感器可以形成薄层,这可有利于传输感应线圈114的高密度和/或在薄间隙144中使用传感器叶片112。螺旋平面的电感器是具有平面和螺旋形式的电感器。螺旋平面的电感器的两个示例在图6中示意性地示出。图6的接收感应线圈116具有典型的平面螺旋形式,其具有围绕沿循简单几何形状(在图6的示例中为矩形形式;其他的常见形式为圆形、椭圆形、正方形和凸多边形)的公共中心成螺旋形的电迹线。图6的传输感应线圈114具有平面的凹面螺旋形式,其中电迹线围绕沿循凹面多边形的公共中心成螺旋形。螺旋平面的电感器可称为扁平电感器。

[0098] 本段的以下主题表征了本公开的示例25,其中示例25还包括根据上述示例1至24中任一个的主题。参考图1,具体是参考例如图2-6,接收感应线圈116是螺旋平面的电感器。

[0099] 螺旋平面的电感器可以形成薄层,这可有利于接收感应线圈116的高密度和/或在薄间隙144中使用传感器叶片112。

[0100] 本段的以下主题表征了本公开的示例26,其中示例26还包括根据上述示例1至25中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传感器叶片112包括覆盖传输感应线圈114和接收感应线圈116的外部保护层152。

[0101] 如图5的示例中所示,外部保护层152将传输感应线圈114和接收感应线圈116与机械接触、电接触和/或环境效应隔离。例如,外部保护层152可以是坚固的、耐磨的、防水的和/或气密的。如传感器叶片112,外部保护层152可以是半柔性的,和/或能够承受当传感器叶片112插入间隙144时可发生的挠曲。外部保护层152可包括,和/或可以是聚氨酯材料的半柔性涂层和/或耐刮擦和钢化玻璃(例如,GORILLA GLASS(大猩猩玻璃)牌玻璃)。传感器叶片112可在所有环境暴露的边缘和/或表面处包括外部保护层152。通常,外部保护层152非常薄(例如,小于1mm、小于0.1mm或小于0.01mm)。

[0102] 本段的以下主题表征了本公开的示例27,其中示例27还包括根据上述示例1至26中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输感应线圈114中的每一个具有小于1平方厘米且大于100平方微米的侧面面积。

[0103] 小的传输感应线圈114(具有小于1平方厘米的侧面面积)允许小的测量位点118和/或分隔距离134的高分辨率测量。传输感应线圈114的侧面面积是传感器叶片112的叶片平面156中的传输感应线圈114的面积。

[0104] 本段的以下主题表征了本公开的示例28,其中示例28还包括根据上述示例1至27中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收感应线圈116中的每一个具有小于1平方厘米且大于100平方微米的侧面面积。

[0105] 小的接收感应线圈116(具有小于1平方厘米的侧面面积)允许小的测量位点118和/或分隔距离134的高分辨率测量。接收感应线圈116的侧面面积是传感器叶片112的叶片平面156中的接收感应线圈116的面积。

[0106] 本段的以下主题表征了本公开的示例29,其中示例29还包括根据上述示例1至28中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传感器叶片112具有至少1000个测量位点118,其密度大于每平方厘米单个测量位点118且每平方厘米1,000,000个测量位点118。

[0107] 电子测隙规110可具有高密度的测量位点118和/或大量的测量位点118,以提供间

隙144的高分辨率厚度图。传感器叶片112可具有与典型间隙144可比较的有效表面积(包括测量位点118的表面积)和/或宽度。因此,传感器叶片112可具有大于10cm²(平方厘米)或大于50cm²的有效表面积。传感器叶片112可具有大于1cm、大于5cm或大于20cm的宽度。

[0108] 本段的以下主题表征了本公开的示例30,其中示例30还包括根据上述示例1至29中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传感器叶片112具有小于0.5mm且大于0.001mm的厚度。

[0109] 传感器叶片112可足够薄以装配在宽范围的间隙144尺寸内。传感器叶片112可足够薄以装配在薄的(例如,小至0.5mm)间隙144中,和/或测量间隙144。传感器叶片112可足够薄以装配在间隙144中的垫片170周围的剩余空间中,和/或测量该剩余空间。在航空航天工业中,零件之间的相对位置公差可小于0.05英寸(约1mm),因此间隙144和/或剩余空间可小于1mm。

[0110] 本段的以下主题表征了本公开的示例31,其中示例31还包括根据上述示例1至30中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,电子测隙规110还包括可操作地耦接到接收系统124的计算系统160。

[0111] 计算系统160通常被配置(例如,被编程)为控制传输系统120和/或接收系统124。计算系统160可与传输感应线圈114协调产生传输的探测信号122,与接收感应线圈116协调接收响应信号126,和/或确定分隔距离134。

[0112] 计算系统160可通过一个或更多个电子通信链路可操作地耦接到传输系统120和/或接收系统124。计算系统160可包括和/或可以是计算机(例如,包括处理器和存储器)和/或专用硬件。计算系统160可在软件、固件和/或硬件中实现其功能(例如,控制传输的探测信号122的生成,控制响应信号126的接收,和/或确定分隔距离134)。

[0113] 本段的以下主题表征了本公开的示例32,其中示例32还包括根据上述示例31的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,计算系统160被配置为基于响应信号126和测量位点118来生成由传感器叶片112探测的间隙144的3D虚拟模型162。

[0114] 3D虚拟模型162表示由电子测隙规110和传感器叶片112探测的间隙144,并且可用于分析间隙144,以选择一个或更多个垫片170以填充间隙144,和/或创建一个或更多个垫片170以填充间隙144。3D虚拟模型162可用于确定间隙144的体积、表面积和/或形状。间隙144的准确表示(诸如3D虚拟模型162)提供确定一个或更多个垫片170的尺寸和形状以填充间隙144的准确指导。

[0115] 计算系统160被配置为基于在测量位点118处确定的分隔距离134来生成3D虚拟模型162。计算系统160可被配置为基于响应信号126和/或传输的探测信号122来确定分隔距离134。除此之外或另选地,计算系统160可接收(例如,从接收系统124)基于响应信号126和/或传输的探测信号122确定的分隔距离134。3D虚拟模型162可以是点云、多边形网格和/或3D表示(例如,表面镶嵌(surface tessellation)、3D线框、3D实体或3D边界表示)。

[0116] 本段的以下主题表征了本公开的示例33,其中示例33还包括根据上述示例32的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,计算系统160被配置为通过将候选垫片的尺寸与间隙144的3D虚拟模型162进行比较来识别要插入到间隙144中的合适的垫片170。

[0117] 计算系统160可存储候选垫片的尺寸,和/或可被提供候选垫片的尺寸。可将候选垫片的尺寸与3D虚拟模型162进行比较,以识别候选垫片中的哪一个或更多个适合于填充

间隙144。例如,在图3中,三个垫片170被布置成一起填充间隙144。

[0118] 计算系统160可被配置为从候选垫片的集合中识别一个或更多个合适的垫片170以填充间隙144。计算系统160可被配置为识别和任选地排列可各自适合的几个单独的候选垫片。计算系统160可被配置为识别可一起用于填充间隙144的一组候选垫片(因此,该组候选垫片一起是合适的垫片170)。计算系统160另外可识别该组候选垫片在间隙144内放置的顺序和/或图案。垫片170可由合适的结构材料形成,诸如黄铜、铝、钛和复合材料(例如,玻璃纤维)。

[0119] 一个或更多个合适的垫片170的识别有助于将垫片170安装在间隙144中,因为技术人员不需要试验适合的垫片170,直到找到合适的垫片170。除此之外或另选地,合适的垫片170的取向、顺序和/或放置可由计算系统160识别,以有助于以正确的取向、顺序和/或放置安装垫片170。

[0120] 本段的以下主题表征了本公开的示例34,其中示例34还包括根据上述示例32至33中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,计算系统160包括显示器164,并且被配置为用显示器164呈现(render)间隙144的3D虚拟模型162的图像。

[0121] 呈现3D虚拟模型162的图像可有助于操作者验证间隙144被成功测量。除此之外或另选地,3D虚拟模型162的图像可用于识别和/或验证要用于填充间隙144的合适的垫片170。

[0122] 通常,计算系统160被配置为交互地显示3D虚拟模型162,使得操作者可缩放和旋转视图,以查看3D虚拟模型162的不同视角。计算系统160可被配置为用显示器164呈现候选垫片和/或合适的垫片170的图像,并且可被配置为显示比较图像(例如,叠加、并排等)。显示器164是诸如LED显示器、LCD显示器等的电子视觉显示器。

[0123] 本段的以下主题表征了本公开的示例35,其中示例35还包括根据上述示例31至34中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,计算系统160被配置为基于响应信号126确定分隔距离134。分隔距离134在第一工件136的第一表面140与第二工件138的第二表面142之间的传感器叶片112的测量位点118处。

[0124] 计算系统160被配置为基于对应于测量位点118中每一个的响应信号126和/或传输的探测信号122来确定分隔距离134。根据在测量位点118处的电磁场(例如传输的探测信号122)的存在和/或性质生成响应信号126。第一工件136和第二工件138的材料的位置和组成影响来自(第一工件136的)第一表面140和(第二工件138的)第二表面142之间的测量位点118的响应信号126。对于测量位点118中的每一个,可将测量的响应信号126与响应信号的校准值和/或模型进行比较,以确定分隔距离134。

[0125] 本段的以下主题表征了本公开的示例36,其中示例36还包括根据上述示例35的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,计算系统160被配置为通过将候选垫片的尺寸与在测量位点118处的分隔距离134进行比较来识别被传感器叶片112探测到的要插入到间隙144中的合适的垫片170。

[0126] 计算系统160可存储候选垫片的尺寸,和/或可被提供候选垫片的尺寸。可将候选垫片的尺寸与在测量位点118处的分隔距离134进行比较,以识别候选垫片中的哪一个或更多个适合于填充间隙144。计算系统160可被配置为从候选垫片的集合中识别一个或更多个合适的垫片170以填充间隙144。计算系统160可被配置为识别和任选地排列可各自适合的

几个单独的候选垫片。计算系统160可被配置为识别可一起用于填充间隙144的一组候选垫片(因此,该组候选垫片一起是合适的垫片170)。计算系统160另外可识别用于将该组候选垫片放置在间隙144内的顺序和/或图案。

[0127] 一个或更多个合适的垫片170的识别有助于将垫片170安装在间隙144中,因为技术人员不需要试验适合的垫片170,直到找到合适的垫片170。除此之外或另选地,合适的垫片170的取向、顺序和/或放置可由计算系统160来识别,从而有助于以正确的取向、顺序和/或放置安装垫片170。

[0128] 本段的以下主题表征了本公开的示例37,其中示例37还包括根据上述示例35至36中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,计算系统160包括显示器164,并且被配置为在显示器164上显示测量位点118处的分隔距离134的图像。

[0129] 显示分隔距离134的图像可有助于操作者验证间隙144被成功测量。除此之外或另选地,分隔距离134的图像可用于识别和/或验证要用于填充间隙144的合适的垫片170。

[0130] 在测量位点118处的分隔距离134的图像可以是图表、表格、线轮廓、表面轮廓、多边形网格和/或体绘制的形式。例如,在测量位点118处的分隔距离134的图像可以是二维条形图,其中每个条(bar)表示在测量位点118中的一个处的分隔距离134中的一个,并且每个条可被布置为表示测量位点118的二维布置。

[0131] 计算系统160可被配置为交互地显示分隔距离134,使得操作者可缩放和旋转视图以查看分隔距离134的不同视角。计算系统160可被配置为用显示器164呈现候选垫片和/或合适的垫片170的图像和/或尺寸,并且可被配置为显示比较图像(例如,叠加、并排等)。

[0132] 本段的以下主题表征了本公开的示例38,其中示例38还包括根据上述示例31至37中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,计算系统160和接收系统124被配置为无线地通信。

[0133] 计算系统160和接收系统124之间的无线通信便于接收系统124的远程操作和/或电子测隙规110的模块化设计。例如,计算系统160可在物理上与接收系统124分离或可分离。合适的无线通信协议和技术包括红外通信、无线电通信、WI-FI品牌协议和BLUETOOTH(蓝牙)品牌协议。

[0134] 本段的以下主题表征了本公开的示例39,其中示例39还包括根据上述示例31至38中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传感器叶片112、传输系统120和接收系统124是手持式探针172的一部分。计算系统160被配置为向手持式探针172无线地供电。

[0135] 计算系统160和手持式探针172之间的无线电力传输便于手持式探针172的远程操作和/或电子测隙规110的模块化设计。与不使用无线电力传输的电子测隙规110相比,借助无线电力传输,手持式探针172可以以较小的封装生产,并且不需要电力电缆。通过感应充电(电感耦接的组件),通过电容充电(电容耦接的组件),和/或通过辐射充电(例如,通过传输无线电能量、微波能量、激光能量等的波束),可执行无线电力传输。

[0136] 整体参考图1,具体是参考例如图2-6,公开了电子测隙规110。电子测隙规110包括传感器叶片112、传输系统120和接收系统124。传感器叶片112包括传输感应线圈114、接收感应线圈116和围绕传感器叶片112在二维中间隔的测量位点118。测量位点118中的每一个与传输感应线圈114中的至少一个和接收感应线圈116中的至少一个相关联。传输系统120

被配置为驱动调制信号130穿过传输感应线圈114,以从传输感应线圈114产生传输的探测信号122。接收系统124被配置为由于传输的探测信号122而从接收感应线圈116接收响应信号126。本段的前述主题表征本公开的示例40。

[0137] 如示例40中所陈述的电子测隙规110的使用允许测量三维中的(第一工件136的)第一表面140和(第二工件138的)第二表面142之间的间隙144。使用至少部分地在间隙144内的传感器叶片112,(围绕传感器叶片112在二维中间隔的)测量位点118被配置为测量在相应的测量位点118处的第一表面140和第二表面142之间的分隔距离134。测量位点118通常穿过传感器叶片112形成二维阵列。

[0138] 可测量(二维分隔的)测量位点118中每一个处的间隙144的厚度(也称为间隙144的间隔),以提供穿过并沿着间隙144(即,在间隙144的宽度和深度尺寸上)的间隙144的厚度图。测量位点118处的分隔距离134的厚度图是间隙144的三维图。间隙144的厚度图可用于创建和/或选择精确地填充间隙144和/或在一个或更多个维度上不均匀的垫片170。除此之外或另选地,间隙144的厚度图可用于验证配合的部件的正确对准和/或适配。航空航天结构(有或没有垫片)的部件的精确的对准和/或适配有利于结构的可靠和高效构造和结构的可靠操作。

[0139] 测量位点118各自与传输感应线圈114中的至少一个和接收感应线圈116中的至少一个相关联。通常,每个测量位点118与传输感应线圈114中的一个和接收感应线圈116中的一个相关联。相关联的传输感应线圈114中的每一个被配置为在相关联的测量位点118处产生传输的探测信号122中的一个。相关联的接收感应线圈116中的每一个被配置为在相关联的测量位点118处接收响应信号126中的一个。

[0140] 传感器叶片112可以是刚性的或半柔性的结构,其包括传输感应线圈114和接收感应线圈116。刚性的传感器叶片112可用于装配到小间隙144中,从而以所识别的角度装配在间隙144内,和/或抵抗间隙144内的屈曲和/或折叠。半柔性的传感器叶片112可用于符合间隙144,和/或装配在旋绕的间隙144中。半柔性的传感器叶片112可足够刚性以避免在间隙144内的屈曲和/或折叠,和/或足够柔性以符合间隙144内的凹面表面和/或凸面表面。传感器叶片112可具有薄的条、片和/或膜的形式。如图2中所示,传感器叶片112具有叶片平面156和叶片厚度158。

[0141] 传输系统120、传输感应线圈114、接收系统124和接收感应线圈116被配置为通过电感应来探测和感测间隙144、第一表面140和/或第二表面142。因此,传输感应线圈114和接收感应线圈116是各自具有特性电感的感应线圈。

[0142] 使用电感应来确定分隔距离134允许间隙144的尺寸的非接触感测。例如,在间隙144的测量期间,不需要传感器叶片112接触第一表面140或第二表面142中的任一个。相对于其它电感测技术(诸如感测电容),使用电感应来确定分隔距离134对于电噪声、环境影响和/或表面污染的存在可更加稳健。相对于光学感测技术,使用电感应来确定分隔距离134对于表面光洁度变化和表面污染可更加稳健。

[0143] 传输感应线圈114被配置为根据调制信号130传输传输的探测信号122,调制信号130可被传输系统120驱动穿过传输感应线圈114。调制信号130是具有诸如频率、波形、振幅、调制和/或相位的特征时间结构的交流电流信号(AC信号)。调制信号130可被接通或关闭,并且可调整调制信号的特征(例如,在调制信号130的应用之间,和/或在测量位点118之

间)。传输的探测信号122是延伸超过传感器叶片112的电磁感应场(AC磁场)。

[0144] 传输的探测信号122与第一表面140和/或第二表面142的一种材料或多种材料的相互作用(相对于无相互作用)改变传输的探测信号122的一个或更多个性质。相互作用可根据(一种或多种)材料的位置和/或性质(诸如导电性和磁化率)而引起传输的探测信号122的增强、衰减和/或位移。

[0145] 接收感应线圈116被配置为根据传输的探测信号122与第一表面140和/或第二表面142的(一种或多种)材料的相互作用来接收响应信号126。接收感应线圈116对电磁场敏感,并且通过感应感测电磁场。响应于电磁场接通或关闭,响应于电磁场(例如,振荡场)的时变特性,响应于电磁场的移动,响应于电磁场内的材料的移动,和/或响应于传感器叶片112相对于间隙144的移动,接收感应线圈116可在存在电磁场的情况下产生电流和/或电压。

[0146] 传输的探测信号122与响应信号126的比较可用于确定材料的存在或不存在(例如,在第一表面140处和/或在第二表面142处)和/或材料之间的距离(例如,第一表面140和第二表面142之间的分隔距离134)。通常,分隔距离134的测量是基于响应信号126的测量位点118处的测量和/或响应信号126与测量位点118处的传输的探测信号122的比较。

[0147] 传输的探测信号122和测量的间隙距离(厚度)通常在第一表面140和第二表面142之间。在一些示例中,传输的探测信号122和/或测量的间隙距离可在传感器叶片112和第一表面140之间,和/或传感器叶片112和第二表面142之间。例如,电子测隙规110和/或传感器叶片112可被配置为测量传感器叶片112和第一表面140之间的间隙距离,并且被配置为使第二表面142与传感器叶片112接触。在这种配置中,分隔距离134是测量的间隙距离加上传感器叶片112的叶片厚度158。作为另一个示例,电子测隙规110和/或传感器叶片112可被配置为独立地测量传感器叶片112和第一表面140之间的间隙距离(第一间隙距离),以及传感器叶片112和第二表面142之间的间隙距离(第二间隙距离)。在这种配置中,分隔距离134为测量的(第一和第二)间隙距离加上传感器叶片112的叶片厚度158。传输感应线圈114、接收感应线圈116和/或测量位点118可与第一表面140和第二表面142中的一者或两者相关联。

[0148] 本段的以下主题表征了本公开的示例41,其中示例41还包括根据上述示例40的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输系统120包括信号发生器184,其被配置为产生调制信号130。

[0149] 信号发生器184产生用于传输感应线圈114中每一个的调制信号130(AC电信号),以产生传输的探测信号122。信号发生器184可包括振荡器和/或波形发生器,以提供AC电压和/或电流信号。信号发生器184被配置为产生具有诸如频率、波形、振幅、调制和/或相位的特征时间属性(characteristic temporal attribute)的调制信号130。信号发生器184可被配置为控制、调节和/或改变调制信号130的时间属性。信号发生器184可被配置为将调制信号130传送到传输感应线圈114中的每一个,并且可被配置为将调制信号130同时传送到传输感应线圈114中的一个或更多个。通常,信号发生器184借助低阻抗电路路径连接到传输感应线圈114。在调制信号130的一个频率或多个频率处的低阻抗(例如,小于100欧姆的幅度)有助于调制信号130的有效电传输。

[0150] 信号发生器184可被配置为以(并且调制信号130可具有)适合于生成与间隙144的第一表面140和第二表面142的材料相互作用的传输的探测信号122(调制的电磁辐射)的频

率生成调制信号130。较低频率的调制的电磁辐射(例如,小于100kHz(千赫兹)、小于1kHz或小于0.1kHz)可更深入地渗透进入第一工件136和第二工件138。较高的频率(例如,诸如大于0.1MHz(兆赫兹)、大于10MHz或大于1,000MHz的微波频率或无线电频率(RF))可加强第一工件136和第二工件138的表面相互作用。通常,频率大于1Hz(赫兹)并小于1,000GHz(千兆赫兹)。

[0151] 本段的以下主题表征了本公开的示例42,其中示例42还包括根据上述示例40至41中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输系统120被配置为通过频分复用来复用所传输的探测信号122。

[0152] 传输系统120和/或解复用器180可被配置为将调制信号130传送到传输感应线圈114,以经由频分复用产生传输的探测信号122。因此,调制信号130中的至少一个可具有与调制信号130中的至少另一个不同的频率。同样地,传输的探测信号122中的至少一个可具有与传输的探测信号122中的至少另一个不同的频率。除此之外或另选地,传输感应线圈114可响应于所选择的频率,和/或不同的传输感应线圈114可响应于不同的频率。例如,传输感应线圈114可以是谐振的,和/或不同的传输感应线圈114可具有不同的谐振频率峰值。

[0153] 具有不同频率的调制信号130(和传输的探测信号122)可同时传送到传输感应线圈114(由传输感应线圈114产生),而在不同的测量位点118处的调制信号130(和传输的探测信号122)之间没有显著的串扰。

[0154] 频分复用是其中单个输入(或输出)信号连接到同时有效(active)并且每个具有不同频率的多个输出(或输入)信号的复用方案。具体地,对于一组输出(或输入)信号中的每一个,单个输入(或输出)信号(例如,电流振幅)以不同的频率被调制(或解调)。典型的频分复用处理将单个输入信号传输到在非重叠频率范围内调制的输出信号中的每一个,使得输出信号中的每一个具有不同的频率。相反,典型的频分复用处理以不同的频率同时接收多个输入信号中的每一个,解调输入信号中的每一个,并且产生作为输入的组合的输出。输出可被时分复用(即,每个解调的输入信号可在输出信号中顺序传输)、并行(即,每个解调的输入信号可经由不同的物理信道在输出中传输)或混合(例如,解调的输入信号被模拟或数字混合以产生输出信号)。

[0155] 本段的以下主题表征了本公开的示例43,其中示例43还包括根据上述示例40至42中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收系统124被配置为通过频分复用来复用响应信号126。

[0156] 接收系统124和/或复用器190可被配置为经由频分复用同时从两个或更多个接收感应线圈116接收响应信号126。因此,响应信号126中的至少一个可具有与响应信号126中的至少另一个不同的频率。除此之外或另选地,接收感应线圈116可响应于所选择的频率,和/或不同的接收感应线圈116可响应于不同的频率。例如,接收感应线圈116可以是谐振的,和/或不同的接收感应线圈116可具有不同的谐振频率峰值。

[0157] 接收具有不同频率的响应信号126可减少不同的测量位点118和/或接收感应线圈116之间的串扰。

[0158] 本段的以下主题表征了本公开的示例44,其中示例44还包括根据上述示例40至43中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输的探测信号122是静态交变电磁场。

[0159] 传输的探测信号122可以是静态(即稳态)交变电磁感应场(静态AC磁场)。虽然传输的探测信号122各自具有频率并且是时变的,但是频率足够高以将传输的探测信号122的平均性质与调制频率性质分开。例如,传输的探测信号122可各自独立地具有基本上恒定的振幅,同时相应的所传输的探测信号122是有效的。如另一个示例,传输的探测信号122可各自独立地具有基本上恒定的调制(以与平均振幅相比的频率的相对振幅),同时相应的所传输的探测信号122是有效的。具有静态(即,稳态)性质有助于检测由于在间隙144处的第一表面140、第二表面142、第一工件136和/或第二工件138对传输的探测信号122的影响。

[0160] 本段的以下主题表征了本公开的示例45,其中示例45还包括根据上述示例40至44中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,所传输的探测信号122是RF信号。

[0161] 传输的探测信号122和/或调制的信号130可具有无线电频谱中的频率,即大于3kHz且小于30GHz。诸如RF信号的频率的相对较高的频率可加强在间隙144处的第一工件136和第二工件138的表面相互作用。

[0162] 本段的以下主题表征了本公开的示例46,其中示例46还包括根据上述示例40至45中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,所传输的探测信号122具有大于10kHz且小于10GHz的频率。

[0163] 频率在10kHz和10GHz之间的范围内的传输的探测信号122和/或调制信号130通过公约、国家法律和/或国际条约可在商业上是方便的,和/或被分配用于工业和科学用途。

[0164] 本段的以下主题表征了本公开的示例47,其中示例47还包括根据上述示例40至46中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传感器叶片112具有叶片平面156和垂直于叶片平面156的叶片厚度158。传输感应线圈114被配置为在叶片平面156之外生成静态交变电磁场,以在垂直于叶片平面156的预定距离内探测放置在传感器叶片112外部的材料。预定距离小于二十倍的叶片厚度158。

[0165] 传输的探测信号122和/或调制信号130可以是静态(即稳态)交变电磁感应场(静态AC磁场)。交变电磁场超过传输感应线圈114渗透进入与每个交变电磁场相关联的传感器叶片112、测量位点118和传输感应线圈114附近的空间。交变电磁场被金属、金属材料、磁性材料、导磁材料和导电材料扭曲,并与其相互作用。因此,传输的探测信号122可受到包括任何这种材料的第一表面140和/或第二表面142的存在、类型和/或布置的影响。

[0166] 通常,由传输感应线圈114生成的静态交变电磁场具有相对于与传输感应线圈114相距的距离的反向功率而减小的静态场强(振幅)。静态交变电磁场中每一个的静态源强度和源距离关系取决于调制信号130的振幅和产生静态交变电磁场的传输感应线圈114的配置。在静态交变电磁场的振幅具有预定值(例如,对应于接收感应线圈116处的最小可检测值的振幅)处与传输感应线圈114相距的距离可以是传感器叶片112的特征感测距离。特征感测距离可为至少1mm、至少5mm、至少10mm和/或小于100mm。因此,电子测隙规110和传感器叶片112可被配置为测量为至少1mm、至少5mm、至少10mm和/或小于100mm的间隙144的分隔距离134。

[0167] 本段的以下主题表征了本公开的示例48,其中示例48还包括根据上述示例40至47中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输感应线圈114是RF传输天线186。

[0168] 传输感应线圈114可以是RF传输天线186,其被配置为响应于调制信号130,和/或

产生具有无线电频谱中的频率的传输的探测信号122。RF传输天线186可有效地产生RF信号,并且有利于有效的电气设计和RF信号的使用。RF传输天线186可具有传输频率范围和/或峰值传输频率(在无线电频谱中)。RF传输天线186可被调谐为在一个或更多个频率下(在无线电频谱中)进行传输。

[0169] 本段的以下主题表征了本公开的示例49,其中示例49还包括根据上述示例48的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,所有RF传输天线186被调谐为在公共频率下进行传输。

[0170] RF传输天线186可各自被调谐为在公共频率下和/或在公共频率的范围内传输。使所有RF传输天线186以相同的频率传输可有助于电子器件的设计和/或电子器件(诸如传输系统120)的效率。使所有RF频率传输天线186以相同的频率传输可有助于在公共频率下使用电子测隙规110和/或传感器叶片112。可选择公共频率以探测间隙144的选择的表面特性,和/或探测间隙144内的选择的表面深度。

[0171] 本段的以下主题表征了本公开的示例50,其中示例50还包括根据上述示例49的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输系统120包括被配置为以公共频率产生调制信号130的信号发生器184。

[0172] 信号发生器184可被配置为以公共频率产生调制信号130,使得传输的探测信号122都具有公共频率。因此,信号发生器184可被配置为便于以公共频率生成传输的探测信号122。

[0173] 本段的以下主题表征了本公开的示例51,其中示例51还包括根据上述示例48的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,RF传输天线186中的至少一个被调谐为在与RF传输天线186中的至少另一个不同的频率下传输。

[0174] RF传输天线186可被调谐为以不同的频率进行传输,以在不同频率用于不同的测量位点118时减少调制信号130和/或传输的探测信号122之间的串扰。

[0175] 本段的以下主题表征了本公开的示例52,其中示例52还包括根据上述示例51的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,所有的RF传输天线186被调谐为在与彼此不同的频率下进行传输。

[0176] 使所有RF传输天线186以不同的频率传输可减少所有测量位点118、传输的探测信号122和/或调制信号130之间的串扰。

[0177] 本段的以下主题表征了本公开的示例53,其中示例53还包括根据上述示例51至52中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输系统120包括信号发生器184,其被配置为在频带产生调制信号130。不同的频率在频带内。

[0178] 信号发生器184可被配置为在用于传输感应线圈114的任何频率下产生调制信号130,使得在不同频率下的调制信号130可驱动传输感应线圈114以在不同频率下产生传输的探测信号122。

[0179] 本段的以下主题表征了本公开的示例54,其中示例54还包括根据上述示例48至53中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收感应线圈116是RF接收天线188。

[0180] 接收感应线圈116可以是RF接收天线188,其被配置为响应于具有在无线电频谱中的频率的所传输的探测信号122。RF接收天线188可有效地接收RF信号,有利于有效的电气

设计,并且有助于RF信号的使用。RF接收天线188可具有接收频率范围和/或峰值接收频率(在无线电频谱中)。RF接收天线188可被调谐为在一个或更多个频率下(在无线电频谱中)接收。RF接收天线188可被配置为在相应的测量位点118处接收由对应的RF传输天线186生成的信号。

[0181] 本段的以下主题表征了本公开的示例55,其中示例55还包括根据上述示例54的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,RF传输天线186中的每一个被调谐为在相应的频率下传输。RF接收天线188中的每一个与RF传输天线186中的相应一个相关联,并且被调谐以接收RF传输天线186中的相应一个的相应频率。

[0182] RF传输天线186和RF接收天线188可在测量位点118处配对,其中RF接收天线188被调谐以接收源于对应的RF传输天线186的信号。这种配置可有助于有效地接收传输的探测信号122(如由间隙144处的材料的存在所修改),和/或可限制测量位点118之间的串扰。

[0183] 本段的以下主题表征了本公开的示例56,其中示例56还包括根据上述示例54至55中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,RF传输天线186中的每一个被调谐为在相应的频率下传输。RF接收天线188中的每一个与RF传输天线186中的相应一个相关联。接收系统124被调谐,以为RF接收天线188中的每一个接收RF传输天线186中相应的一个的相应频率。

[0184] 接收系统124可被调谐以接收源于RF传输天线186的信号(另外或替代地,RF接收天线188被调谐以从对应的RF传输天线186接收信号,例如,如示例56中所述)。接收系统124可被配置为根据RF接收天线188中的哪些是有效的(接收到响应信号126)来协调接收哪个频率。调谐接收系统124可有利于响应信号126的有效接收,和/或可限制测量位点118之间的串扰。

[0185] 本段的以下主题表征了本公开的示例57,其中示例57还包括根据上述示例40至47中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收感应线圈116是RF接收天线188。

[0186] 接收感应线圈116可以是RF接收天线188,而不管传输感应线圈114是否是RF传输天线186(例如,示例48)。RF接收天线188可被配置为在相应的测量位点118处接收由对应的传输感应线圈114生成的信号。RF接收天线188可有效地接收RF信号,有利于有效的电气设计,并且有助于RF信号的使用。

[0187] 本段的以下主题表征了本公开的示例58,其中示例58还包括根据上述示例40至57中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,所传输的探测信号122包括具有载波频率的载波。响应信号126包括载波频率下的主信号。接收系统124被配置为确定主信号相对于载波的相对振幅、相对调制和相位移中的至少一个。

[0188] 传输的探测信号122可包括,和/或可以是载波(具有一定的波形和频率的信号)。传输的探测信号122的频率可称为载波频率。传输的探测信号122与间隙144处的材料相互作用,该相互作用通常引起振幅变化、调制变化和相位移而不是频率变化。AC波的调制(例如,载波、RF信号等)是AC波的频率分量相对于AC波的平均振幅(也称为DC强度)的相对振幅。通过确定响应信号126的主信号的振幅、调制和/或相位移,可确定间隙144处的材料和/或分隔距离134的相互作用。

[0189] 本段的以下主题表征了本公开的示例59,其中示例59还包括根据上述示例40至58

中任一个的主题。整体上参考图1,具体是参考例如图2-6,接收系统124被配置为基于响应信号126生成分隔距离信号132。分隔距离信号132与第一工件136的第一表面140和第二工件138的第二表面142之间的传感器叶片112的测量位点118处的分隔距离134有关。

[0190] 电子测隙规110可用于测量相似或不同部件(诸如第一工件136和第二工件138)之间的间隙144。第一工件136和第二工件138的材料和/或形成间隙144的第一表面140和第二表面142的材料可各自独立地为金属、金属的、导电的、磁性的、聚合物的和/或复合材料。不需要材料是导电的或导磁的。不管第一表面140和/或第二表面142处的第一工件136、第二工件138的材料如何,可针对不同类型的材料校准电子测隙规110,以产生可靠的分隔距离测量。通过将传感器叶片112插入到已知尺寸的(厚度,并且通常是宽度和深度)和已知材料之间的校准间隙中,可校准电子测隙规110。校准间隙可在校准原器(其也可称为校准工具)中形成。如本文进一步讨论的,校准可包括调整穿过传输感应线圈114提供的直流电流128和/或由接收系统124接收的响应信号126。

[0191] 本段的以下主题表征了本公开的示例60,其中示例60还包括根据上述示例59的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收系统124被配置为当测量位点118中的至少一个位于由第一表面140和第二表面142限定的间隙144内时接收响应信号126。

[0192] 传感器叶片112可不完全装配在间隙144内,和/或可不完全插入到间隙144中。间隙144内的测量位点118可用于测量间隙144内的分隔距离134。在间隙144之外的测量位点118可测量基本上无间隙、无限的分隔距离或无信号条件。接收系统124和/或电子测隙规110可被配置为确定哪些测量位点118在间隙144内,哪些测量位点118在间隙144之外。确定哪些测量位点118在间隙144中和/或之外可提供间隙144的深度和/或间隙144的横截面积的测量和/或估计(例如,通过提供间隙144内的传感器叶片112的深度或面积)。接收系统124和/或电子测隙规110可被配置为只有测量位点118中的一个或更多个位于间隙144内才测量分隔距离134。

[0193] 本段的以下主题表征了本公开的示例61,其中示例61还包括根据上述示例40至60中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,其中传输感应线圈114中的每一个由传输系统120单独地电寻址。

[0194] 单独寻址传输感应线圈114允许独立地和/或在不同时间操作一个或更多个传输感应线圈114。独立操作可包括独立地接通、关闭、使用不同的直流电流128,和/或调整用于传输感应线圈114中的一个或更多个(任选地,所有)的直流电流128。传输感应线圈114可以以诸如行、列和/或区域的组来操作(和/或电寻址)。组可以是稀疏的,例如每四个元件,和/或可以是不规则的,例如每四个元件中的一个的平均值被一起控制的区域。

[0195] 传输感应线圈114中的一个或更多个(任选地,每一个)的单独操作有助于在不同的传输感应线圈114和/或测量位点118之间有很少甚至没有串扰的情况下探测间隙144。传输感应线圈114中的一个或更多个(任选地,每一个)的单独操作有助于独立地调整由独立控制的传输感应线圈114产生的磁感应场。例如,可调整用于传输感应线圈114中每一个的直流电流128,使得传输感应线圈114中的每一个产生相同强度的磁感应场。

[0196] 本段的以下主题表征了本公开的示例62,其中示例62还包括根据上述示例40至61中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输系统120包括解复用器180,以在与所传输的探测信号122中的另一个不同的时间产生传输的探测信号122中的一个。

[0197] 传输系统120的解复用器180将来自传输系统120的直流电流128路由到传输感应线圈114中的至少一个,以产生相应的传输的探测信号122。通常,传输系统120的解复用器180将单个输入信号(例如,直流电流128)路由到多个输出目的地中的任一个(例如,传输感应线圈114中的一个)。使用解复用器180有助于有效的电气设计,并且有助于使用单个源(例如,电流源182),以向传输感应线圈114中的每一个提供直流电流128。

[0198] 传输系统120和/或解复用器180可被配置为在不同时间将直流电流128路由到不同的传输感应线圈114。因此,电子测隙规110可被配置为在不同时间产生传输的探测信号122中的不同的探测信号122。例如,传输感应线圈114中的每一个可被顺序地传送直流电流128,以在顺序的测量位点118处产生传输的探测信号122。在其他测量位点118没有传输的探测信号122时,在一些测量位点118处产生传输的探测信号122可减少不同的测量位点118和/或传输感应线圈114之间的串扰。解复用器180可被配置为切换传输感应线圈114中的接收直流电流128的传输感应线圈114,同时直流电流128保持稳定(例如,电流源182产生基本上恒定的直流电流128)。

[0199] 本段的以下主题表征了本公开的示例63,其中示例63还包括根据上述示例40至62中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输系统120被配置为通过时分复用来复用所传输的探测信号122。

[0200] 传输系统120和/或解复用器180可被配置为将直流电流128传送到传输感应线圈114,以通过时分复用一次产生一个(或一组)传输的探测信号122。因此,少于全部的(例如,一个)传输感应线圈114将同时产生传输的探测信号122。在不同时间产生传输的探测信号122可减少不同的测量位点118和/或传输感应线圈114之间的串扰。

[0201] 本段的以下主题表征了本公开的示例64,其中示例64还包括根据上述示例40至63中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收系统124被配置为接收用于接收感应线圈116中每一个的响应信号126中的至少一个。

[0202] 接收感应线圈116中的每一个可响应于在相应测量位点118处的磁感应场(来自与间隙144处的材料相互作用的所传输的探测信号122)。接收系统124可接收用于对应于测量位点118的接收感应线圈116中每一个的单独的响应信号126。接收用于接收感应线圈116中每一个的响应信号126中的至少一个有助于独立地确定测量位点118中的每一个处的磁感应场的相互作用。

[0203] 本段的以下主题表征了本公开的示例65,其中示例65还包括根据上述示例40至64中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收感应线圈116中的每一个由接收系统124单独地电寻址。

[0204] 单独寻址接收感应线圈116允许独立地和/或在不同时间接收一个或更多个响应信号126。接收感应线圈116可以以对应于有源传输感应线圈114(即,产生传输的探测信号122的传输感应线圈114)的诸如行、列和/或区域的组来使用。除此之外或另选地,接收感应线圈116可单独地电寻址,以在测量位点118中不同的测量位点处(例如,顺序地或连续地)对传输的探测信号122中的一个或更多个进行采样。

[0205] 接收感应线圈116中的一个或更多个(任选地,每一个)的单独使用有助于在不同的传输感应线圈114、接收感应线圈116和/或测量位点118之间有很少甚至没有串扰的情况下探测间隙144。例如,对于测量位点118中的每一个,相关联的传输感应线圈114可在该测

量位点118处产生相应的传输的探测信号122,而相邻的传输感应线圈114被禁用(不被操作为产生传输的探测信号122)。该测量位点118的相关联的接收感应线圈116(和/或相邻测量位点118的相邻的接收感应线圈116)可用于从正在操作的传输感应线圈114中的一个接收相应的传输的探测信号122,而没有来自其他的传输的探测信号122的显著干扰。

[0206] 本段的以下主题表征了本公开的示例66,其中示例66还包括根据上述示例40至65中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收系统124包括复用器190,以在与响应信号126中的另一个不同的时间接收响应信号126中的一个。

[0207] 接收系统124的复用器190从接收感应线圈116中的至少一个路由响应信号126,以在接收系统124内被测量。通常,接收系统124的复用器190将多个输入信号中的任一个(例如,来自相应的接收感应线圈116的响应信号126中的任一个)路由到单个输出信号,其然后可被进一步处理(例如,通过模数转换)。使用复用器190有助于有效的电气设计,并且有助于使用单组检测电子器件来检测来自所有接收感应线圈116的相应的响应信号126。

[0208] 接收系统124和/或复用器190可被配置为在不同时间从不同的接收感应线圈116路由响应信号126。因此,电子测隙规110可被配置为在不同的时间接收响应信号126中不同的响应信号。例如,接收感应线圈116中的每一个可经由复用器190顺序连接到接收系统124,以从顺序的测量位点118接收顺序的响应信号126。在其他测量位点118不传送响应信号126时,来自一些测量位点118的响应信号126的接收可减少不同的测量位点118和/或接收感应线圈116之间的串扰。

[0209] 本段的以下主题表征了本公开的示例67,其中示例67还包括根据上述示例40至66中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收系统124被配置为通过时分复用来复用响应信号126。

[0210] 接收系统124和/或复用器190可被配置为经由时分复用从接收感应线圈116一次一个(或一组)地接收响应信号126。因此,少于全部的(例如,一个)接收感应线圈116将同时传送响应信号126。在不同时间接收响应信号126可减少不同的测量位点118和/或接收感应线圈116之间的串扰。

[0211] 本段的以下主题表征了本公开的示例68,其中示例68还包括根据上述示例40至67中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输感应线圈114与接收感应线圈116在数量上相等。

[0212] 通常,传输感应线圈114与接收感应线圈116具有一对一的关系。测量位点118中的每一个在该测量位点118处可具有传输感应线圈114中的一个和接收感应线圈116中的一个。接收感应线圈116中的每一个可被布置和/或定位,以感测由传输感应线圈114中的一个产生的磁感应场。因此,测量位点118中的每一个可具有传输感应线圈114中的单个传输感应线圈和接收感应线圈116中的单个接收感应线圈。被配对和/或配置为串联工作的传输感应线圈114和接收感应线圈116可简化传输和接收电子器件(例如,在传输系统120和接收系统124内)和确定分隔距离134(通过主要将响应信号126与用于配对的和/或串联的传输感应线圈114和接收感应线圈116的传输的探测信号122进行比较)。

[0213] 本段的以下主题表征了本公开的示例69,其中示例69还包括根据上述示例40至68中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收感应线圈116散置在传感器叶片112中的传输感应线圈114之间。

[0214] 传输感应线圈114可围绕传感器叶片112分隔开,以探测间隙144内以定距离间隔的测量位点118。接收感应线圈116通常靠近在测量位点118处的相关联的传输感应线圈114。接收感应线圈116可与未被传输感应线圈114占据的空间中的传输感应线圈114协同定位,并且因此可散置在传输感应线圈114之间。协同定位和/或散置传输感应线圈114和接收感应线圈116提供了更紧凑的测量位点118和/或更紧凑的传感器叶片112(例如,在叶片平面156的面积方面,在叶片厚度158方面,和/或在传感器叶片112的体积方面)。更紧凑的测量位点118允许传感器叶片112中测量位点118的较高密度,以及因此更高分辨率确定间隙144内的分隔距离134。

[0215] 本段的以下主题表征了本公开的示例70,其中示例70还包括根据上述示例40至69中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,在传感器叶片112中的接收感应线圈116和传输感应线圈114相互交叉。

[0216] 接收感应线圈116和传输感应线圈114可在传感器叶片112中相互交叉,例如,如图6的示例中所示。相互交叉的接收感应线圈116和传输感应线圈114提供更紧凑的测量位点118和/或更紧凑的传感器叶片112(例如,在叶片平面156的面积方面,在叶片厚度158方面,和/或在传感器叶片112的体积方面)。更紧凑的测量位点118允许传感器叶片112中测量位点118的较高密度,以及因此更高分辨率确定间隙144内的分隔距离134。

[0217] 本段的以下主题表征了本公开的示例71,其中示例71还包括根据上述示例40至70中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收感应线圈116中的至少一个与传输感应线圈114中的至少一个在传感器叶片112中重叠。

[0218] 接收感应线圈116中的一些或全部可能与传输感应线圈114中的一些或全部重叠。重叠的接收感应线圈116和传输感应线圈114提供更紧凑的测量位点118和/或更紧凑的传感器叶片112(例如在叶片平面156的面积方面,在叶片厚度158方面,和/或在传感器叶片112的体积方面)。更紧凑的测量位点118允许传感器叶片112中测量位点118的较高密度,以及因此更高分辨率确定间隙144内的分隔距离134。

[0219] 本段的以下主题表征了本公开的示例72,其中示例72还包括根据上述示例71的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收感应线圈116中的每一个与传输感应线圈114中的至少一个在传感器叶片112中重叠。

[0220] 所有的接收感应线圈116可与对应的传输感应线圈114重叠。使所有接收感应线圈116各自与传输感应线圈114中的至少一个重叠提供了将紧凑的所有测量位点118和/或与如果只有一些接收感应线圈116与传输感应线圈114重叠的情况相比甚至更紧凑的传感器叶片112。

[0221] 本段的以下主题表征了本公开的示例73,其中示例73还包括根据上述示例40至72中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收感应线圈116中的至少一个和传输感应线圈114中的至少一个在重叠区域148中重叠,并且在重叠区域148中被一个或更多个电介质层150分隔。

[0222] 至少在接收感应线圈116和传输感应线圈114重叠(即,在重叠区域148中)处,接收感应线圈116和传输感应线圈114被分隔,以避免接收感应线圈116和传输感应线圈114之间的直接电连接。电介质层150(如图5的示例中所示)是传感器叶片112的电绝缘层。相比于一个电介质层150,更多的电介质层150可提供更加抵抗电击穿的电隔离和/或鲁棒性。电介质

层150通常非常薄(例如,小于100 μm (微米)、小于10 μm 或小于1 μm 厚)。电介质层150通常具有足够的弹性,以在传感器叶片112的挠曲之后保持介电完整性。

[0223] 本段的以下主题表征了本公开的示例74,其中示例74还包括根据上述示例40至73中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输感应线圈114和接收感应线圈116由一个或更多个电介质层150分隔。

[0224] 通常,传输感应线圈114和接收感应线圈116可被分隔,以避免传输感应线圈114和接收感应线圈116之间的直接电连接。更多的电介质层150可提供更加抵抗一个电介质层150的电击穿的电隔离和/或鲁棒性。

[0225] 本段的以下主题表征了本公开的示例75,其中示例75还包括根据上述示例74的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输感应线圈114和接收感应线圈116形成在一个或更多个电介质层150中的单个电介质层150的相对侧面上。

[0226] 电介质层150各自可以是能够支撑机电结构的基板。例如,电子电路元件可被沉积、丝网印刷、蚀刻和/或模制在电介质层150上。传输感应线圈114和/或接收感应线圈116可形成在相同或不同的电介质层150上。在一些示例中,传输感应线圈114和接收感应线圈116可形成在电介质层150中单个电介质层的相对侧面上,以减少传感器叶片112所需的总层数,以简化传感器叶片112的生产,和/或简化传输感应线圈114和接收感应线圈116的配准(相对放置)。

[0227] 本段的以下主题表征了本公开的示例76,其中示例76还包括根据上述示例40至75中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输感应线圈114和接收感应线圈116位于传感器叶片112内的不同层中。

[0228] 为了简化传输感应线圈114的生产,接收感应线圈116的生产和/或传感器叶片112的生产,传输感应线圈114和接收感应线圈116可在传感器叶片112内的不同层上制造,和/或定位在其中。例如,并且如图5所示,传输感应线圈114可位于一个线圈层154中,并且接收感应线圈116可位于另一个线圈层154中。线圈层154中的每一个可独立地制造,然后层叠在一起以形成传感器叶片112。线圈层154可包括在传输感应线圈114和/或接收感应线圈116中每一个之间和/或周围的介电材料。如果传输感应线圈114和接收感应线圈116保持与彼此电隔离,线圈层154可与或不与中间的电介质层150层叠在一起。线圈层154可非常薄(例如,小于100 μm 、小于10 μm 或小于1 μm 厚)。线圈层154通常具有足够的弹性,以在传感器叶片112的挠曲之后保持传输感应线圈114和/或接收感应线圈116的完整性。

[0229] 本段的以下主题表征了本公开的示例77,其中示例77还包括根据上述示例40至76中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传输感应线圈114包括石墨烯。

[0230] 传输感应线圈114是形成为线圈配置的具有导电材料的电路元件。传输感应线圈114通常是微电子装置,并且通常在基板上或基板中形成非常薄的层(例如,小于100 μm 、小于10 μm 或小于1 μm 厚的层)。石墨烯是非常薄的导电形式的碳,其可以成层形成,通常仅为单个原子厚。形成石墨烯的传输感应线圈114可允许薄的传输感应线圈114、薄的线圈层154和/或薄的传感器叶片112,其可有利于传输感应线圈114的高密度,和/或在薄间隙144(例如,平均小于10mm、小于1mm或小于0.1mm厚)中使用传感器叶片112。

[0231] 本段的以下主题表征了本公开的示例78,其中示例78还包括根据上述示例40至77中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,接收感应线圈116包括石墨烯。

[0232] 接收感应线圈116是形成为线圈配置的具有导电材料的电路元件。接收感应线圈116通常是微电子装置，并且通常在基板上或基板中形成非常薄的层(例如，小于100μm、小于10μm或小于1μm厚的层)。形成石墨烯的接收感应线圈116可允许薄的接收感应线圈116、薄的线圈层154和/或薄的传感器叶片112，其可有利于接收感应线圈116的高密度和/或在薄间隙144中使用传感器叶片112。

[0233] 本段的以下主题表征了本公开的示例79，其中示例79还包括根据上述示例40至78中任一个的主题。整体参考图1，具体是参考例如图2-6，传输感应线圈114是螺旋平面的电感器。

[0234] 螺旋平面的电感器可形成薄层，这可有利于传输感应线圈114的高密度和/或在薄间隙144中使用传感器叶片112。螺旋平面的电感器是具有平面和螺旋形式的电感器。螺旋平面的电感器的两个示例在图6中示意性地示出。图6的接收感应线圈116具有典型的平面螺旋形式，其具有围绕沿循简单几何形状(在图6的示例中为矩形形式；其他的常见形式为圆形、椭圆形、正方形和凸多边形)的公共中心成螺旋形的电迹线。图6的传输的感应线圈114具有平面的凹面螺旋形式，其中电迹线围绕沿循凹面多边形的公共中心成螺旋形。螺旋平面的电感器可称为扁平电感器。

[0235] 本段的以下主题表征了本公开的示例80，其中示例80还包括根据上述示例40至79中任一个的主题。参考图1，具体是参考例如图2-6，接收感应线圈116是螺旋平面的电感器。

[0236] 螺旋平面的电感器可以形成薄层，这可有利于接收感应线圈116的高密度和/或在薄间隙144中使用传感器叶片112。

[0237] 本段的以下主题表征了本公开的示例81，其中示例81还包括根据上述示例40至80中任一个的主题。整体参考图1，具体是参考例如图2-6，传感器叶片112包括覆盖传输感应线圈114和接收感应线圈116的外部保护层152。

[0238] 如图5的示例中所示，外部保护层152将传输感应线圈114和接收感应线圈116与机械接触、电接触和/或环境效应隔离。例如，外部保护层152可以是坚固的、耐磨的、防水的和/或气密的。如传感器叶片112，外部保护层152可以是半柔性的，和/或能够承受当传感器叶片112插入间隙144时可发生的挠曲。外部保护层152可包括，和/或可以是聚氨酯材料的半柔性涂层和/或耐刮擦和钢化玻璃(例如，GORILLA GLASS(大猩猩玻璃)牌玻璃)。传感器叶片112可在所有环境暴露的边缘和/或表面处包括外部保护层152。通常，外部保护层152非常薄(例如，小于1mm、小于0.1mm或小于0.01mm)。

[0239] 本段的以下主题表征了本公开的示例82，其中示例82还包括根据上述示例40至81中任一个的主题。整体参考图1，具体是参考例如图2-6，传输感应线圈114中的每一个具有小于1平方厘米且大于100平方微米的侧面面积。

[0240] 小的传输感应线圈114(具有小于1平方厘米的侧面面积)允许小的测量位点118和/或高分辨率测量分隔距离134。传输感应线圈114的侧面面积是传感器叶片112的叶片平面156中的传输感应线圈114的面积。

[0241] 本段的以下主题表征了本公开的示例83，其中示例83还包括根据上述示例40至82中任一个的主题。整体参考图1，具体是参考例如图2-6，接收感应线圈116中的每一个具有小于1平方厘米且大于100平方微米的侧面面积。

[0242] 小的接收感应线圈116(具有小于1平方厘米的侧面面积)允许小的测量位点118

和/或高分辨率测量分隔距离134。接收感应线圈116的侧面面积是传感器叶片112的叶片平面156中的接收感应线圈116的面积。

[0243] 本段的以下主题表征了本公开的示例84,其中示例84还包括根据上述示例40至83中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传感器叶片112具有至少1000个测量位点118,其密度大于每平方厘米单个测量位点118且每平方厘米1,000,000个所述测量位点118。

[0244] 电子测隙规110可具有高密度的测量位点118和/或大量的测量位点118,以提供间隙144的高分辨率厚度图。传感器叶片112可具有与典型间隙144可比较的有效表面积(包括测量位点118的表面积)和/或宽度。因此,传感器叶片112可具有大于10cm²(平方厘米)或大于50cm²的有效表面积。传感器叶片112可具有大于1cm、大于5cm或大于20cm的宽度。

[0245] 本段的以下主题表征了本公开的示例85,其中示例85还包括根据上述示例40至84中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传感器叶片112具有小于0.5mm且大于0.001mm的厚度。

[0246] 传感器叶片112可以是薄的以装配在宽范围的间隙144尺寸内。传感器叶片112可足够薄以装配在薄的(例如,小至0.5mm)间隙144中,和/或测量间隙144。传感器叶片112可足够薄以装配在间隙144中的垫片170周围的剩余空间中,和/或测量该剩余空间。在航空航天工业中,零件之间的相对位置公差可小于0.05英寸(约1mm),因此间隙144和/或剩余空间可小于1mm。

[0247] 本段的以下主题表征了本公开的示例86,其中示例86还包括根据上述示例40至85中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考图2-6,电子测隙规110还包括可操作地耦接到接收系统124的计算系统160。

[0248] 计算系统160通常被配置(例如,被编程)为控制传输系统120和/或接收系统124。计算系统160可用传输感应线圈114协调产生传输的探测信号122,用接收感应线圈116接收响应信号126,和/或确定分隔距离134。

[0249] 计算系统160可通过一个或更多个电子通信链路可操作地耦接到传输系统120和/或接收系统124。计算系统160可包括和/或可以是计算机(例如,包括处理器和存储器)和/或专用硬件。计算系统160可在软件、固件和/或硬件中实现其功能(例如,控制传输的探测信号122的生成,控制响应信号126的接收,和/或确定分隔距离134)。

[0250] 本段的以下主题表征了本公开的示例87,其中示例87还包括根据上述示例86的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,计算系统160被配置为基于响应信号126和测量位点118来生成由传感器叶片112探测的间隙144的3D虚拟模型162。

[0251] 3D虚拟模型162表示由电子测隙规110和传感器叶片112探测的间隙144,并且可用于分析间隙144,以选择一个或更多个垫片170以填充间隙144,和/或创建一个或更多个垫片170以填充间隙144。3D虚拟模型162可用于确定间隙144的体积、表面积和/或形状。间隙144的准确表示(诸如3D虚拟模型162)提供了确定一个或更多个垫片170的尺寸和形状以填充间隙144的准确指导。

[0252] 计算系统160被配置为基于在测量位点118处确定的分隔距离134来生成3D虚拟模型162。计算系统160可被配置为基于响应信号126和/或传输的探测信号122来确定分隔距离134。除此之外或另选地,计算系统160可接收(例如,从接收系统124)基于响应信号126

和/或传输的探测信号122确定的分隔距离134。3D虚拟模型162可以是点云、多边形网格和/或3D表示(例如,表面镶嵌、3D线框、3D实体或3D边界表示)。

[0253] 本段的以下主题表征了本公开的示例88,其中示例88还包括根据上述示例87的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,计算系统160被配置为通过将候选垫片的尺寸与间隙144的3D虚拟模型162进行比较来识别要插入到间隙144中的合适的垫片170。

[0254] 计算系统160可存储候选垫片的尺寸,和/或可被提供候选垫片的尺寸。可将候选垫片的尺寸与3D虚拟模型162进行比较,以识别候选垫片中的哪一个或更多个适合于填充间隙144。例如,在图3中,三个垫片170被布置成一起填充间隙144。

[0255] 计算系统160可被配置为从候选垫片的集合中识别一个或更多个合适的垫片170以填充间隙144。计算系统160可被配置为识别和任选地排列可各自适合的几个单独的候选垫片。计算系统160可被配置为识别可一起用于填充间隙144的一组候选垫片(因此,该组候选垫片一起是合适的垫片170)。计算系统160另外可识别用于将该组候选垫片放置在间隙144内的顺序和/或图案。垫片170可由合适的结构材料形成,诸如黄铜、铝、钛和复合材料(例如,玻璃纤维)。

[0256] 一个或更多个合适的垫片170的识别有助于将垫片170安装在间隙144中,因为技术人员不需要试验适合的垫片170,直到找到合适的垫片170。除此之外或另选地,合适的垫片170的取向、顺序和/或放置可由计算系统160来识别,从而有助于以正确的取向、顺序和/或放置安装垫片170。

[0257] 本段的以下主题表征了本公开的示例89,其中示例89还包括根据上述示例87至88中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,计算系统160包括显示器164,并且被配置为在显示器164上呈现间隙144的3D虚拟模型162的图像。

[0258] 呈现3D虚拟模型162的图像可有助于操作者验证间隙144被成功测量。除此之外或另选地,3D虚拟模型162的图像可用于识别和/或验证要用于填充间隙144的合适的垫片170。

[0259] 通常,计算系统160被配置为交互地显示3D虚拟模型162,使得操作者可缩放和旋转视图,以查看3D虚拟模型162的不同视角。计算系统160可被配置为用显示器164呈现候选垫片和/或合适的垫片170的图像,并且可被配置为显示比较图像(例如,叠加、并排等)。显示器164是诸如LED显示器、LCD显示器等的电子视觉显示器。

[0260] 本段的以下主题表征了本公开的示例90,其中示例90还包括根据上述示例86至89中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,计算系统160被配置为基于响应信号126确定分隔距离134。分隔距离134在第一工件136的第一表面140与第二工件138的第二表面142之间的传感器叶片112的测量位点118处。

[0261] 计算系统160被配置为基于对应于测量位点118中每一个的响应信号126和/或传输的探测信号122来确定分隔距离134。根据在测量位点118处的电磁场(例如传输的探测信号122)的存在和/或性质生成响应信号126。第一工件136和第二工件138的材料的位置和组成影响来自(第一工件136的)第一表面140和(第二工件138的)第二表面142之间的测量位点118的响应信号126。对于测量位点118中的每一个,可将测量的响应信号126与响应信号的校准值和/或模型进行比较,以确定分隔距离134。

[0262] 本段的以下主题表征了本公开的示例91,其中示例91还包括根据上述示例90的主

题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,计算系统160被配置为通过将候选垫片的尺寸与在测量位点118处的分隔距离134进行比较来识别被传感器叶片112探测到的要插入到间隙144中的合适的垫片170。

[0263] 计算系统160可存储候选垫片的尺寸,和/或可被提供候选垫片的尺寸。可将候选垫片的尺寸与在测量位点118处的分隔距离134进行比较,以识别候选垫片中的哪一个或更多个适合于填充间隙144。计算系统160可被配置为从候选垫片的集合中识别一个或更多个合适的垫片170以填充间隙144。计算系统160可被配置为识别和任选地排列可各自适合的几个单独的候选垫片。计算系统160可被配置为识别可一起用于填充间隙144的一组候选垫片(因此,该组候选垫片一起是合适的垫片170)。计算系统160另外可识别用于将该组候选垫片放置在间隙144内的顺序和/或图案。

[0264] 一个或更多个合适的垫片170的识别有助于将垫片170安装在间隙144中,因为技术人员不需要试验适合的垫片170,直到找到合适的垫片170。除此之外或另选地,合适的垫片170的取向、顺序和/或放置可由计算系统160来识别,从而有助于以正确的取向、顺序和/或放置安装垫片170。

[0265] 本段的以下主题表征了本公开的示例92,其中示例92还包括根据上述示例90至91中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,计算系统160包括显示器164,并且被配置为在显示器164上显示测量位点118处的分隔距离134的图像。

[0266] 呈现分隔距离134的图像可有助于操作者验证间隙144被成功测量。除此之外或另选地,分隔距离134的图像可用于识别和/或验证要用于填充间隙144的合适的垫片170。

[0267] 在测量位点118处的分隔距离134的图像可以是图表、表格、线轮廓、表面轮廓、多边形网格和/或体绘制的形式。例如,在测量位点118处的分隔距离134的图像可以是二维条形图,其中每个条表示在测量位点118中的一个处的分隔距离134中的一个,并且每个条可被布置为表示测量位点118的二维布置。

[0268] 计算系统160可被配置为交互地显示分隔距离134,使得操作者可缩放和旋转视图以查看分隔距离134的不同视角。计算系统160可被配置为用显示器164呈现候选垫片和/或合适的垫片170的图像和/或尺寸,并且可被配置为显示比较图像(例如,叠加、并排等)。

[0269] 本段的以下主题表征了本公开的示例93,其中示例93还包括根据上述示例86至92中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,计算系统160和接收系统124被配置为无线地通信。

[0270] 计算系统160和接收系统124之间的无线通信便于接收系统124的远程操作和/或电子测隙规110的模块化设计。例如,计算系统160可在物理上与接收系统124分离或可分离。合适的无线通信协议和技术包括红外通信、无线电通信、WI-FI品牌协议和BLUETOOTH(蓝牙)品牌协议。

[0271] 本段的以下主题表征了本公开的示例94,其中示例94还包括根据上述示例86至93中任一个的主题。整体参考图1,具体是参考例如图2-6,传感器叶片112、传输系统120和接收系统124是手持式探针172的一部分。计算系统160被配置为向手持式探针172无线地供电。

[0272] 计算系统160和手持式探针172之间的无线电力传输便于手持式探针172的远程操作和/或电子测隙规110的模块化设计。与不使用无线电力传输的电子测隙规110相比,借助

无线电力传输,手持式探针172可以以较小的封装生产,并且不需要电力电缆。通过感应充电(电感耦接的组件),通过电容充电(电容耦接的组件),和/或通过辐射充电(例如,通过传输无线电能量、微波能量、激光能量等的波束),可执行无线电力传输。

[0273] 整体参考图7并且参考图1-6,公开了测量间隙144内的分隔距离134的方法400。方法400包括(框402)将传感器叶片112插入由第一表面140和第二表面142限定的间隙144中,(框404)从传输感应线圈114产生传输的探测信号122,(框406)响应于传输的探测信号122,用接收感应线圈116接收响应信号126,以及(框408)基于响应信号126,确定测量位点118处的第一表面140和第二表面142之间的分隔距离134。传感器叶片112包括传输感应线圈114、接收感应线圈116和围绕传感器叶片112在二维中间隔的测量位点118。测量位点118中的每一个与传输感应线圈114中的至少一个和接收感应线圈116中的至少一个相关联。本段的前述主题表征本公开的示例95。

[0274] 方法400允许测量间隙144内的分隔距离134,其可用于选择一个或更多个垫片170以填充间隙144,形成一个或更多个垫片170以填充间隙144,和/或用一个或更多个垫片170填充间隙144。除此之外或另选地,方法400可用于验证部件(例如,第一工件136和第二工件138)的正确组装和/或垫片170在间隙144内的正确组装。方法400可导致间隙144的3D测量(例如,3D虚拟模型162)。

[0275] 方法400包括将传感器叶片112插入402间隙144中。传感器叶片112被配置为用传输感应线圈114发射传输的探测信号122,并且用接收感应线圈116检测响应信号126。间隙144内的传感器叶片112允许测量间隙144的第一表面140和第二表面142。

[0276] 方法400包括通常当传感器叶片112的至少一部分在间隙144内时,生成404传输的探测信号122,以在测量位点118处探测第一表面140和/或第二表面142。

[0277] 方法400包括由于传输的探测信号122与第一表面140和/或第二表面142的相互作用而接收406响应信号126。响应信号126(相对于没有间隙144,相对于已知厚度和间隙144的组成,和/或相对于传输的探测信号122)的变化提供关于间隙144、第一表面140和/或第二表面142的信息,特别是,第一表面140和第二表面142之间的分隔距离134。

[0278] 方法400包括基于响应信号126来确定408测量位点118处的分隔距离134。确定408包括确定响应信号126的幅度和/或频率相关的测量,诸如强度、能量、振幅、调制和/或相位。响应信号126的测量可与间隙144、第一表面140和/或第二表面142的性质有关。

[0279] 本段的以下主题表征了本公开的示例96,其中示例96还包括根据上述示例95的主题。整体参考图7,根据方法400,(框404)从传输感应线圈114生成传输的探测信号122包括从与测量位点118的第一个相关联的传输感应线圈114中的一个或更多个生成传输的探测信号122中的第一个,以及从与测量位点118中的第二个相关联的传输感应线圈114中的一个或更多个生成传输的探测信号122中的第二个。另外,根据方法400,(框406)响应于所传输的探测信号122,用接收感应线圈116接收响应信号126包括响应于响应于传输的探测信号122中的第一个,用接收感应线圈116中的一个或更多个接收响应信号126中的第一个,以及响应于传输的探测信号122中的第二个,用接收感应线圈116中的一个或更多个接收响应信号126中的第二个。此外,根据方法400,(框408)基于响应信号126确定测量位点118处的第一表面140和第二表面142之间的分隔距离134包括基于响应信号126中的第一个,确定测量位点118中的第一个处的第一表面140和第二表面142之间的分隔距离134中的第一个,以

及基于响应信号126中的第二个,确定测量位点118中的第二个处的第一表面140和第二表面142之间的分离距离134中的第二个。

[0280] 方法400可包括使用传感器叶片112中多于一个的测量位点118。例如,生成404可包括在不同的测量位点118处生成传输的探测信号122中的第一个和第二个。接收406可包括从不同的测量位点118接收响应信号126中的第一个和第二个。确定408可包括基于响应信号126中的第一个和第二个,确定不同测量位点118处的分隔距离134中的第一个和第二个。可同时地、至少部分同时地或顺序地地执行针对不同测量位点118的生成404和接收406。使用多于一个的测量位点118允许在测量位点118中的不同的测量位点,任选地每一个测量位点处测量对应的多于一个的分隔距离134。

[0281] 本段的以下主题表征了本公开的示例97,其中示例97还包括根据上述示例95至96中任一个的主题。整体参考图7,方法400还包括(框410)基于来自与测量位点118中的至少一个相关联的一个或更多个接收感应线圈116的响应信号126,识别在间隙144之外的测量位点118中的至少一个。

[0282] 插入402可包括将传感器叶片112部分地插入到间隙144中(例如,传感器叶片112不完全装配到间隙144中,和/或传感器叶片112不完全插入到间隙144中)。对于在间隙144之外的测量位点118,方法400可包括识别410响应信号126中哪些不具有间隙144内的响应信号126的特征,指示不存在间隙144,和/或指示大于预定义的阈值厚度(例如,大于10cm或大于100cm)的间隙144。这样的响应信号126可被识别为在间隙144之外。可指示不存在间隙144的响应信号126可具有高于预定义的上限的强度、振幅和/或调制,或者可具有低于预定义的下限的强度、振幅和/或调制。

[0283] 确定哪些测量位点118在间隙144中和/或之外可提供间隙144的深度和/或间隙144的横截面积的测量和/或估计(例如,通过提供间隙144内的传感器叶片112的深度或面积)。

[0284] 本段的以下主题表征了本公开的示例98,其中示例98还包括根据上述示例95至97中任一个的主题。整体参考图7,根据方法400,(框408)基于响应信号126确定测量位点118处的第一表面140和第二表面142之间的分隔距离134包括确定对于响应信号126中的每一个的幅度测量。幅度测量选自由振幅、强度、能量和功率组成的组。分隔距离134中的每一个与测量位点118中对应的一个相关联。分隔距离134与接收感应线圈116的响应信号126的幅度测量有关,其与测量位点118中对应的一个相关联。

[0285] 确定408可包括确定响应信号126中每一个的响应信号的特征。特征可包括幅度和/或频率相关的测量,诸如强度、振幅、能量、功率、调制和相位中的一个或更多个。幅度测量可指示分隔距离134,因为传输的探测信号122的(AC或DC)电磁场可关于传感器叶片112和间隙144的表面(即,第一表面140和/或第二表面142)之间的距离而失去强度(和相关参数)。频率测量可指示第一工件136和/或第二工件138的材料的复杂的电磁响应。可单独地或结合幅度测量使用频率测量以确定分隔距离134。

[0286] 本段的以下主题表征了本公开的示例99,其中示例99还包括根据上述示例95至98中任一个的主题。整体参考图7,方法400还包括基于测量位点118处的分隔距离134创建间隙144的3D虚拟模型162。

[0287] 3D虚拟模型162表示由电子测隙规110和传感器叶片112探测的间隙144,并且可用

于分析间隙144,以选择一个或更多个垫片170以填充间隙144,和/或创建一个或更多个垫片170以填充间隙144。3D虚拟模型162可用于确定间隙144的体积、表面积和/或形状。间隙144的准确表示(诸如3D虚拟模型162)提供了确定一个或更多个垫片170的尺寸和形状以填充间隙144的准确指导。

[0288] 3D虚拟模型162可基于在测量位点118(其围绕传感器叶片112在二维中间隔)处确定的分隔距离134来创建。3D虚拟模型162可以是点云、多边形网格和/或3D表示(例如,表面镶嵌、3D线框、3D实体或3D边界表示)。

[0289] 本段的以下主题表征了本公开的示例100,其中示例100还包括根据上述示例99的主题。整体参考图7,方法400还包括(框412)基于间隙144的3D虚拟模型162选择一个或更多个合适的垫片170以适配间隙144。

[0290] 选择412可包括将候选垫片的尺寸与3D虚拟模型162进行比较。例如,选择412可包括参考候选垫片的尺寸集合,以将候选垫片的尺寸与3D虚拟模型162进行比较。选择412可包括识别可填充间隙144的一个或更多个候选垫片(每个潜在的合适的垫片170),和/或可包括识别可一起填充间隙144的一个或更多个候选垫片组(因此,垫片组中的每一个是合适的垫片170)。选择412可包括识别用于将候选垫片和/或候选垫片组放置在间隙144内的顺序、取向和/或图案。选择412可包括排列候选垫片和/或候选垫片组。

[0291] 选择412合适的垫片170和/或识别一个或更多个合适的垫片170可有助于将垫片170安装在间隙144中,因为技术人员不需要试验适配的垫片170,直到找到合适的垫片170。除此之外或另选地,选择412合适的垫片170的取向、顺序和/或放置可有助于以正确的取向、顺序和/或放置安装垫片170。

[0292] 本段的以下主题表征了本公开的示例101,其中示例101还包括根据上述示例99至100中任一个的主题。整体参考图7,方法400还包括通过将候选垫片的尺寸与间隙144的3D虚拟模型162进行比较来识别合适的垫片170以适配间隙144。

[0293] 识别和/或选择412合适的垫片170可包括将候选垫片的尺寸与间隙144的3D虚拟模型162进行比较。比较可包括识别和/或计算3D虚拟模型162中的相应尺寸。

[0294] 本段的以下主题表征了本公开的示例102,其中示例102还包括根据上述示例99至101中任一个的主题。整体参考图7,方法400还包括(框414)基于间隙144的3D虚拟模型162形成一个或更多个合适的垫片170以适配间隙144。

[0295] 形成414可包括根据3D虚拟模型162的尺寸和形状,通过机械加工、模制、冲压和/或添加制造形成垫片170。基于3D虚拟模型162,形成414可以是自动化的(例如,计算机数字控制的机械加工和/或添加制造)。形成的垫片170可组装在间隙144中以填充间隙144。

[0296] 本段的以下主题表征了本公开的示例103,其中示例103还包括根据上述示例95至102中任一个的主题。整体参考图7,方法400还包括(框412)基于测量位点118处的分隔距离134来选择一个或更多个合适的垫片170以适配间隙144。

[0297] 选择412可包括将候选垫片的尺寸与测量位点118处的分隔距离134进行比较。例如,选择412可包括参考候选垫片的尺寸的集合,以将候选垫片的尺寸与分隔距离134进行比较。选择412可包括识别可填充间隙144的一个或更多个候选垫片(每个潜在的合适的垫片170),和/或可包括识别可一起填充间隙144的一个或更多个候选垫片组(因此,垫片组中的每一个是合适的垫片170)。选择412可包括识别用于将候选垫片和/或候选垫片组放置在

间隙144内的顺序、取向和/或图案。选择412可包括排列候选垫片和/或候选垫片组。

[0298] 选择412合适的垫片170和/或识别一个或更多个合适的垫片170可有助于将垫片170安装在间隙144中,因为技术人员不需要试验适配的垫片170,直到找到合适的垫片170。除此之外或另选地,选择412合适的垫片170的取向、顺序和/或放置可有助于以正确的取向、顺序和/或放置安装垫片170。

[0299] 本段的以下主题表征了本公开的示例104,其中示例104还包括根据上述示例95至103中任一个的主题。整体参考图7,方法400还包括基于测量位点118处的分隔距离134来显示间隙144的图像。

[0300] 显示分隔距离134的图像可有助于操作者验证间隙144被成功测量。除此之外或另选地,分隔距离134的图像可用于识别和/或验证要用于填充间隙144的合适的垫片170。

[0301] 在测量位点118处的分隔距离134的图像可以是图表、表格、线轮廓、表面轮廓、多边形网格和/或体绘制的形式。例如,在测量位点118处的分隔距离134的图像可以是二维条形图,其中每个条表示在测量位点118中的一个处的分隔距离134中的一个,并且每个条可被布置为表示测量位点118的二维布置。

[0302] 分隔距离134的图像的显示可以是交互式的,使得操作者可缩放和旋转视图以查看分隔距离134的不同视角。方法400还包括以这种方式呈现候选垫片和/或合适的垫片170的图像和/或尺寸,使得可比较分隔距离134和垫片(例如,比较的图像,诸如叠加层、并排图像等)。

[0303] 本段的以下主题表征了本公开的示例105,其中示例105还包括根据上述示例95至104中任一个的主题。整体参考图7,根据方法400,间隙144是具有在第一表面140和第二表面142之间的已知厚度分布的校准间隙。方法400还包括通过基于响应信号126生成分隔距离信号132,以及将分隔距离信号132与已知厚度分布进行比较以生成对于测量位点118的校准系数,校准包括传感器叶片的电子测隙规110。根据方法400,(框408)基于响应信号126确定测量位点118处的第一表面140和第二表面142之间的分隔距离134包括基于响应信号126和校准系数确定分隔距离134。

[0304] 如果被校准,电子测隙规110可更可靠地和/或更准确地操作。方法400可包括通过使用具有已知厚度分布和/或已知材料的校准间隙进行校准。例如,如果校准间隙具有均匀的厚度分布,但是在校准间隙内获得的响应信号126不均匀,则校准可包括对测量位点118应用校准系数以使分隔距离134均匀。在基于响应信号126计算分隔距离134期间,可通过响应信号126的数学变换应用校准系数。数学变换可以是线性的或非线性的,并且通常是单调的(即,不是多值的)。通过调整直流电流128和/或调制信号130可应用校准系数,以产生传输的探测信号122,从而产生校准间隙内的响应信号126,使得响应信号126表示校准间隙的已知厚度分布。

[0305] 本段的以下主题表征了本公开的示例106,其中示例106还包括根据上述示例105的主题。整体参考图7,根据方法400,将分隔距离信号132与已知厚度分布进行比较以生成用于测量位点118的校准系数包括确定测量位点118处的校准的分隔距离135。

[0306] 校准的分隔距离135是应用校准系数的分隔距离134。校准的分隔距离135可被确定用于其它间隙144,并且用于比分隔距离134更可靠和/或更准确地确定其它间隙144的尺寸和/或形状。

[0307] 本段的以下主题表征了本公开的示例107,其中示例107还包括根据上述示例106的主题。整体参考图7,根据方法400,将分隔距离信号132与已知厚度分布比较以生成用于测量位点118的校准系数包括确定用于测量位点118中每一个的一个或更多个校准系数,从而将分隔距离信号132数学变换为校准的分隔距离135。

[0308] 数学变换的优点在于其可在硬件、软件和/或固件中执行,以及其可在收集分隔距离信号132和/或确定分隔距离134期间或之后执行。数学变换可以是线性的或非线性的,并且通常是单调的(即,不是多值的)。将分隔距离信号132和/或分隔距离134数学变换为校准的分隔距离135可在硬件、软件和/或固件中,例如在接收系统124中执行。除此之外或另选地,可在事后(post hoc)执行将分隔距离信号132和/或分隔距离134数学变换为校准的分隔距离135。例如,基于第一间隙144(未知的间隙或受测试的间隙)中的测量可收集分隔距离信号132(并且可确定分隔距离134),基于校准间隙中的测量可生成用于测量位点118中每一个的校准系数,然后可将校准系数(通过数学变换)应用于分隔距离信号132和/或分隔距离134,以确定用于第一间隙144的校准的分隔距离135。

[0309] 本段的以下主题表征了本公开的示例108,其中示例108还包括根据上述示例107的主题。整体参考图7,根据方法400,将分隔距离信号132与已知厚度分布比较以生成用于测量位点118的校准系数包括确定用于测量位点118中每一个的一个或更多个校准系数,从而将分隔距离信号132线性地变换为校准的分隔距离135。

[0310] 通常比非线性变换更容易地实现并且更快地执行线性变换。

[0311] 本段的以下主题表征了本公开的示例109,其中示例109还包括根据上述示例105至108中任一个的主题。整体参考图7,方法400还包括根据校准系数调整来自传输感应线圈114的传输的探测信号122中的各个传输的探测信号,以产生校准的传输的探测信号123。

[0312] 通过根据校准系数调整传输的探测信号122可应用校准系数,以产生校准的传输的探测信号123。通过调整直流电流128和/或调制信号130可调整传输的探测信号122。在校准间隙中产生的校准的传输的探测信号123产生表示校准间隙的已知的厚度分布的响应信号126。由校准的传输的探测信号123产生的响应信号126是校准的响应信号127。

[0313] 本段的以下主题表征了本公开的示例110,其中示例110还包括根据上述示例109的主题。整体参考图7,方法400还包括:(a)用校准间隙中的传感器叶片112产生校准的传输的探测信号123,(b)响应于校准的传输的探测信号123,用接收感应线圈116接收校准的响应信号127,(c)基于校准的响应信号127,确定测量位点118处的第一表面140和第二表面142之间的校准的分隔距离135,以及(d)验证校准的分隔距离135与已知厚度分布匹配。

[0314] 校准的分隔距离135可根据校准的响应信号127来确定。通过将校准的分隔距离135与校准间隙的已知厚度分布进行比较,可验证电子测隙规110的校准。如果厚度、体积和/或形状的绝对偏差小于预定阈值,则校准的分隔距离135和已知厚度分布可匹配。例如,如果在测量位点118处的校准的分隔距离135与相应的测量位点118处的已知厚度分布之间的绝对差中的每一个都小于预定义的阈值,则可验证校准。

[0315] 本段的以下主题表征了本公开的示例111,其中示例111还包括根据上述示例105至110中任一个的主题。整体参考图7,方法400还包括根据校准系数调整分隔距离信号132,以产生与已知厚度分布匹配的校准的分隔距离135。

[0316] 通过根据校准系数调整分隔距离信号132和/或响应信号126可应用校准系数。通

过数学变换和/或通过调整接收系统124的电气特性,可调整分隔距离信号132和/或响应信号126。例如,如果接收系统124包括用于接收响应信号126和/或产生分隔距离信号132的增益控制电路(例如,运算放大器、谐振电路等),则可调整增益控制电路以增加或减少其增益,从而相应地调整接收的响应信号126和/或生成的分隔距离信号132。

[0317] 本段的以下主题表征了本公开的示例112,其中示例112还包括根据上述示例95至111中任一个的主题。整体参考图7,根据方法400,(框404)从传输感应线圈114生成传输的探测信号122包括驱动直流电流128穿过传输感应线圈114,以产生传输的探测信号122。

[0318] 驱动直流电流128穿过传输感应线圈114产生磁感应场作为传输的探测信号122。磁感应场通常受到第一表面140、第二表面142、第一工件136和/或第二工件138的存在、类型和/或布置的影响。

[0319] 本段的以下主题表征了本公开的示例113,其中示例113还包括根据上述示例112的主题。整体参考图7,根据方法400,传输的探测信号122是稳态磁场。

[0320] 稳态磁场通常由流过传输感应线圈114的稳态电流(即,直流电流128)产生。稳态磁场超过传输感应线圈114渗透进入与每个稳态磁场相关联的传感器叶片112、测量位点118和传输感应线圈114附近的空间。稳态磁场被金属、金属材料、磁性材料、导磁材料和导电材料扭曲,并与其相互作用。因此,传输的探测信号122可受到包括任何这种材料的第一表面140和/或第二表面142的存在、类型和/或布置的影响。

[0321] 本段的以下主题表征了本公开的示例114,其中示例114还包括根据上述示例95至111中任一个的主题。参考图7,根据方法400,(框404)从传输感应线圈114生成传输的探测信号122包括驱动调制信号130穿过传输感应线圈114,以产生传输的探测信号122。

[0322] 驱动调制信号130穿过传输感应线圈114产生电磁感应场(AC磁场)作为传输的探测信号122。电磁感应场通常受到第一表面140、第二表面142、第一工件136和/或第二工件138的存在、类型和/或布置的影响。利用较低频率的调制的电磁辐射(例如,小于100kHz、小于1kHz或小于0.1kHz)可更深入地渗透进入第一工件136和第二工件138。利用较高的频率(例如,诸如大于0.1MHz、大于10MHz或大于1,000MHz的微波频率或无线电频率)可加强第一工件136和第二工件138的表面相互作用。

[0323] 本段的以下主题表征了本公开的示例115,其中示例115还包括根据上述示例114的主题。整体参考图7,根据方法400,传输的探测信号122是静态交变电磁场。

[0324] 静态(即,稳态)交变电磁感应场(静态AC磁场)由静态调制信号130生成。静态交变电磁感应场具有一般受第一表面140、第二表面142、第一工件136和/或第二工件138等的存在、类型和/或布置影响的静态(即稳态)特性,诸如振幅、调制和相位。利用静态性质有助于检测由于在间隙144处的第一表面140、第二表面142、第一工件136和/或第二工件138对传输的探测信号122的影响。

[0325] 本段的以下主题表征了本公开的示例116,其中示例116还包括根据上述示例114至115中任一个的主题。整体参考图7,根据方法400,(框404)从传输感应线圈114生成传输的探测信号122包括将调制信号130频分复用到传输感应线圈114。

[0326] 通过以不同的测量位点118处的不同的频率将调制信号130传输到传输感应线圈114中的不同的传输感应线圈进行频分复用可减少或消除在不同测量位点118处的调制信号130和/或传输的探测信号122之间显著的串扰。

[0327] 本段的以下主题表征了本公开的示例117,其中示例117还包括根据上述示例114至116中任一个的主题。整体参考图7,根据方法400,(框404)从传输感应线圈114生成传输的探测信号122包括在不同的频率下生成传输的探测信号122。

[0328] 以不同测量位点118处的不同的频率从传输感应线圈114中不同的传输感应线圈传输传输的探测信号122可减少或消除在不同测量位点118处的调制信号130和/或传输的探测信号122之间显著的串扰。

[0329] 本段的以下主题表征了本公开的示例118,其中示例118还包括根据上述示例114至115中任一个的主题。整体参考图7,根据方法400,(框404)从传输感应线圈114生成传输的探测信号122包括在公共频率下生成传输的探测信号122。

[0330] 对于所有测量位点118以相同的频率从传输感应线圈114中的不同的传输感应线圈传输传输的探测信号122可有利于电子器件设计和/或电子器件(诸如传输系统120)的效率,和/或可有利于在公共频率下使用电子测隙规110和/或传感器叶片112。可选择公共频率以探测间隙144的选择的表面特性,和/或探测间隙144内的选择的表面深度。

[0331] 本段的以下主题表征了本公开的示例119,其中示例119还包括根据上述示例114至118中任一个的主题。整体参考图7,根据方法400,(框406)响应于传输的探测信号122,用接收感应线圈116接收响应信号126包括频分复用来自接收感应线圈116的响应信号126。

[0332] 通过在不同测量位点118处以不同频率从接收感应线圈116中的不同的接收感应线圈接收响应信号126进行频分复用可减少或消除测量位点118和/或接收感应线圈116之间的显著串扰。

[0333] 本段的以下主题表征了本公开的示例120,其中示例120还包括根据上述示例114至119中任一个的主题。整体参考图7,根据方法400,(框406)响应于传输的探测信号122用接收感应线圈116接收响应信号126包括在不同的频率下接收响应信号126。

[0334] 以不同测量位点118处的不同频率从接收感应线圈116中的不同的接收感应线圈接收响应信号126可减少或消除测量位点118和/或接收感应线圈116之间的显著串扰。

[0335] 本段的以下主题表征了本公开的示例121,其中示例121还包括根据上述示例114至118中任一个的主题。整体参考图7,根据方法400,(框406)响应于传输的探测信号122用接收感应线圈116接收响应信号126包括在公共频率下接收响应信号126。

[0336] 以对于所有测量位点118以相同的频率从接收感应线圈116中的不同的接收感应线圈接收响应信号126可有利于电子器件设计和/或电子器件(诸如接收系统124)的效率,和/或可有利于在公共频率下使用电子测隙规110和/或传感器叶片112。可选择公共频率以指示间隙144的选择的表面特性,和/或探测间隙144内的选择的表面深度。

[0337] 本段的以下主题表征了本公开的示例122,其中示例122还包括根据上述示例95至121中任一个的主题。整体参考图7,根据方法400,(框404)从传输感应线圈114生成传输的探测信号122包括生成包括载波频率下的载波的传输的探测信号122。另外,根据方法400,(框406)响应于传输的探测信号122用接收感应线圈116接收响应信号126包括接收包括载波频率下的主信号的响应信号126。此外,根据方法400,(框408)基于响应信号126确定测量位点118处的第一表面140和第二表面142之间的分隔距离134包括确定主信号相对于载波的相对振幅、相对调制和相位移中的至少一个。

[0338] 传输的探测信号122可包括,和/或可以是载波(具有一定的波形和频率(即载波频

率)的信号)。传输的探测信号122与间隙144处的材料相互作用,该相互作用通常引起振幅变化、调制变化和相位移而不是频率变化。通过确定响应信号126的主信号的振幅、调制和/或相位移,可确定间隙144处的材料和/或分隔距离134的相互作用。

[0339] 可在如图8所示的飞行器制造和服务方法1100以及如图9所示的飞行器1102的背景下描述本公开的示例。在预生产期间,例示性方法1100可包括飞行器1102的规格和设计(框1104)和材料采购(框1106)。在生产期间,可进行飞行器1102的部件和子组件制造(框1108)和系统集成(框1110)。此后,飞行器1102可通过认证和交付(框1112)以投入使用(框1114)。在使用中,飞行器1102可被安排用于日常维护和服务(框1116)。日常维护和服务可包括飞行器1102的一个或更多个系统的修改、重新配置、翻新等。

[0340] 例示性方法1100的过程中的每一个可由系统集成商、第三方和/或运营商(例如,客户)执行或进行。为了本说明书的目的,系统集成商可包括但不限于任何数量的飞行器制造商和主要系统分包商;第三方可包括但不限于任何数量的供应商、分包商和供货商;运营商可以是航空公司、租赁公司、军事实体、服务机构等。

[0341] 如图9所示,通过例示性方法1100生产的飞行器1102可包括具有多个高级系统1120和内部1122的机身1118。高级系统1120的示例包括推进系统1124、电气系统1126、液压系统1128和环境系统1130中的一个或更多个。可包括任何数量的其他系统。虽然示出了航空航天的示例,但是本文公开的原理可应用于其它行业,诸如汽车工业。因此,除了飞行器1102之外,本文公开的原理可应用于其他交通工具,诸如陆上交通工具、海上交通工具、太空交通工具等。

[0342] 可在制造和服务方法1100的任何一个或更多个阶段期间采用本文所示出或描述的(一个或多个)装置和(一个或多个)方法。例如,对于部件和子组件制造的部件或子组件(框1108)可以类似于在飞行器1102使用时(框1114)生产的部件或子组件的方式制造或生产。另外,例如,通过大大地加快组装或降低飞行器1102的成本,在生产阶段1108和1110期间可利用(一个或多个)装置、(一个或多个)方法或其组合的一个或更多个示例。类似地,例如但不限于当飞行器1102在使用中(框1114)和/或在维护和服务期间(框1116)时,可利用装置、方法实现或其组合的一个或更多个示例。

[0343] 本文公开的(一个或多个)装置和(一个或多个)方法的不同示例包括各种部件、特征和功能。应当理解,本文公开的(一个或多个)装置和(一个或多个)方法的各种示例可包括本文以任何组合公开的(一个或多个)装置和(一个或多个)方法的任何其它示例中的任何部件、特征和功能,并且所有这些可能性旨在在本公开的范围内。

[0344] 本公开所属领域的技术人员将会想到本文所阐述的示例的许多修改,其具有前述描述和相关附图中呈现的教导的益处。

[0345] 因此,应当理解,本公开不限于所示出的具体示例,并且修改和其他示例旨在被包括在所附权利要求的范围内。此外,虽然前述描述和相关附图在元素和/或功能的某些例示性组合的上下文中描述了本公开的示例,但是应当理解,在不偏离所附权利要求的精神的情况下,通过替代实施方式可提供元素和/或功能的不同组合。因此,所附权利要求中的括号里面的附图标记仅用于说明目的,并不旨在将所要求保护的主题的范围限制于本公开中提供的具体示例。

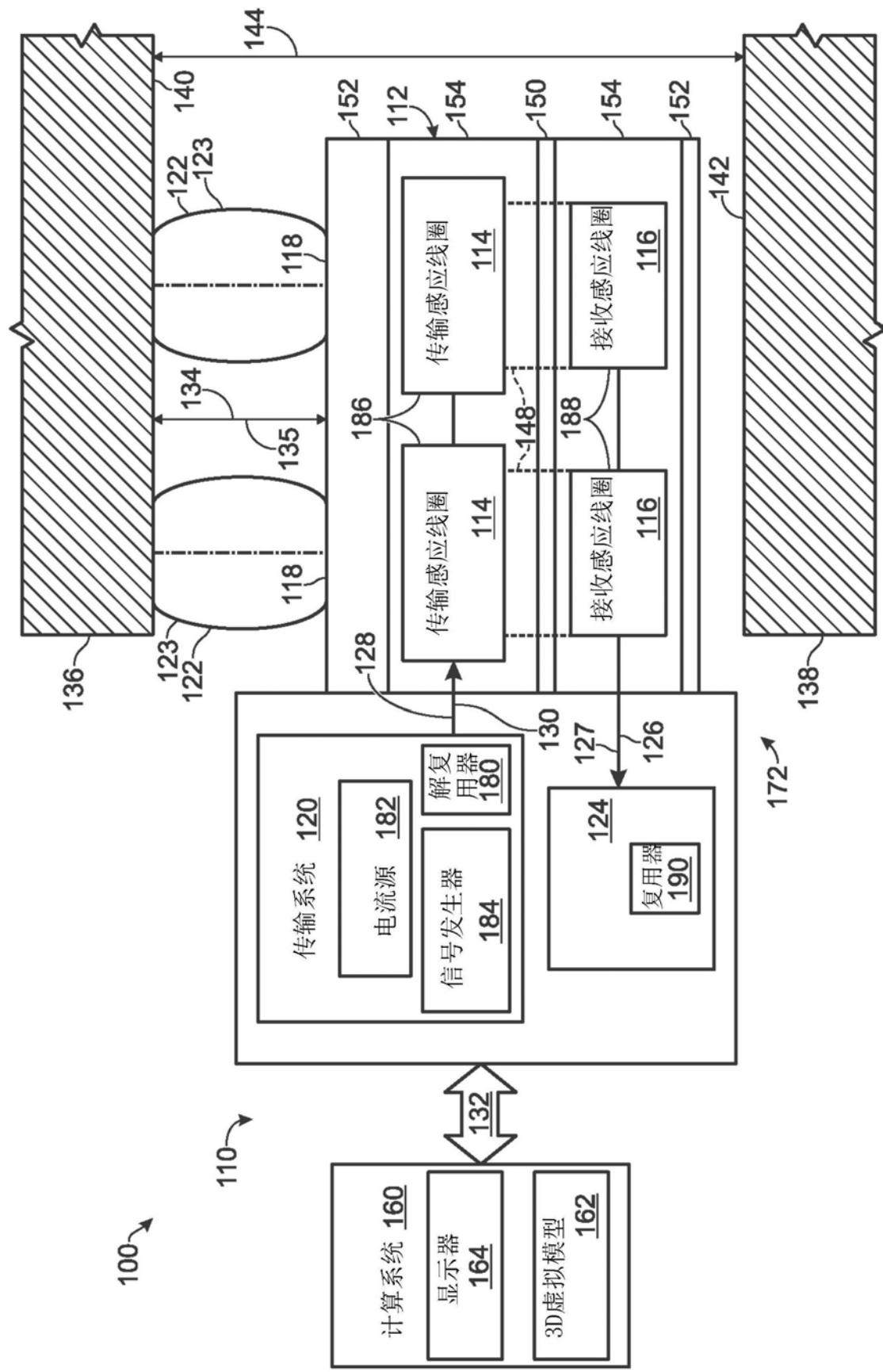


图1

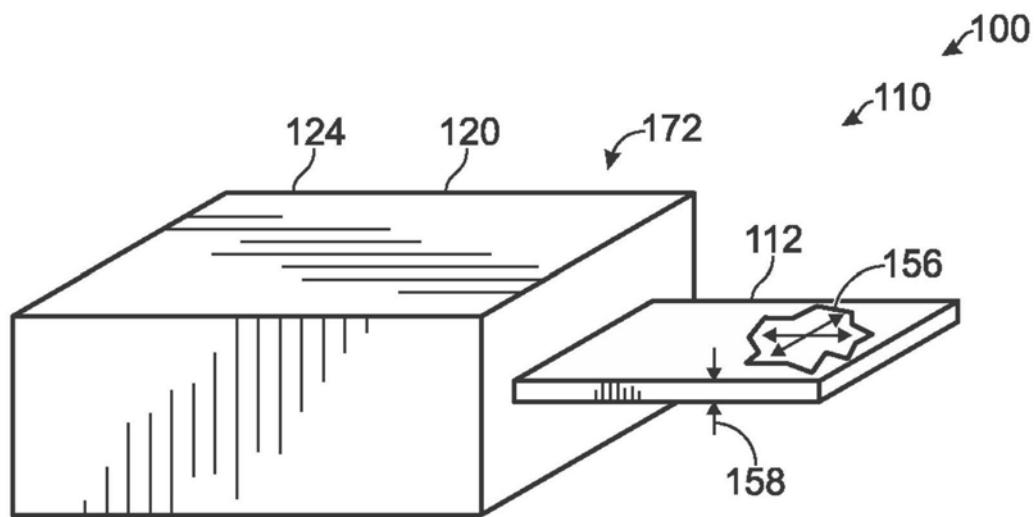


图2

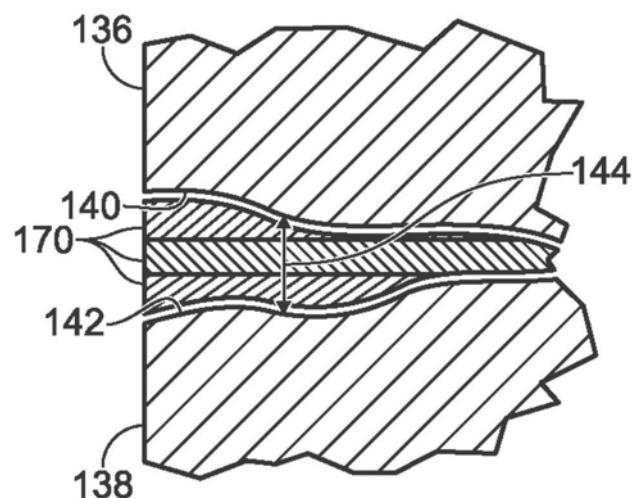


图3

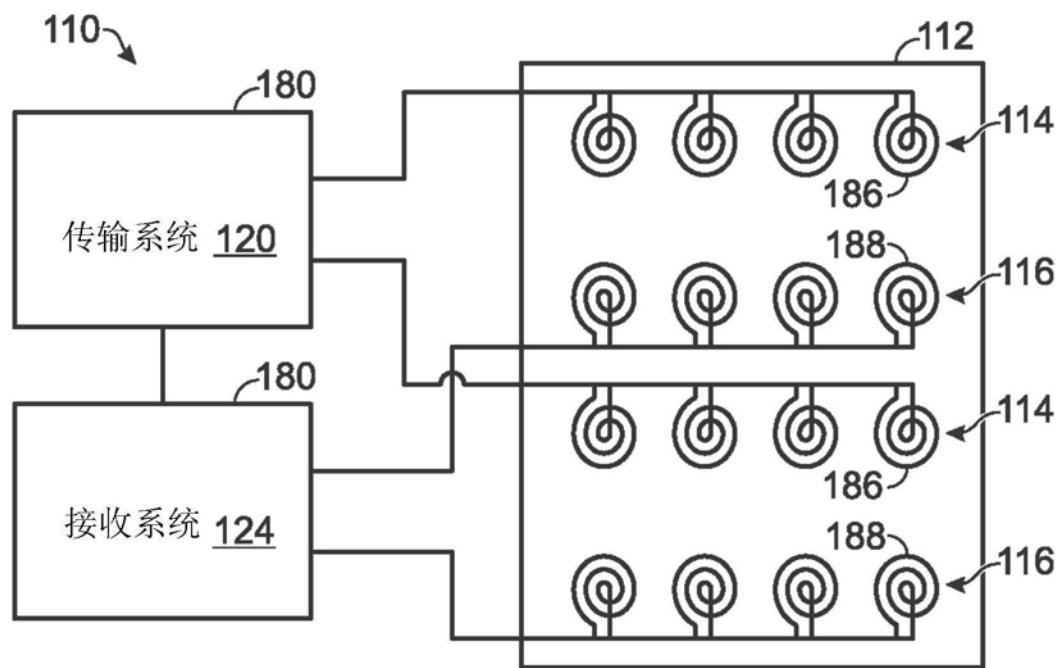


图4

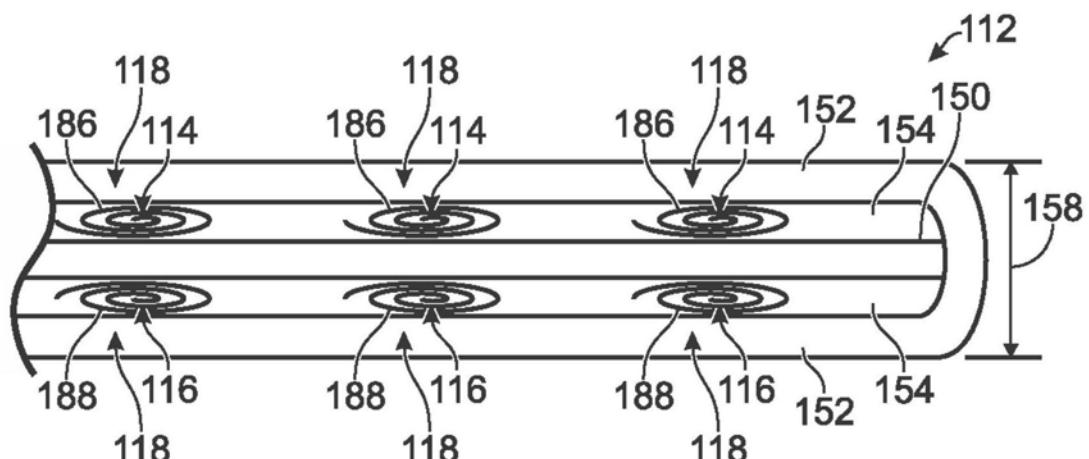


图5

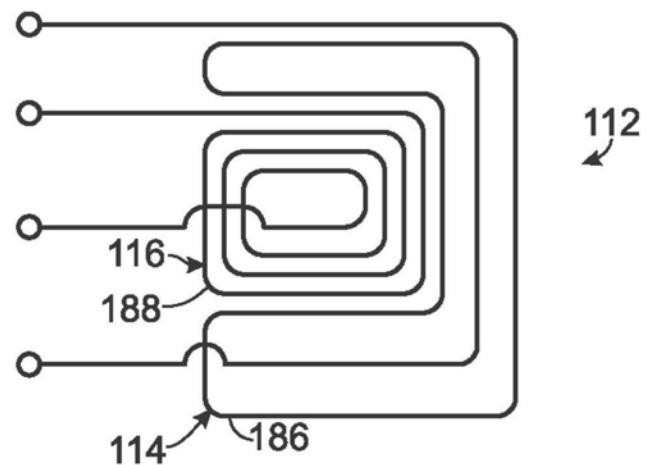


图6

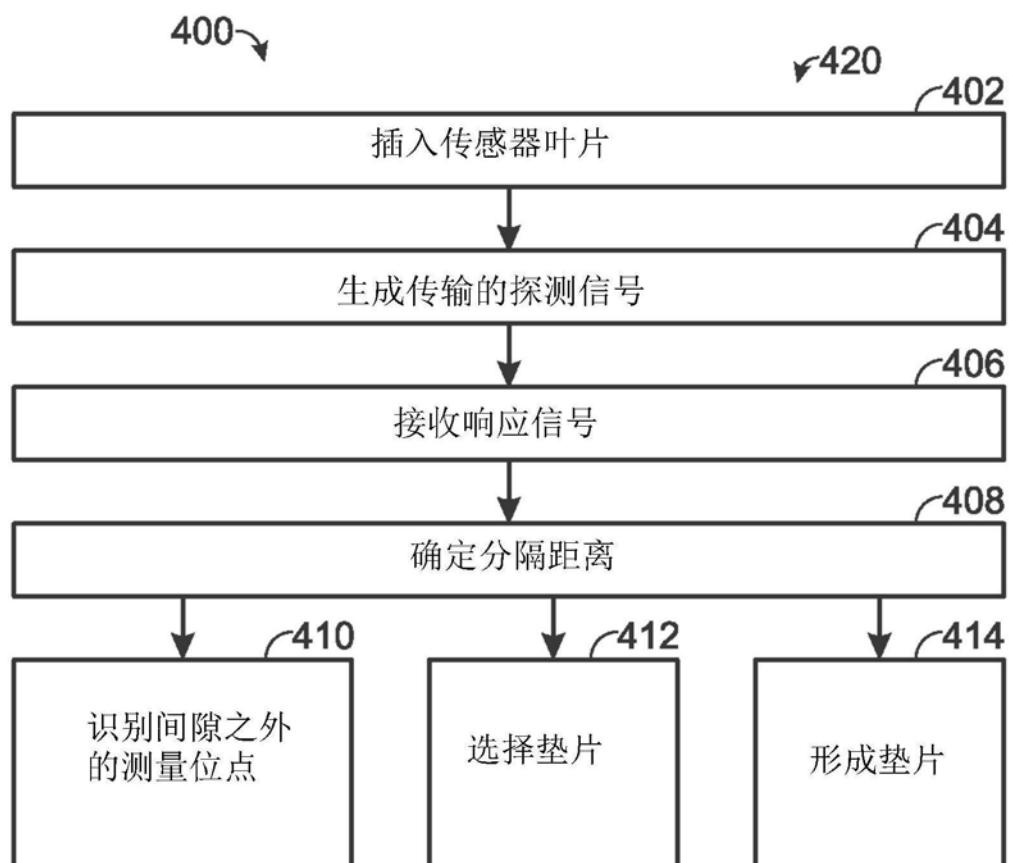


图7

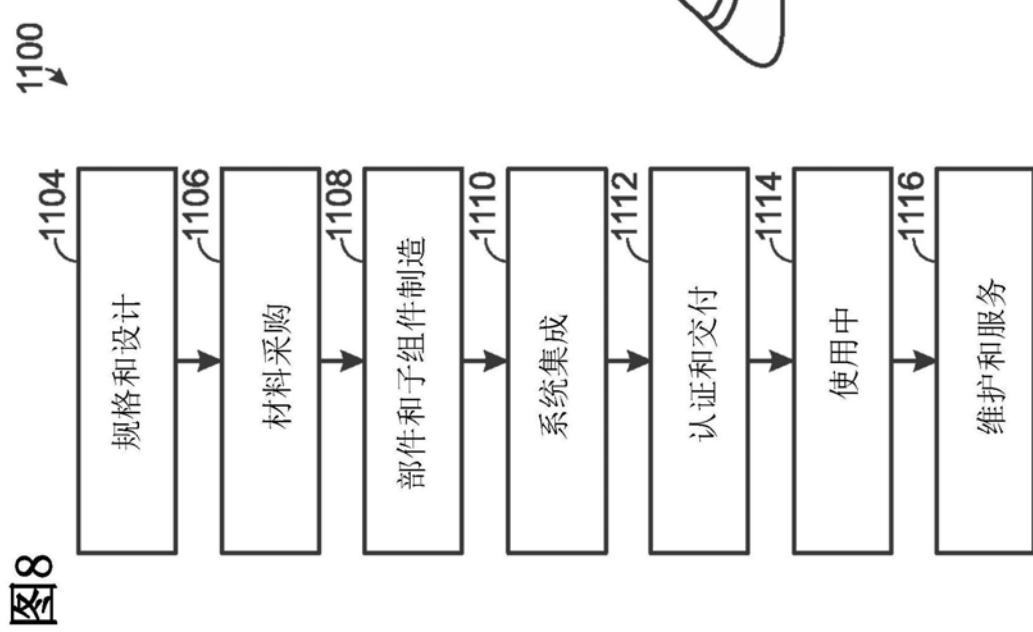


图9

