



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105043420 B

(45)授权公告日 2019.03.12

(21)申请号 201510210750.6

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2015.04.29

G01D 5/12(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105043420 A

(56)对比文件

US 6278379 B1, 2001.08.21,

(43)申请公布日 2015.11.11

US 6278379 B1, 2001.08.21,

(30)优先权数据

US 2010/0078753 A1, 2010.04.01,

14/264074 2014.04.29 US

US 2007/0171071 A1, 2007.07.26,

(73)专利权人 通用电气公司

US 2008/0143683 A1, 2008.06.19,

地址 美国纽约州

CN 101322020 A, 2008.12.10,

(72)发明人 李培宰 J.A.约诺蒂

US 2007/0090927 A1, 2007.04.26,

N.C.斯托菲尔

审查员 张瀛

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

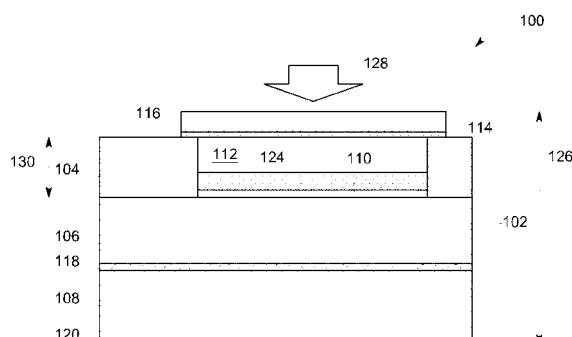
权利要求书2页 说明书13页 附图13页

(54)发明名称

无源无线传感器

(57)摘要

本发明提供无源无线传感器，其具有多个介电层、天线、隔膜和馈送元件。此外，天线设置在由多个介电层中的一个或多个介电层形成的腔的至少一部分中。此外，隔膜设置在腔上。另外，馈送元件设置在多个介电层的至少一部分中。馈送元件还操作地耦合于天线。



1. 一种无源无线传感器，其包括：

多个介电层；

天线，其设置在由所述多个介电层中的一个或多个介电层形成的腔的至少一部分中；

隔膜，其设置在所述腔上；和

馈送元件，其设置在所述多个介电层的至少一部分中、并位于所述天线和参考层之间，从而在所述天线和所述参考层之间形成电容耦合；

其中，所述隔膜、所述天线和所述参考层形成电子电路使得天线检测所述传感器的操作条件的变化并且传输代表所述传感器的操作条件的所述变化的响应信号。

2. 如权利要求1所述的无源无线传感器，其进一步包括设置在所述多个介电层中的一个或多个介电层上或中的一个或多个阻抗元件。

3. 如权利要求1所述的无源无线传感器，其中所述多个介电层中的一个或多个介电层包括熔融石英、工程玻璃、硅氮化物、铝氮化物、氧化铝、陶瓷复合物或其组合。

4. 如权利要求1所述的无源无线传感器，其进一步包括馈送通孔，所述馈送通孔配置成使所述馈送元件的至少一部分操作地耦合于所述天线。

5. 如权利要求1所述的无源无线传感器，其进一步包括天线罩，所述天线罩设置在所述天线的至少一部分上。

6. 如权利要求1所述的无源无线传感器，其中所述多个介电层中的至少一个介电层包括与所述多个介电层的其他层的材料不同的材料。

7. 如权利要求1所述的无源无线传感器，其中所述馈送元件配置成接收询问信号。

8. 如权利要求1所述的无源无线传感器，其中所述馈送元件设置在所述多个介电层的两个介电层之间。

9. 如权利要求1所述的无源无线传感器，其中所述天线包括连续层、图案化层、多个图案化结构或其组合。

10. 如权利要求1所述的无源无线传感器，其进一步包括设置在所述隔膜上的保护层。

11. 如权利要求10所述的无源无线传感器，其中所述保护层包括硅氧化物、硅氮化物、氧化铝、铝氮化物、旋涂玻璃、陶瓷复合物或其组合。

12. 如权利要求1所述的无源无线传感器，其中所述隔膜包括导电材料。

13. 如权利要求1所述的无源无线传感器，其中所述天线包括导电材料。

14. 如权利要求1所述的无源无线传感器，其中所述多个介电层中的一个或多个介电层包括多个列。

15. 如权利要求14所述的无源无线传感器，其进一步包括馈送通孔，所述馈送通孔配置成使所述馈送元件的至少一部分操作地耦合于所述天线，其中所述馈送通孔设置在所述多个列中的两个或以上列之间。

16. 一种监测系统，其包括：

设备，其包括第一表面；和

无源无线传感器，其耦合于所述设备的所述第一表面，其中所述无源无线传感器包括：多个介电层；

天线，其设置在由所述多个介电层中的一个或多个介电层形成的腔的至少一部分中；

隔膜，其设置在所述腔上；

馈送元件,其设置在所述多个介电层的至少一部分中、并位于所述天线和参考层之间,从而在所述天线和所述参考层之间形成电容耦合;

其中,所述隔膜、所述天线和所述参考层形成电子电路使得天线检测所述传感器的操作条件的变化并且传输代表所述传感器的操作条件的所述变化的响应信号

传送器,其操作地耦合于所述无源无线传感器并且配置成传送询问信号;

接收器,其操作地耦合于所述无源无线传感器并且配置成从所述无源无线传感器接收代表传感器响应的响应信号的至少一部分;

信号处理器,其操作地耦合于所述接收器并且配置成处理所述响应信号;以及监测设备,其操作地耦合于所述信号处理器并且配置成基于所述处理的响应信号来监测所述无源无线传感器。

17. 如权利要求16所述的监测系统,其中所述设备包括涡轮发动机、内燃机、涡轮机叶片、反应堆或其组合。

18. 一种传感器网络,其包括:

传送器,其配置成传送询问信号;

多个感测节点,其中所述多个感测节点中的一个或多个感测节点包括至少一个无源无线传感器,并且其中所述至少一个无源无线传感器配置成接收所述询问信号并且响应于所述询问信号来传送响应信号;

其中,所述至少一个无源无线传感器包括:

多个介电层;

天线,其设置在由所述多个介电层中的一个或多个介电层形成的腔的至少一部分中;

隔膜,其设置在所述腔上;和

馈送元件,其设置在所述多个介电层的至少一部分中、并位于所述天线和参考层之间,从而在所述天线和所述参考层之间形成电容耦合;

其中,所述隔膜、所述天线和所述参考层形成电子电路使得天线检测所述传感器的操作条件的变化并且传输代表所述传感器的操作条件的所述变化的响应信号

接收器,其操作地耦合于所述无源无线传感器并且配置成接收所述响应信号;以及

信号处理器,其操作地耦合于所述接收器并且配置成处理所述响应信号以产生传感器响应。

19. 如权利要求18所述的传感器网络,其中所述馈送元件不与所述天线直接物理接触。

## 无源无线传感器

### 技术领域

[0001] 本说明书的实施例涉及传感器，并且更特定地，涉及无线传感器。

### 背景技术

[0002] 典型地，在内燃机内部或燃气涡轮机的移动叶片上可存在恶劣的操作条件。这些恶劣操作条件的非限制性示例可包括高操作温度、高操作压力、动态运动或其组合。一般，在操作中，监测在恶劣操作条件下操作的设备和系统中的一个或多个环境参数，这是可取的。这些环境参数可包括温度、压力、速率、振动、加速度或湿度中的一个或多个。

[0003] 燃气涡轮发动机是这样的设备的示例，在这些设备内极端恶劣操作条件可占优势。此外，燃气涡轮发动机可用于各种目的（其包括推进和发电），其典型地经历恶劣操作条件。典型的燃气涡轮发动机包括旋转和非旋转部件，例如发动机的压缩机、燃烧室和涡轮机段。这些部件中的每个可在不同的温度范围内操作。例如，在燃气涡轮发动机的涡轮机段，涡轮机叶片可暴露于可达到从约1000°C到约2000°C的温度的气体。由于与腐蚀、机械降解和热退化降解有关的问题，监测在恶劣操作条件下操作的燃气涡轮发动机和其他设备中采用的部件的温度，这是可取的。

[0004] 不同的技术可用于监测燃气涡轮发动机中的叶片、刀片、燃烧室、圆盘及类似物的表面温度。这些技术的非限制性示例可包括丝线热电偶、薄膜热电偶、红外摄影、高温测量（例如，三维高温测量）、温敏荧光粉和示温漆。飞机发动机环境中使用的常见技术采用嵌入叶片或刀片壁中的热电偶线。然而，壁中的嵌入线可引起结构和空气动力学混乱，其包括扰乱用于冷却叶片和/或刀片的空气流。空气流中的该扰乱可影响紧邻叶片或刀片存在的空气的边界层并且可不利地影响涡轮机性能。此外，另一个嵌入热电偶技术采用等离子体喷涂的氧化铝陶瓷涂层来封装叶片和刀片上的小直径热电偶线并且将其隔离。然而，由于线和关联陶瓷绝缘层的热质，这样的设备可引入测量误差。

### 发明内容

[0005] 根据本说明书的方面，无源无线传感器包括多个介电层和设置在由该多个介电层中的一个或多个介电层形成的腔的至少一部分中的天线。此外，该无源无线传感器包括设置在腔上的隔膜，和设置在多个介电层的至少一部分中的馈送元件。另外，馈送元件操作地耦合于天线。

[0006] 根据本说明书的另一个方面，监测系统包括具有第一表面的设备和设置在该设备的第一表面上的无源无线传感器。该无源无线传感器包括多个介电层和设置在由该多个介电层中的一个或多个介电层形成的腔的至少一部分中的天线。此外，无源无线传感器包括设置在腔上的隔膜，和设置在多个介电层的至少一部分中的馈送元件。此外，馈送元件操作地耦合于天线。此外，监测系统包括配置成传送询问信号的传送器，和配置成从无源无线传感器接收代表传感器响应的响应信号的至少一部分的接收器。另外，监测系统包括操作地耦合来处理响应信号的信号处理器，和配置成基于处理的响应信号来监测无源无线传感器

的监测设备。

[0007] 根据本说明书的再另一个方面，传感器网络包括传送器，其配置成传送询问信号。该传感器网络进一步包括多个感测节点，其中多个感测节点中的一个或多个感测节点包括至少一个无源无线传感器。此外，该至少一个无源无线传感器配置成接收询问信号并且响应于接收的询问信号来传送响应信号。此外，传感器网络包括配置成接收响应信号的接收器，和操作地耦合于接收器来处理响应信号以产生传感器响应的信号处理器。

[0008] 技术方案1：一种无源无线传感器，其包括：

[0009] 多个介电层；

[0010] 天线，其设置在由所述多个介电层中的一个或多个介电层形成的腔的至少一部分中；

[0011] 隔膜，其设置在所述腔上；和

[0012] 馈送元件，其设置在所述多个介电层的至少一部分中，其中所述馈送元件操作地耦合于所述天线。

[0013] 技术方案2：如技术方案1所述的无源无线传感器，其进一步包括设置在所述多个介电层中的一个或多个介电层上或中的一个或多个阻抗元件。

[0014] 技术方案3：如技术方案1所述的无源无线传感器，其中所述多个介电层中的一个或多个介电层包括熔融石英、工程玻璃、硅氮化物、铝氮化物、氧化铝、陶瓷复合物或其组合。

[0015] 技术方案4：如技术方案1所述的无源无线传感器，其进一步包括馈送通孔，所述馈送通孔配置成使所述馈送元件的至少一部分操作地耦合于所述天线。

[0016] 技术方案5：如技术方案1所述的无源无线传感器，其进一步包括天线罩，所述天线罩设置在所述天线的至少一部分上。

[0017] 技术方案6：如技术方案1所述的无源无线传感器，其中所述多个介电层中的至少一个介电层包括与所述多个介电层的其他层的材料不同的材料。

[0018] 技术方案7：如技术方案1所述的无源无线传感器，其中所述馈送元件配置成接收询问信号。

[0019] 技术方案8：如技术方案1所述的无源无线传感器，其中所述馈送元件设置在所述多个介电层的两个介电层之间。

[0020] 技术方案9：如技术方案1所述的无源无线传感器，其中所述天线包括连续层、图案化层、多个图案化结构或其组合。

[0021] 技术方案10：如技术方案1所述的无源无线传感器，其进一步包括设置在所述隔膜上的保护层。

[0022] 技术方案11：如技术方案10所述的无源无线传感器，其中所述保护层包括硅氧化物、硅氮化物、氧化铝、铝氮化物、旋涂玻璃、陶瓷复合物或其组合。

[0023] 技术方案12：如技术方案1所述的无源无线传感器，其中所述隔膜包括导电材料。

[0024] 技术方案13：如技术方案1所述的无源无线传感器，其中所述天线包括导电材料。

[0025] 技术方案14：如技术方案1所述的无源无线传感器，其中所述多个介电层中的一个或多个介电层包括多个列。

[0026] 技术方案15：如技术方案14所述的无源无线传感器，其进一步包括馈送通孔，所述

馈送通孔配置成使所述馈送元件的至少一部分操作地耦合于所述天线,其中所述馈送通孔设置在所述多个列中的两个或以上列之间。

[0027] 技术方案16:如技术方案1所述的无源无线传感器,其进一步包括操作地耦合于所述天线的参考层。

[0028] 技术方案17:一种监测系统,其包括:

[0029] 设备,其包括第一表面;和

[0030] 无源无线传感器,其耦合于所述设备的所述第一表面,其中所述无源无线传感器包括:

[0031] 多个介电层;

[0032] 天线,其设置在由所述多个介电层中的一个或多个介电层形成的腔的至少一部分中;

[0033] 隔膜,其设置在所述腔上;

[0034] 馈送元件,其设置在所述多个介电层的至少一部分中,其中所述馈送元件操作地耦合于所述天线;

[0035] 传送器,其操作地耦合于所述无源无线传感器并且配置成传送询问信号;

[0036] 接收器,其操作地耦合于所述无源无线传感器并且配置成从所述无源无线传感器接收代表传感器响应的响应信号的至少一部分;

[0037] 信号处理器,其操作地耦合于所述接收器并且配置成处理所述响应信号;以及

[0038] 监测设备,其操作地耦合于所述信号处理器并且配置成基于所述处理的响应信号来监测所述无源无线传感器。

[0039] 技术方案18:如技术方案17所述的监测系统,其中所述设备包括涡轮发动机、内燃机、涡轮机叶片、反应堆或其组合。

[0040] 技术方案19:一种传感器网络,其包括:

[0041] 传送器,其配置成传送询问信号;

[0042] 多个感测节点,其中所述多个感测节点中的一个或多个感测节点包括至少一个无源无线传感器,并且其中所述至少一个无源无线传感器配置成接收所述询问信号并且响应于所述询问信号来传送响应信号;

[0043] 接收器,其操作地耦合于所述无源无线传感器并且配置成接收所述响应信号;以及

[0044] 信号处理器,其操作地耦合于所述接收器并且配置成处理所述响应信号以产生传感器响应。

[0045] 技术方案20:如技术方案19所述的传感器网络,其中所述多个感测节点中的一个或多个感测节点包括无源无线传感器组件,其中所述无源无线传感器组件包括多个无源无线感测区,并且其中所述多个无源无线感测区的每个无源无线感测区包括:

[0046] 多个介电层;

[0047] 天线,其设置在由所述多个介电层中的一个或多个介电层形成的腔的至少一部分中;

[0048] 隔膜,其设置在所述腔上;以及

[0049] 馈送元件,其设置在所述多个介电层的至少一部分中,其中所述馈送元件操作地

耦合于所述天线。

## 附图说明

- [0050] 当下列详细描述参照附图(其中整个图中类似的符号代表类似的部件)阅读时,本公开的这些和其他特征、方面和优势将变得更好理解,其中:
- [0051] 图1是根据本说明书的方面具有馈送元件的示范性无源无线传感器的横截面视图;
- [0052] 图2是根据本说明书的方面经由操作地耦合于馈送元件而具有馈送的示范性无源无线传感器的横截面视图;
- [0053] 图3是根据本说明书的方面的图2的无源无线传感器的一部分的分解图;
- [0054] 图4是根据本说明书的方面具有操作地耦合于天线的多个列的示范性无源无线传感器的横截面视图;
- [0055] 图5是根据本说明书的方面的图4的无源无线传感器的一部分的透视图;
- [0056] 图6是根据本说明书的方面具有多个无源无线感测区的示范性无源无线传感器组件的横截面视图;
- [0057] 图7是根据本说明书的方面配置成使用无源无线传感器监测设备中的一个或多个操作条件的监测系统的示意表示;
- [0058] 图8是根据本说明书的方面具有多个感测节点的传感器网络的示意表示,其中该多个感测节点中的一个或多个感测节点包括无源无线传感器;
- [0059] 图9是根据本说明书的方面随传感器大小改变的传感器响应改变的图形表示;
- [0060] 图10A是根据本说明书的方面随隔膜的变化挠度值的传感器响应改变的图形表示;
- [0061] 图10B是根据本说明书的方面关于隔膜的变化挠度值的传感器响应改变的图形表示;
- [0062] 图11是根据本说明书的方面在隔膜的机械崩解的实例中的传感器响应改变的图形表示;
- [0063] 图12-13是根据本说明书的方面随询问器与无源无线传感器之间的距离改变的传感器响应改变的图形表示。

## 具体实施方式

[0064] 本说明书的实施例涉及无源无线传感器,其配置成操作地耦合于设备来感测该设备的一个或多个参数,该一个或多个参数代表设备的物理性质、环境性质或物理和环境性质两者。通过示例,无源无线传感器可设置在涡轮机叶片上来感测该叶片的旋转速度。无源无线传感器还可设置在内燃机中来感测内燃机内部的温度。设备的物理性质的非限制性示例可包括设备的温度、设备的速率、设备的速度、设备的加速度、设备的振动或其组合。可注意环境性质可代表设备内存在的环境或设置设备所在的环境。设备的环境性质的非限制性示例可包括温度、速度、压力、加速度、振动或其组合。

[0065] 在某些实施例中,无源无线传感器可包括多个介电层、设置在由该多个介电层中的一个或多个介电层形成的腔的至少一部分中的天线。此外,无源无线传感器可包括设置

在腔的至少一部分中的隔膜。此外，无源无线传感器可包括设置在多个介电层中的至少一部分中的馈送元件。另外，馈送元件可操作地耦合于天线。无源无线传感器还可包括一个或多个阻抗元件。此外，这些阻抗元件可设置在多个介电层中的一个或多个介电层上或中。

[0066] 此外，在某些实施例中，无源无线传感器可配置成接收询问信号。这些询问信号可由无源无线传感器的馈送元件接收。此外，询问信号可使用馈送元件和一个或多个介电层传输到天线。此外，无源无线传感器可配置成响应于接收的询问信号提供传感器响应。通过示例，无源无线传感器可配置成在无源无线传感器在存在设备的一个或多个操作条件下接收询问信号时将传感器响应传送到接收器或询问器。因此，传感器响应可代表设备的操作条件。在一个实施例中，传感器响应可包括由无源无线传感器的天线传送到接收器的信号。可注意接收器和询问器可设置在无源无线传感器外部。此外，接收器和询问器可设置在这样的设备外部，无源无线传感器设置在该设备中。

[0067] 在某些实施例中，在隔膜由于设备中的操作条件而挠曲时可丢失询问信号。在一些实施例中，询问信号的丢失可与膜的挠曲量成比例。因此，询问信号的丢失可代表设备中的操作条件。此外，响应信号的频率可随询问信号丢失的增加而减小。特别地，响应信号的频率可随隔膜的挠曲量的增加而减小。因此，响应信号的频率可代表设备中的操作条件。

[0068] 有利地，无源无线传感器配置成经受恶劣的操作条件，其中这些恶劣操作条件可在设备内或设备外部存在。通过示例，在一些实施例中，无源无线传感器可配置成感测设备在高温条件、高压条件、恶劣化学条件(例如，由于恶劣化学环境的存在而引起的)或其组合下的参数。在某些实施例中，本说明书的无源无线传感器可适合在发动机(例如，内燃机或喷气发动机)、反应堆(例如，核反应堆)、涡轮机(例如，燃气涡轮机、涡轮机叶片)、对于工业应用的工业设置或其组合中使用。在一个示例中，可采用无源无线传感器来测量燃气涡轮发动机的旋转部件和/或非旋转部件的一个或多个表面的温度。

[0069] 此外，在非限制性实施例中，无源无线传感器可配置成在1000°C以上的温度操作。此外，无源无线传感器可配置成持续短时段(例如，小于一小时)或延长时段地在这样的升高温度操作。另外，无源无线传感器可配置成在频繁和/或持续延长时段地遇到高温、高气体速率和高加速加载的环境中操作。在一个实施例中，延长时段可在从约几小时到约几个月的范围内。还可注意，尽管配置成在恶劣操作条件下操作，本说明书的无源无线传感器可不限于仅在恶劣环境中使用，并且可用于测量相对耐受环境条件，例如但不限于，较低温度、较低压力、较低气体速率或其组合。

[0070] 有利地，无线传感器的无源性质使无源无线传感器能够感测设备的参数而不以不可取的方式干扰设备或采用设备的系统或与之交互。通过示例，无源无线传感器的尺度可是这样的，其使得无源无线传感器不干扰涡轮机叶片的旋转。此外，顾名思义，无源无线传感器是这样的无线设备，其可方便安装而不必适应用别的方式与有线传感器关联的线或电缆。

[0071] 在某些实施例中，可在监测系统中采用本说明书的一个或多个无源无线传感器。如将关于图7-8详细描述的，监测系统的至少一部分可以是无线的。在一个示例中，该一个或多个无源无线传感器可在监测系统中采用，其中一个或多个无源无线传感器可与一个或多个其他无源无线传感器或与一个或多个处理器或在监测系统中使用的监测设备通信。在一个实施例中，监测系统可包括配置成传送询问信号的传送器、配置成接收询问信号并且

通过传送响应信号而作出响应的无源无线传感器。此外，监测系统可包括用于接收响应信号的接收器。在一个实施例中，监测系统可包括用于处理响应信号的集成处理器。备选地，监测系统可包括用于处理响应信号的独立处理器。另外，可分析或处理响应信号来感测代表设备的物理性质、环境性质的一个或多个参数。此外，因为无源无线传感器不需要电源，无源无线传感器可有利地例如在喷气发动机中采用。此外，可远程访问来自无源无线传感器的响应信号。在非限制性示例中，无源无线传感器和监测系统可用于监测喷气发动机的至少一部分的安全性和完整性。

[0072] 此外，无源无线传感器在测量燃气涡轮发动机中的旋转和非旋转部件的一个或多个表面上的温度方面可是有用的。在这样的环境中，常规有线传感器(例如有线热电偶)可具有相对大的热质用于可靠的表面温度测量。此外，实现常规有线传感器可至少在将常规有线传感器(例如，热电偶)从设备上的期望位点路由到数据采集系统方面提供额外挑战。

[0073] 有利地，本说明书的无源无线传感器可足够薄以便不显著影响无源无线传感器操作耦合的设备的边界层。在一个实施例中，无源无线传感器的厚度可在从约几毫米至约几百毫米的范围内。在特定示例中，无源无线传感器的厚度可在从约10毫米至约100毫米的范围内。在另一个示例中，无源无线传感器的厚度可在从约20毫米至约60毫米的范围内。然而，尽管薄到足以不干扰设备的运行，无源无线传感器可足够鲁棒以经受在这样的设备操作期间遇到的极热和机械环境条件。此外，无源无线传感器可具有小的占用空间、机械质量和鲁棒附连模式，以便不在设备(例如涡轮机叶片)中引入不可取的振动模式。在非限制性示例中，无源无线传感器的占用空间可在从约10mm×10mm至约100mm×100mm的范围内。此外，无源无线传感器可具有小的热质以便不妨碍表面温度测量。另外，无源无线传感器可配置成快速对温度改变、速率改变、加速度改变、压力改变或其组合作出响应。

[0074] 在某些实施例中，无源无线传感器可形成监测系统的部分。此外，在一些实施例中，可在具有多个感测节点的传感器网络中采用无源无线传感器。在这些实施例中，在一个或多个感测节点中可采用无源无线传感器。此外，传感器网络的至少一部分可配置成在两个或以上节点之间提供无线通信。此外，在一个实施例中，传感器网络的至少一部分可与例如接收器等外部设备无线通信，其中该接收器配置成从无源无线传感器接收响应信号。

[0075] 图1图示本说明书的示范性无源无线传感器100。如图示的，无源无线传感器100可包括多个介电层102、设置在腔112的至少一部分中的天线110、隔膜114、保护层116、馈送元件118和参考层120。无源无线传感器100进一步包括设置在天线110的至少一部分上的天线罩124。此外，无源无线传感器100的厚度126可在从约10毫米至约100毫米的范围内。此外，无源无线传感器100的天线110配置成接收由操作地耦合于无源无线传感器100的传送器(未在图1中示出)发出的询问信号，例如但不限于射频信号。另外，天线110可配置成传送代表其中设置无源无线传感器100的设备(未在图1中示出)中的一个或多个环境参数的信号。

[0076] 在图示的实施例中，多个介电层102图示为具有3个分别的介电层104、106和108。然而，在备选实施例中，多个介电层102可包括更少或更多的介电层。例如，多个介电层102中的介电层102的数量可根据传感器100的可取特征或无源无线传感器100配置成感测的物理或环境性质而改变。例如，在无源无线传感器100配置成感测涡轮机叶片的旋转速度的实例中，无源无线传感器100的厚度126可相对更低。因此，在这样的实例中，无源无线传感器100可具有多个介电层102中的1或2个层。

[0077] 此外,介电层102可配置成经受设备(例如内燃机)的环境中的恶劣操作条件。通过示例,多个介电层102可由具有相对低的热膨胀系数值的材料制成。在非限制性示例中,热膨胀系数可多至约10ppm/°C。

[0078] 此外,多个介电层102的介电材料可配置成持续延长时段地经受高温。这样的高温材料的非限制性示例可包括熔融石英、工程玻璃、硅氮化物、铝氮化物、氧化铝和高温陶瓷复合物(例如,钇稳定氧化锆)或其组合。此外,多个介电层102中的一个或多个介电层102可由与多个介电层102中的其他介电层102的材料不同的材料制成。例如,可为介电层102选择材料使得对应热膨胀系数的值在预定方向上逐渐增加或减小。在一个示例中,介电层104的热膨胀系数可接近天线110的材料的热膨胀系数。在相同或不同的示例中,介电层108的热膨胀系数在值上可更接近参考层120的材料的介电常数。在一些实施例中,可选择介电层102的材料来提高无源无线传感器110的灵敏度。在一个示例中,可选择分别的介电层104、106和108的材料使得可对于在确定环境参数范围内的最大响应和灵敏度来调节一个或多个介电层102。在一些实施例中,无源无线传感器100可配置成测量预定温度范围内的温度。在这些实施例中的一些中,一个或多个介电层102的介电材料可更适合于该确定温度范围内的最大响应和灵敏度。另外,一个或多个介电层102可以是连续层。备选地或另外,一个或多个介电层102的至少一部分可包括图案化结构。通过示例,如将关于图4-5详细描述的,一个或多个介电层102可包括多个列。

[0079] 此外,腔112可在多个介电层102的介电层104中形成。尽管在图示的实施例中,腔112描绘为设置在单个介电层104中,在备选实施例中,腔112可设置在两个或以上介电层102中。通过示例,腔112可部分设置在介电层104和106中。另外,如将关于图6详细描述的,在一些实例中,无源无线传感器100可具有超过一个腔112。在这些实施例中,两个或以上的腔可每个具有对应的天线。此外,每个腔112可配置成感测相应的参数。

[0080] 此外,隔膜114可设置在腔112上使得隔膜114操作地耦合于设置在腔112中的天线110。由于设备中存在的操作条件引起的隔膜114的任何物理改变可在由天线110传送的信号中反映。通过示例,在设备中存在压力(箭头128)的情况下,隔膜114可朝天线110挠曲,由此更改由天线110传送到无源无线传感器100外部设置的询问器设备(未在图1中示出)的发出信号,其中询问器设备配置成接收由无源无线传感器100的天线110传送的信号。天线110的传送信号的该改变可代表在采用无源无线传感器100的设备中存在的压力的值。可注意腔112的高度130可适合于适应隔膜114的挠曲。

[0081] 在某些实施例中,隔膜114可薄到足以在存在操作条件的情况下适当地作出响应,使得隔膜114的响应可在由天线110传送的信号中反映,并且其中信号改变由询问器或配置成从天线110接收信号的任何其他接收器处理。此外,在一些实施例中,隔膜112可包括薄层或膜。隔膜112可由例如金属或金属合金等导电材料制成。

[0082] 此外,在一个实施例中,保护层116可设置在隔膜114上。在一些实施例中,保护层116可配置成保护隔膜114以免受恶劣操作条件的影响同时使隔膜能够执行它的功能。在一个示例中,保护层116可配置成防止隔膜氧化。保护层116的材料的非限制性示例可包括硅氧化物、硅氮化物、氧化铝、铝氮化物、旋涂玻璃、高温陶瓷复合物(例如,钇稳定氧化锆)或其组合。

[0083] 此外,在一些实施例中,天线110可以是固体层,或是包括联接或不相交结构的图

案化层。在某些实施例中，天线110可包括连续层、图案化层、多个图案化结构或其组合。在一个实施例中，天线110可以是环形天线或贴片天线。天线110可由导电材料制成。天线110的材料的非限制性示例可包括导电材料，例如但不限于，铜、铝、钨、钼、钽、镍、钛、钯、银、铂、金或其合金或其组合。此外，设置在天线110的至少一部分上的可选的保护罩124可配置成保护天线110以免受设备的恶劣操作条件的影响。在一个示例中，保护罩124可由玻璃制成。

[0084] 此外，馈送元件118设置在多个介电层102的一部分中。在图示的实施例中，馈送元件118设置在介电层106与108之间。然而，备选地，馈送元件118可设置在单个介电层102中。在另一个实施例中，馈送元件118可形成无源无线传感器100的层102中的一个。通过示例，在无源无线传感器包括两个介电层的实例中，馈送元件可设置在两个介电层中的一个内。此外，馈送元件118操作地耦合于天线110并且配置成接收询问信号(例如但不限于，射频信号)并且经由中间介电层102将接收的询问信号馈送到天线110。在图1的实施例中，馈送元件118操作地耦合于天线110同时不与天线110直接物理接触。在备选实施例中，馈送元件118可设置在介电层104的至少一部分与介电层106的至少一部分之间。在该实施例中，馈送元件118可操作地耦合于天线110，然而，馈送元件可不与天线110直接物理接触。

[0085] 在一个示例中，参考层120可以是导电层。此外，参考层120可具有适合于设置无源无线传感器100所在的表面的热膨胀系数。参考层120配置成便于无源无线传感器100到导电表面(例如涡轮机叶片的表面)的集成。

[0086] 无源无线传感器100进一步包括设置在馈送元件118与参考层120之间的阻抗元件(未在图1中示出)。在一个示例中，阻抗元件可设置在介电层108的表面上。在一个实施例中，阻抗元件可以是电阻器、电容器、感应器或其组合。此外，阻抗元件可通过将阻抗元件印刷在介电层108的表面上而在无源无线传感器100中集成。在操作中，隔膜114、天线110、阻抗元件和参考层120可形成电子电路。特别地，电容耦合可经由馈送元件118和阻抗元件而在天线110与参考层120之间发生。此外，在操作中，隔膜114的挠曲至少部分有助于由天线110响应于接收的询问信号而反射的信号的改变。由天线110反射的这些响应信号可称为“传感器响应”或“返回损耗”。

[0087] 在操作中，由传送器(未示出)传送的射频信号被馈送元件118接收。由馈送元件118接收的信号可行进通过中间介电层106和104并且可被天线110接收。由于操作条件(例如但不限于，压力和温度)的存在，介电层102的介电性质可改变。此外，隔膜114的挠曲还可由于操作条件的存在而改变。介电层102的介电性质的这些改变和/或隔膜114的挠曲的改变可更改天线110与参考层120之间的电容耦合，其中电容耦合经由馈送元件118和阻抗元件而发生。因此，操作条件可更改由天线传送的信号，由天线110传送的该信号称为无源无线传感器的传感器响应。传感器响应的改变(例如，由天线110传送的信号的频率的偏移)可用于确定代表设备的物理性质或环境性质的参数。

[0088] 图2-3图示具有带分别的介电层204、206和208的多个介电层202的另一个示范性无源无线传感器200。天线210设置在介电层204中形成的腔212中。此外，无源无线传感器200包括隔膜214，其与天线210操作关联。此外，保护层216可设置在隔膜214上。此外，在图示的实施例中，无源无线传感器200包括馈送元件218。另外，馈送元件218通过馈送通孔220而操作地耦合于天线210。馈送通孔220可配置成使馈送元件218电耦合于天线210，同时被

物理断开以防止无源无线传感器200中的短路。特别地，相邻层204或206的介电材料或任何其他介电材料可设置在馈送通孔220与天线210之间以防止馈送通孔220和天线210的短路。馈送通孔220可通过在馈送元件218与天线210之间提供孔222而制成。孔222可用适合于将第一射频信号从馈送元件218传送到天线210的导电材料填充。此外，孔222可是这样的，其使得馈送元件218的至少一部分与馈送通孔220的至少一部分直接物理接触。

[0089] 此外，无源无线传感器200还可包括天线罩224，其中该天线罩224设置在天线210的至少一部分上。如关于图1论述的，天线罩224配置成保护天线210以避免不可取的氧化或其他化学反应，或在设备操作期间的机械崩解。

[0090] 在操作中，馈送元件218可接收第一射频信号并且使用馈送通孔220将接收的射频信号传送到天线210。在一个示例中，馈送元件218和馈送通孔220可由相同或相似的材料制成。然而，在另一个示例中，馈送元件218和馈送通孔220可由不同的材料制成。通过示例，馈送元件218和馈送通孔220的材料可不同以提供馈送元件218和/或馈送通孔220的热膨胀系数与邻近介电层202的增强匹配。

[0091] 有利地，温度对传感器响应的影响可通过使用馈送通孔220而至少部分补偿。通过示例，在由馈送元件218接收的射频信号被传递通过馈送通孔220以被天线210接收时，由于温度的改变引起的介电层202的介电性质的改变不影响传送信号。在一个实施例中，馈送通孔220可在无源无线传感器200中使用以用于感测压力。

[0092] 此外，如在图3的分解图中图示的，无源无线传感器可进一步包括阻抗元件228，其设置在介电层208的表面230的至少一部分上。备选地，阻抗元件228可设置在介电层208内。此外，尽管未图示，在一些实施例中，无源无线传感器(例如无源无线传感器200)可采用两个或以上阻抗元件，其中该两个或以上阻抗元件可设置在介电层208上或中的不同位点中。

[0093] 此外，如在图3中图示的，天线210可包括贴片天线。标号232代表介电层206的表面234上的馈送通孔220的位点。此外，无源无线传感器200可包括参考层226。该参考层226可包括导电材料。此外，参考层226的导电材料可具有适合的热膨胀系数以能够将无源无线传感器200安装在设备中或设备上。在操作中，参考层226可配置成经由馈送元件218、馈送通孔220和阻抗元件228而在天线210与参考层226之间提供电容耦合。在一个示例中，馈送通孔220可另外连接到参考层226以对馈送通孔220提供接地并且进一步减少无源无线传感器200的寄生元件。

[0094] 图4是本说明书的无源无线传感器400的另一个示例。图5图示图4的无源无线传感器400的一部分的透视图500。在图4-5的图示实施例中，无源无线传感器400包括多个介电层402，其具有分别的层404、406和408。此外，无源无线传感器400包括设置在介电层404中形成的腔412中的天线410。此外，无源无线传感器400包括隔膜414，其操作地耦合于天线410。此外，保护层416设置在隔膜414上。另外，天线罩417可设置在天线410的至少一部分上。

[0095] 无源无线传感器400进一步包括馈送元件418，其使用馈送通孔420而物理耦合于天线410。该馈送通孔420设置在介电层406中，其中介电层406是图案化介电层。特别地，介电层406可包括多个列422使得多个列422中的一个或多个列422可在邻近介电层404和408的至少一部分之间延伸。此外，在图示的实施例中，多个列422中的列422示出为物理不相交结构，然而，在一些实施例中，列可源于共基极。如在放大图424中图示的，在一些实施例中，

馈送通孔420可设置在两个或以上列422之间。

[0096] 有利地,具有介电层406的不相交部分并且特别地多个列412可在天线410与参考层426之间提供增强耦合,由此使天线410与参考层426之间的电容耦合增加。此外,天线410与参考层426之间增加的电容耦合可导致传感器响应的频率朝更高频率偏移。因此,对于相似的传感器响应频率范围,可使用相对小尺寸的无源无线传感器,其中该无源无线传感器包括无源无线传感器的多个介电层中的至少一部分中的多个列。

[0097] 图6是具有多个无源无线感测区601的无源无线传感器组件600的横截面视图,其中该多个无源无线感测区601中的每个区601配置成独立于其他区601运行。在一些实施例中,无源无线传感器600的每个分别的段601可配置成感测独立于其他段601的参数。通过示例,段601中的一个可配置成感测设备(未示出)的温度,而另一个段601可配置成感测设备的压力。此外,可注意段601不必并排设置。在一个示例中,段601可按随机顺序设置在多个介电层606中的介电层606上。

[0098] 此外,无源无线传感器组件600可采用多个天线602,其中多个天线602中的每个天线602设置在多个腔604的对应腔604中。多个天线602中的一个或多个天线602可与其他天线602不同。通过示例,一个或多个天线602的形状可与其他天线602的形状不同,或一个或多个天线602的材料可基于相应无源无线段601配置成感测的参数而与其他天线602的材料不同。此外,多个腔604中的腔604的一个或多个尺度可与其他腔604的尺度相同或不同。通过示例,腔604的高度可相同或不同。此外,一个或多个天线602可包括设置在天线602的至少一部分上的天线罩605。

[0099] 另外,无源无线传感器组件600包括多个介电层606。在图示的实施例中,多个介电层606包括分别的介电层608、610和612。此外,多个馈送元件614可设置在无源无线传感器组件600的至少一部分中。在图示的实施例中,多个馈送通孔616可耦合于天线602。然而,尽管未图示,在备选实施例中,馈送通孔616可耦合于多个天线602中的天线602中的每个。此外,在某些实施例中,无源无线传感器组件600可进一步包括多个隔膜622和多个保护层624。此外,每个保护层624设置在对应的隔膜622上。

[0100] 在一个实施例中,无源无线传感器组件600的多个无源无线传感器段601可同时操作。在另一个实施例中,多个无源无线传感器段601可配置成在不同的时间操作。

[0101] 图7是根据本说明书的方面配置成使用一个或多个无源无线传感器(例如无源无线传感器704)监测设备702中的一个或多个操作条件的监测系统700的示意表示。在一个实施例中,无源无线传感器704可设置在设备702内部。通过示例,无源无线传感器704可物理耦合于内燃机的表面。在另一个实施例中,无源无线传感器704可设置在设备702的表面上。通过示例,无源无线传感器704可设置在涡轮机叶片的表面上。使无源无线传感器物理耦合于表面的方法的非限制性示例包括化学粘合、物理粘合、金属磨损、螺栓连接、焊接、激光辅助粘合法或其组合。用于粘合方法的材料的非限制性示例可包括纳米银粘合剂、纳米铜粘合剂、玻璃粉或其组合。在一个实施例中,无源无线传感器700可使用基于陶瓷的粘合剂而耦合于设备702。有利地,基于陶瓷的粘合剂可配置成经受高温。

[0102] 此外,监测系统700可包括传送器706,其操作地耦合于无源无线传感器704。在操作中,传送器706配置成将可取的射频信号708传送到无源无线传感器704。

[0103] 此外,监测系统700可包括接收器或询问器710,其配置成接收由无源无线传感器

704的天线反射的信号712。在操作中,无源无线传感器704的隔膜可由于一个或多个操作条件的存在而挠曲。通过示例,高温、高压、气体移动(速率/加速度)的存在可使隔膜挠曲。此外,隔膜的挠曲和/或无源无线传感器704的多个介电层的介电性质的改变可影响由无源无线传感器704的天线反射的信号712。此外,隔膜的挠曲的改变和/或多个介电层中的一个或多个介电层的介电性质的改变可导致无源无线传感器704的天线与参考层之间的电容耦合的改变。另外,天线与参考层之间的电容耦合的该改变可更改传感器响应。因此,可处理由天线反射的信号来测量设备704的一个或多个物理或环境性质。

[0104] 在一些实施例中,传送器706和接收器710可作为独立物理实体存在,而在一些其他实施例中,传送器706和接收器710可集成来形成收发器或询问器,其配置成传送询问信号以及从无源无线传感器704的天线接收响应信号。此外,响应信号712可由接收器710处理或可由信号处理器714处理来产生传感器响应。该传感器响应可用于确定设备704的一个或多个物理或环境性质。在一个实施例中,隔膜的挠曲可与响应信号712相关,并且响应信号进而可与环境的物理、化学或生物参数相关。

[0105] 在某些实施例中,信号处理器714例如可包括一个或多个专用处理器、图形处理单元(GPU)、数字信号处理器(DSP)、微型计算机、微控制器、专用集成电路(ASIC)和/或现场可编程门阵列(FPGA)。

[0106] 此外,监测系统700可包括监测设备716,其操作地耦合于设备702。信号处理器714可将代表环境参数的数据传达到监测设备716。在一个实施例中,信号处理器714可配置成分析数据。监测设备716可配置成根据由信号处理器714分析的数据来监测设备702的操作。尽管示出为两个独立块,在一些实施例中,信号处理器和监测设备可在单个单元中集成。

[0107] 在一个实施例中,信号处理器714和/或监测设备716可设置在设备702的位点本地的位点中。备选地或另外,信号处理器714和/或监测设备716可相对于设备702定位在远程位点中。此外,信号处理器714和/或监测设备716可配置成将处理的数据存储在存储库(未示出)中。存储库的非限制性示例可包括例如硬盘驱动器、软盘驱动器、压缩盘读/写(CD-R/W)驱动器、数字多功能盘(DVD)驱动器、闪存驱动器和/或固态存储设备等设备。

[0108] 此外,信号处理器714和/或监测设备716可操作地耦合于输出设备718以使用户或操作者能够手动监测系统700,或使用户能够在指定时间点获取关于系统700的信息。为此,输出设备718例如可包括显示设备、打印机和/或音频输出设备。

[0109] 在一个实施例中,监测系统700可配置成在设备702的操作持续时间期间进行连续监测。此外,监测系统700可配置成进行设备702的实时监测。此外,监测系统700配置成监测设备702的一个或多个参数(物理参数或环境参数)。

[0110] 在一个实施例中,传送器706可包括信号发生器(未示出)、上变频器(未示出)、天线(未示出)和信号放大器(未示出)。此外,在该实施例中,接收器710可包括天线(未示出)和下变频器(未示出)。在操作中,传送器706的信号发生器生成询问信号,其由上变频器上变频到在对应于无源无线传感器704的谐振频率的范围内的频率。根据无源无线传感器704的特定尺度和无源无线传感器704的材料,上变频询问信号可在从约100kHz至约10GHz的范围内。上变频询问信号可由放大器放大并且供应给传送器706的天线用于传送到无源无线传感器704。可注意传送器706和接收器710可安置在单个或多个外壳中。

[0111] 此外,响应信号712可经由接收器710的天线由接收器710接收。响应信号712可使

用下变频器来下变频。此外，如果信号处理器714是接收器710的部分，响应信号712可由信号处理器714分析来生成环境参数值。在一个实施例中，信号处理器714可包括专门编程的通用计算机或专用集成电路和处理器。

[0112] 图8是采用具有多个感测节点804的传感器网络802的示范性监测系统800的示意表示。此外，根据本说明书的方面，多个感测节点804中的一个或多个感测节点804可包括无源无线传感器。

[0113] 具有感测节点804的传感器网络802可在设备中采用，例如但不限于涡轮机叶片、涡轮发动机、内燃机、反应堆或其组合。通过示例，在涡轮机的情况下，感测节点804中的一些可操作地耦合于涡轮发动机，而一些其他感测节点804可设置在涡轮机叶片上。

[0114] 在一个实施例中，多个感测节点804中的每个感测节点804可包括本说明书的无源无线传感器。此外，各种感测节点804可配置成测量相同或不同的参数。在每个感测节点804是无源无线传感器的一个示例中，无源无线传感器可配置成测量内燃机中的不同位点处的温度。在另一个示例中，一个或多个无源无线传感器可配置成测量设备的各种位点处的温度。此外，一些其他无源无线传感器可配置成测量设备中的一个或多个位点处的压力，而一个或多个其他无源无线传感器可配置成感测设备的旋转速度。

[0115] 在一些实施例中，一个或多个感测节点804可配置成彼此并且与传送器806和接收器808无线通信。通过示例，感测节点804可配置成从传送器806接收传送信号810。此外，接收器808可配置成从感测节点804接收响应信号812。

[0116] 监测系统800可进一步包括信号处理器814、监测设备816和输出设备818。有利地，监测系统800配置成用于一个或多个设备的连续监测、实时监测、按需监测或其组合。

[0117] 图9是从不包括馈送通孔的第一无源无线传感器和具有馈送通孔的第二无源无线传感器获得的传感器响应的图形表示900。此外，该第一无源无线传感器可具有约60mm×60mm的占用空间并且第二无源无线传感器可具有约25mm×25mm的占用空间。横坐标902代表来自无源无线传感器的响应信号的频率并且纵坐标904代表传感器响应的幅值。曲线图906代表来自第一无源无线传感器(其不具有馈送通孔)的传感器响应。此外，曲线图908代表来自第二无源无线传感器(其具有馈送通孔)的传感器响应。传感器响应906的幅值低于传感器响应908的幅值。此外，传感器响应908与传感器响应906相比处于更高频率。因此，馈送通孔的使用可在其中减少传感器的尺寸同时维持或甚至增加传感器响应是可取的应用中使用。有利地，馈送通孔的使用在第二无源无线传感器的天线与参考层之间提供增强电容耦合，由此使传感器响应的频率增加。

[0118] 图10A-10B是关于无源无线传感器的隔膜挠曲量改变的传感器响应的中心频率改变的图形表示。在隔膜的挠曲位移改变时，天线的返回损耗或传感器响应改变。因此，在图示实施例中，可注意每个挠曲处的中心频率显示关于隔膜挠曲改变的线性度。

[0119] 曲线图1000的曲线1002代表返回损耗(即，询问信号中的损失(纵坐标1004))与响应信号的频率(横坐标1006)之间的关系中的线性度。询问信号与响应信号的频率之间的关系中的线性度图示为曲线图1010的曲线1008，其中曲线图在对于特定询问信号集的响应信号的中心频率(纵坐标1012)与隔膜的挠曲量(纵坐标1014)之间形成。

[0120] 图11是无源无线传感器的隔膜的返回损耗量(横坐标1102)和由无源无线传感器的天线传送的传感器响应信号的频率(纵坐标1104)的图形表示1100。此外，无源无线传感

器可操作地耦合于设备。曲线图1106图示在隔膜经历物理损伤时的传感器响应。通过示例，如图示的，曲线图1108、1110、1112和1114图示关于不同隔膜挠曲量的传感器响应。另外，曲线图1106代表受损隔膜的响应。如由曲线图1106图示的，受损隔膜的传感器响应可在低得多的频率范围内出现，由此指示隔膜的非均匀性（物理损坏）。一旦手动或使用监测设备或输出设备来识别物理损坏，可采取适合的校正措施。例如，另一个无源无线传感器可操作地耦合于设备。

[0121] 图12-13图示传送器/询问器与无源无线传感器之间的距离(D)1201的效应的比较研究。在图12的图示实施例中，询问器1202设置在离无源无线传感器1204的天线约50cm的距离1201处。图形表示1206和1216图示关于无源无线传感器的隔膜的变化挠曲(纵坐标1210)的传感器响应改变(横坐标1208)。关于图13，在询问器1202与无源无线传感器1204的天线之间的距离1214是约5米的情况下，关于隔膜的挠曲改变的传感器响应改变仍然是可检测的。因此，本说明书的无源无线传感器配置成在询问器与无源无线传感器的不同距离处操作。特别地，询问器与无源无线传感器之间的距离未不利地影响无源无线传感器的检测能力。

[0122] 有利地，本说明书的无源无线传感器易于安装。通过示例，无源无线传感器可使用粘合剂而简单地附着到设备（例如燃气涡轮机）的表面。此外，无源无线传感器具有小的占用空间、机械体积和重量，因此，无源无线传感器未干预设备的正常运行。此外，无源无线传感器能够在恶劣操作环境中有效地操作，例如但不限于，高温、高压、振动或其组合。

[0123] 另外，无源无线传感器是经济可行的。此外，实现无源无线传感器的运行的支持部件（例如，传送器、接收器和/或询问器）可设置在设备或系统（其中设置无源无线传感器）外部。另外，无源无线传感器的安装是方便且省时的。此外，可安装并且操作无源无线传感器而不持续短持续时间或持续延长时段地阻碍设备的操作。

[0124] 此外，因为无源无线传感器是无线设备，无源无线传感器易于安装或操作地耦合于感兴趣设备。另外，无源无线传感器是便宜的并且可批量制造。

[0125] 尽管本系统的各种实施例的特定特征可仅在一些图中而在其他中示出和/或仅关于一些图而不关于其他描述，这仅是为了方便。要理解描述的特征、结构和/或特性可在各种实施例中采用任何适合的方式组合和/或能互换地使用，例如来感测设备的一个或多个物理或环境性质。

[0126] 尽管在本文只图示和描述本公开的某些特征，本领域内技术人员将想起许多修改和改变。因此，要理解附上的权利要求意在涵盖这样的修改和改变，它们落入本发明的真正精神内。

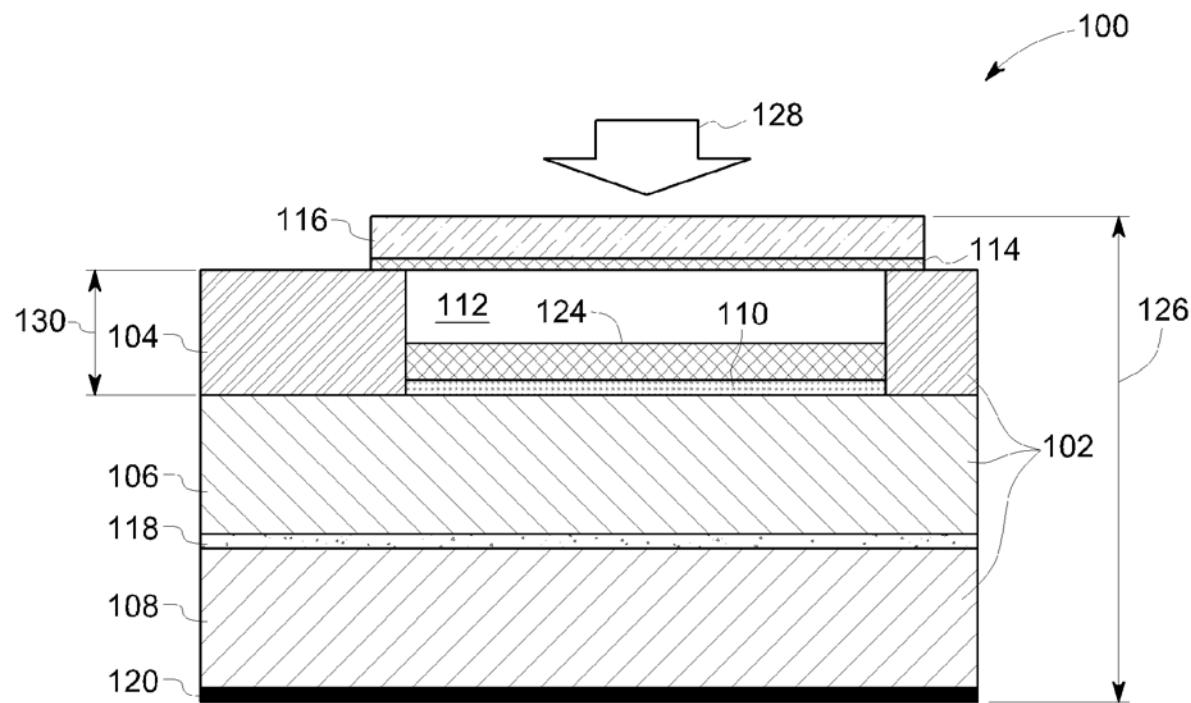


图 1

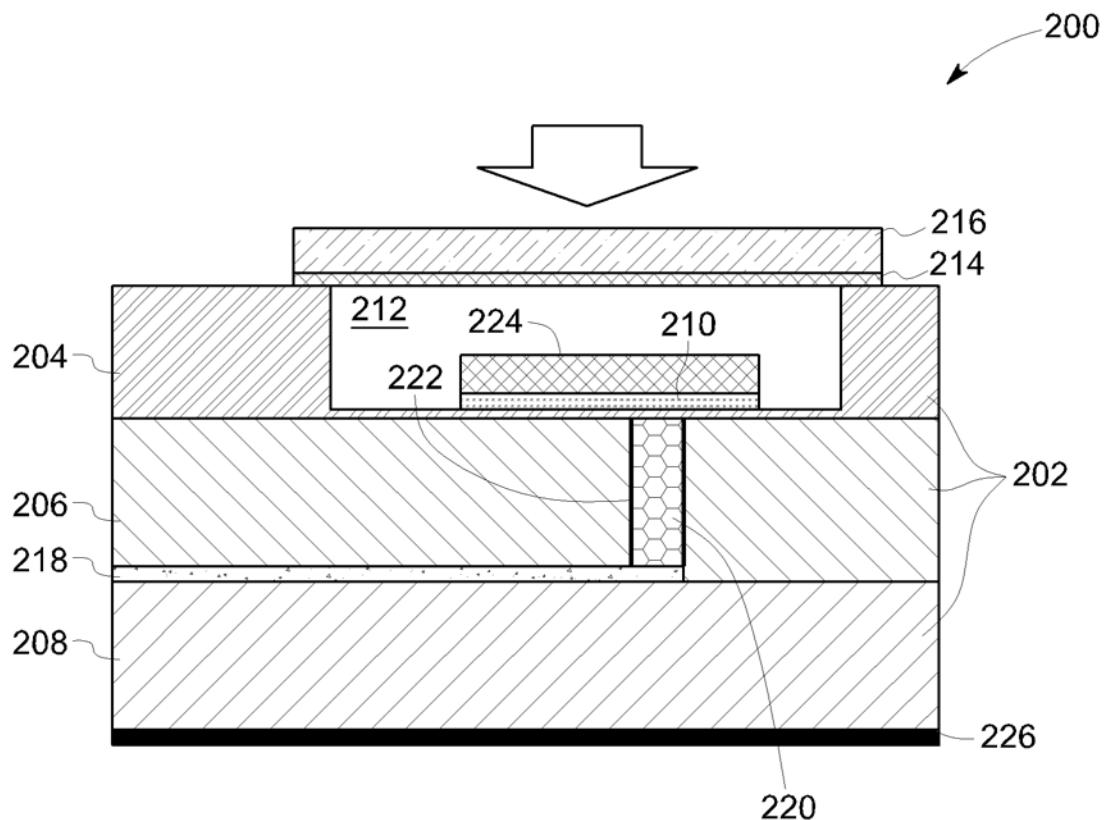


图 2

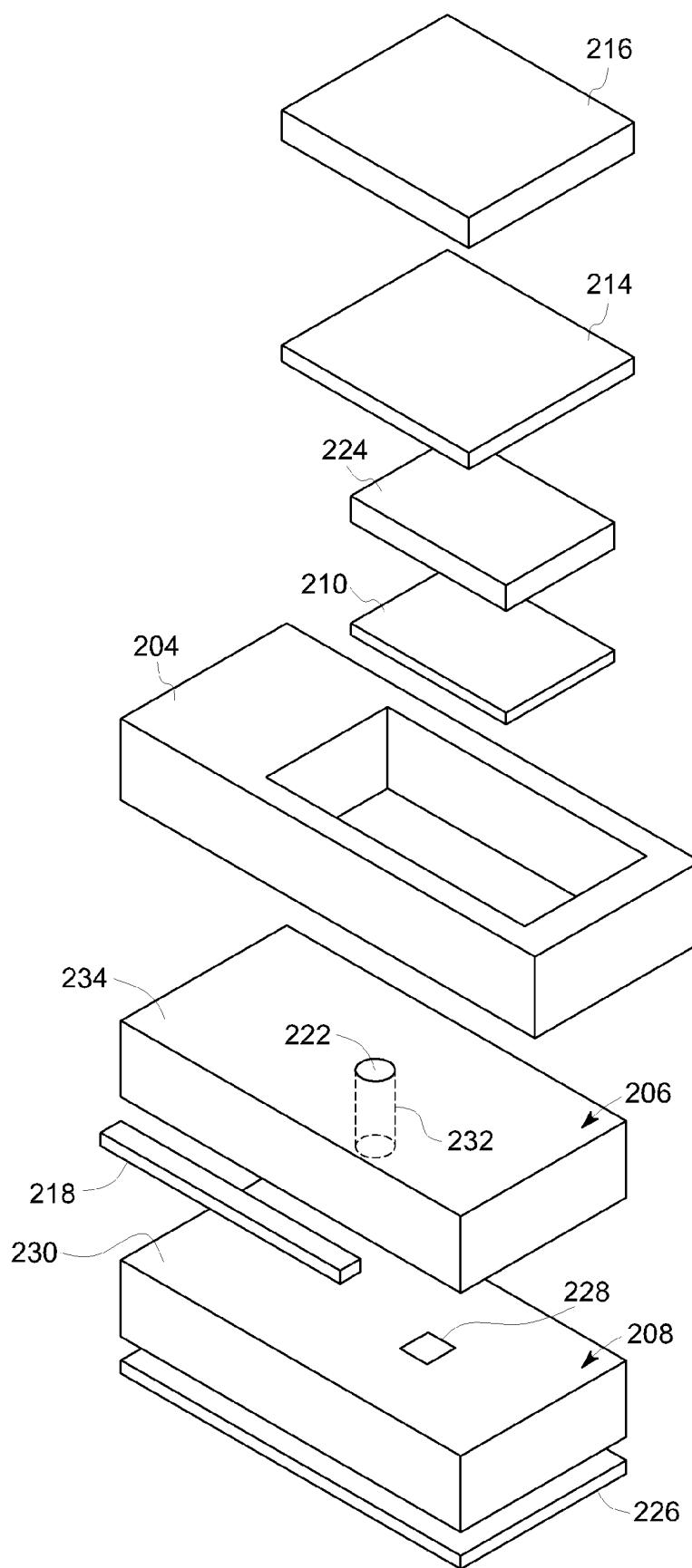


图 3

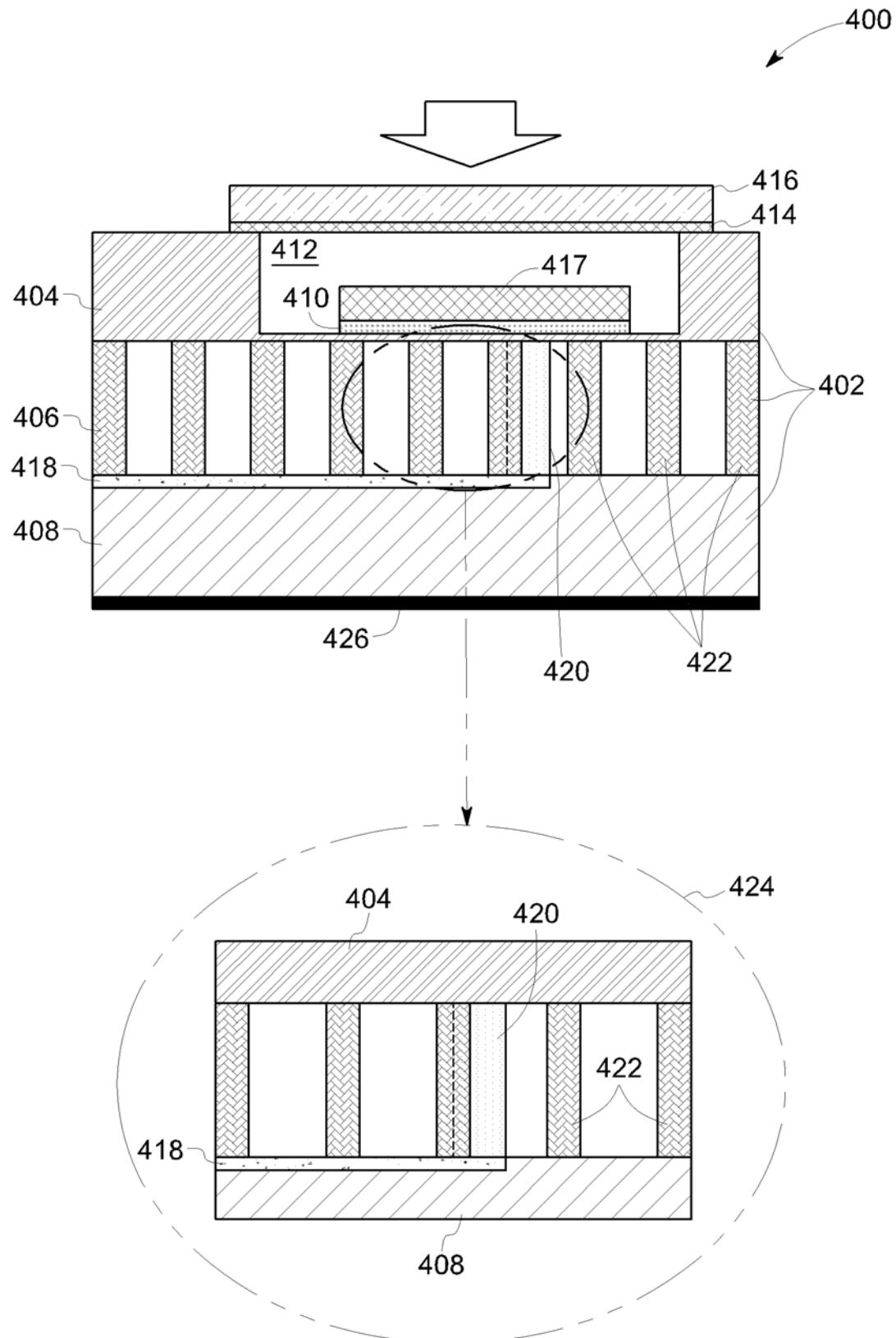


图 4

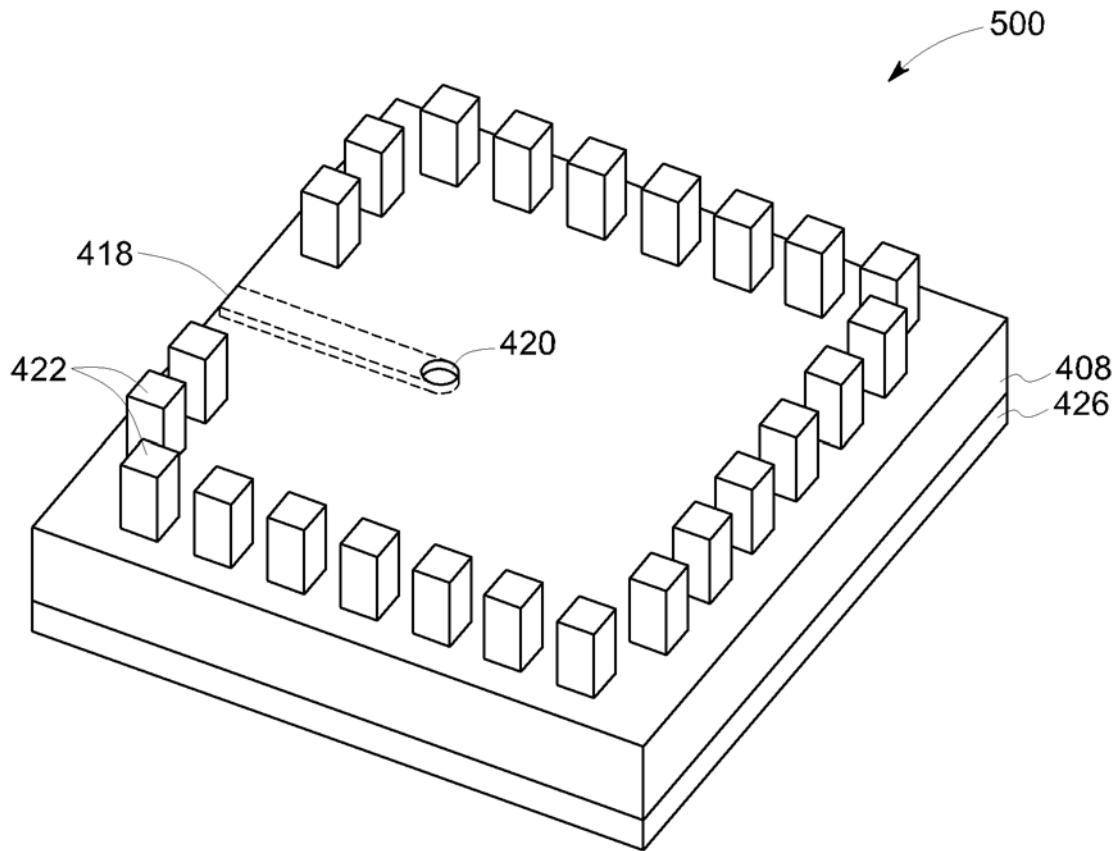


图 5

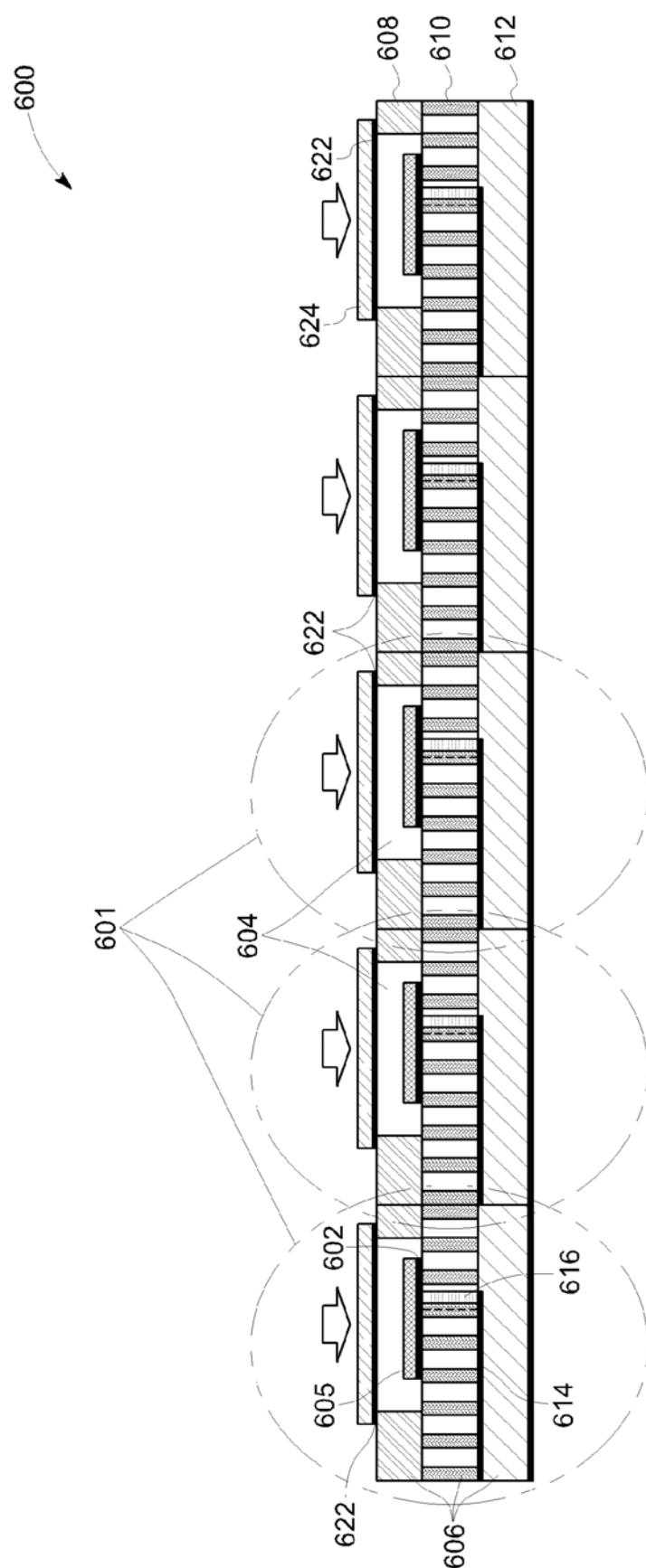


图 6

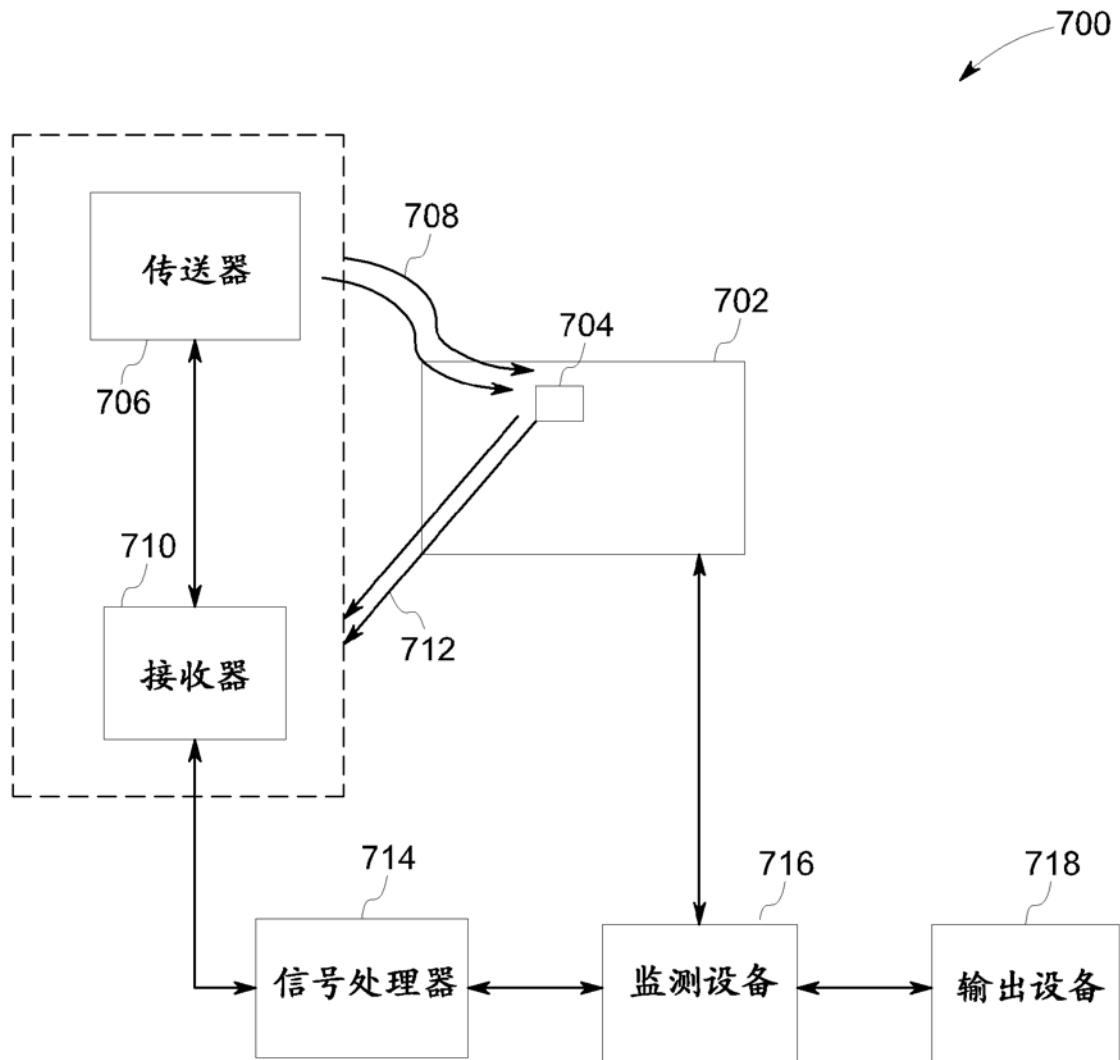


图 7

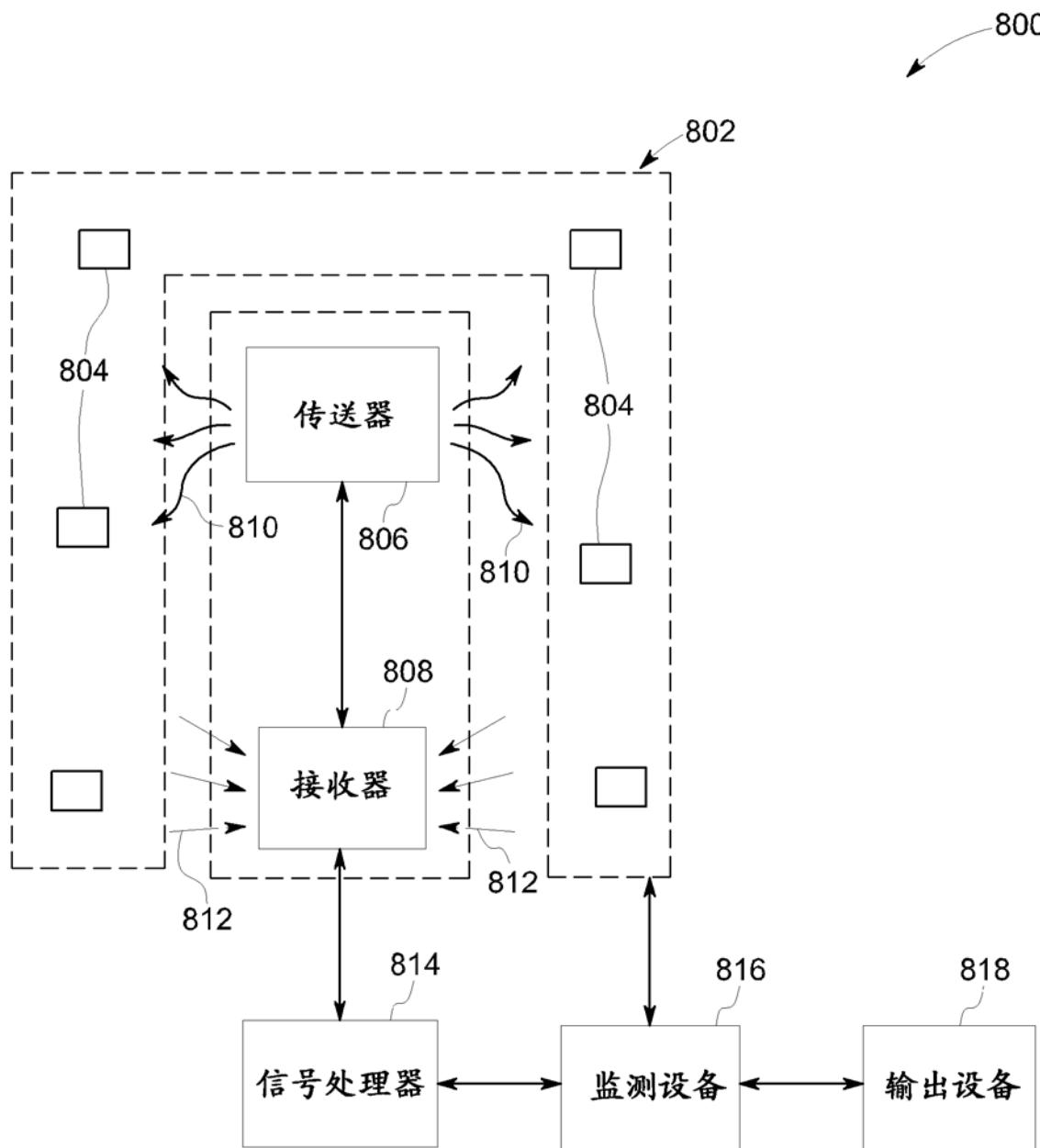


图 8

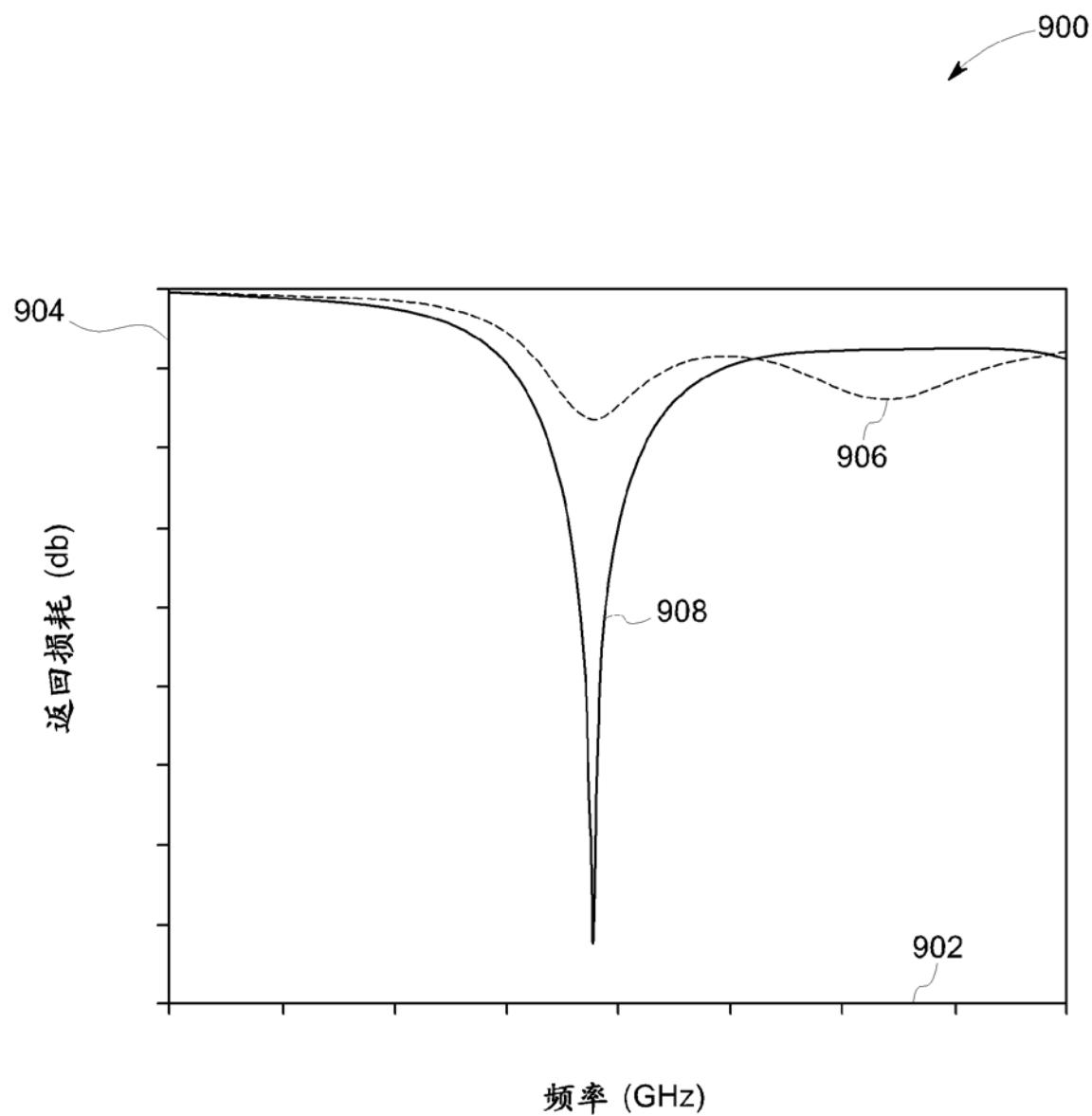


图 9

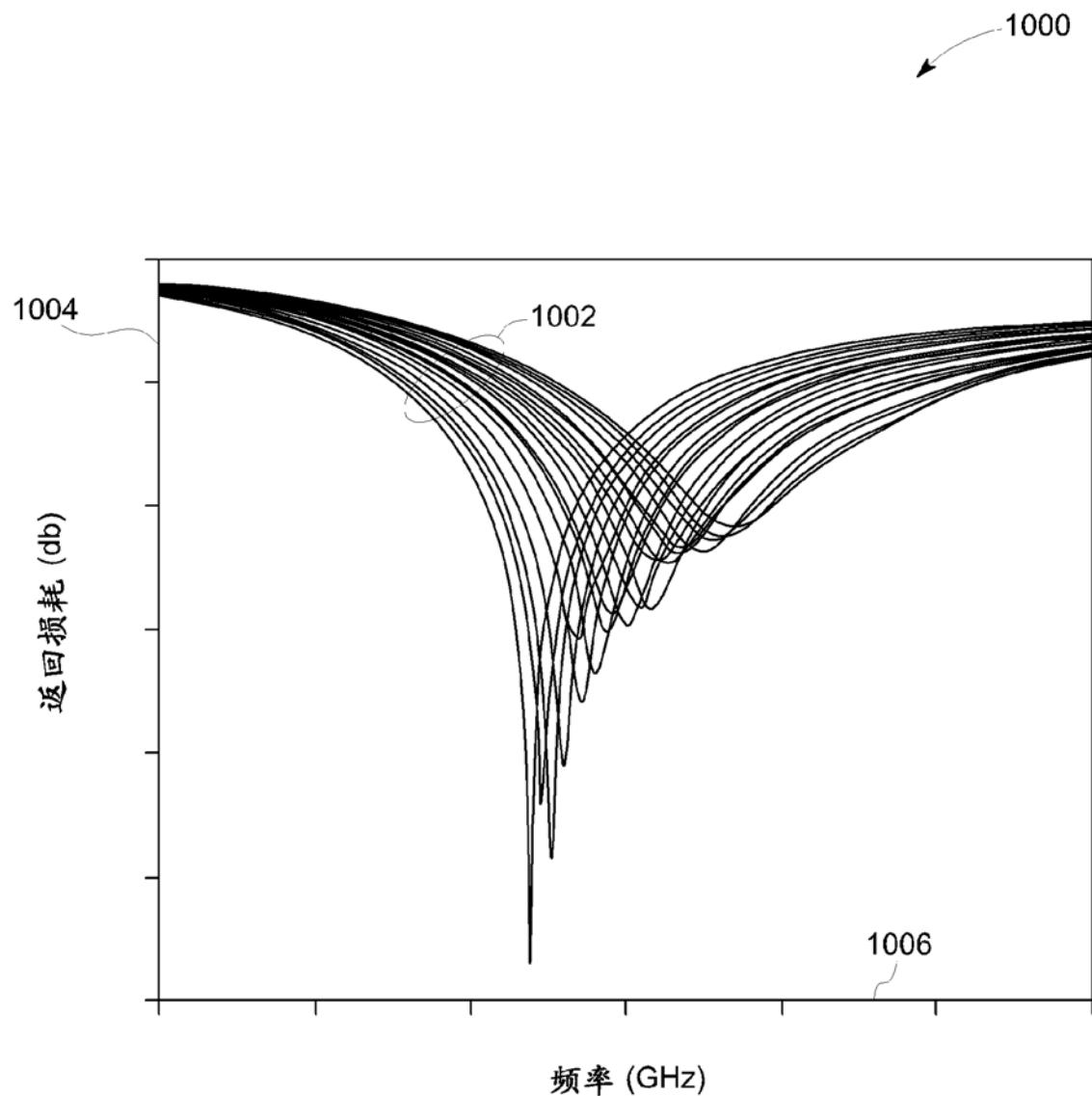


图 10A

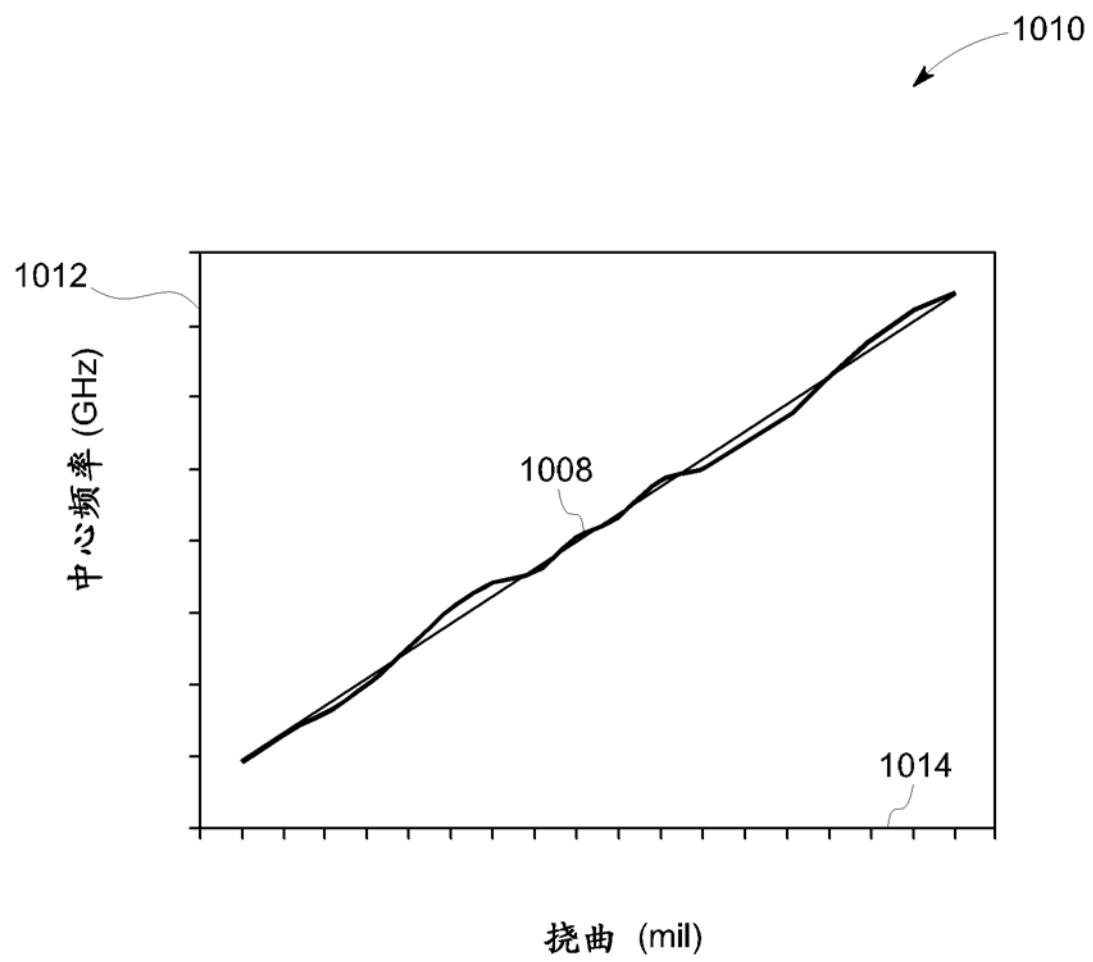


图 10B

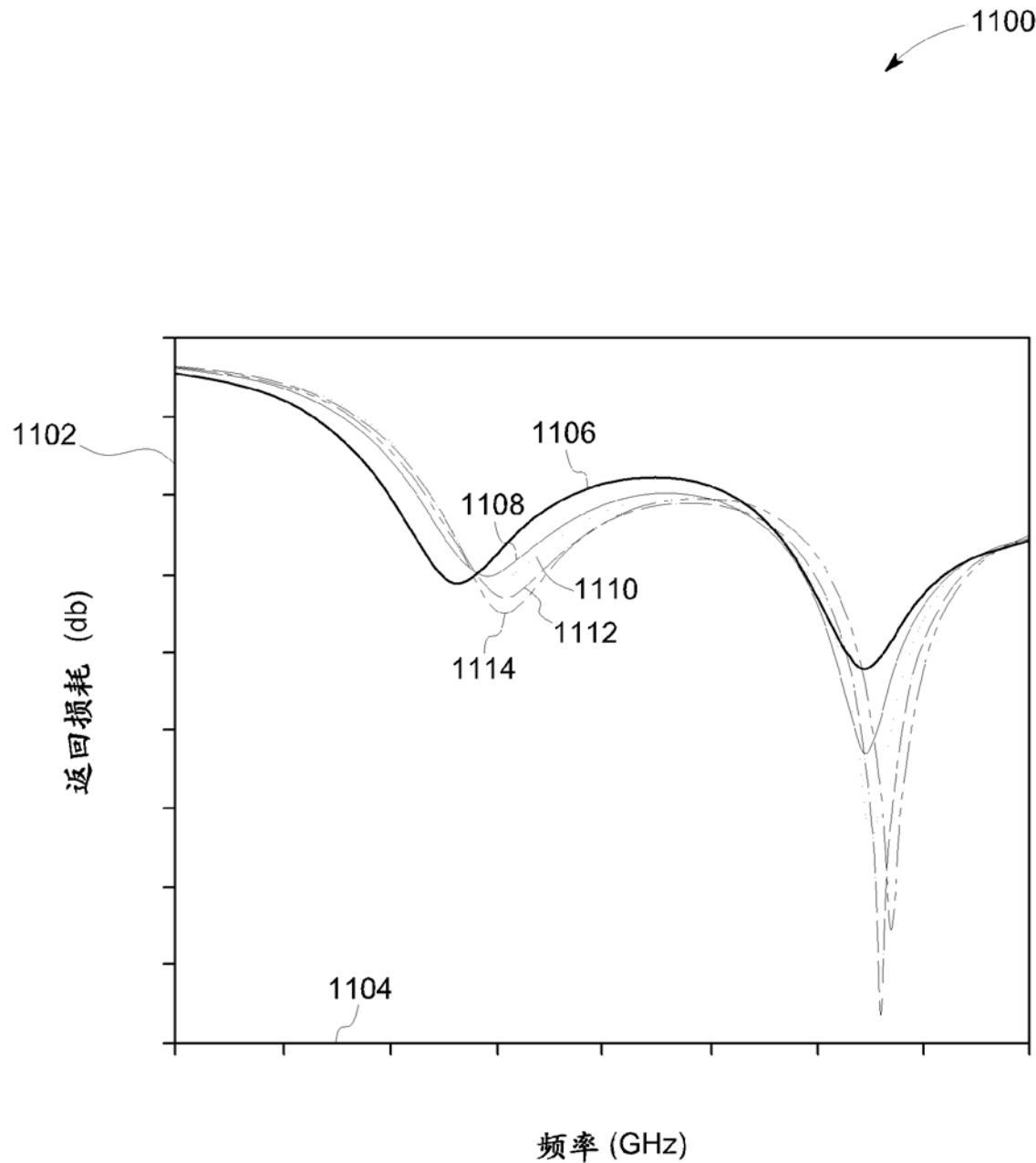


图 11

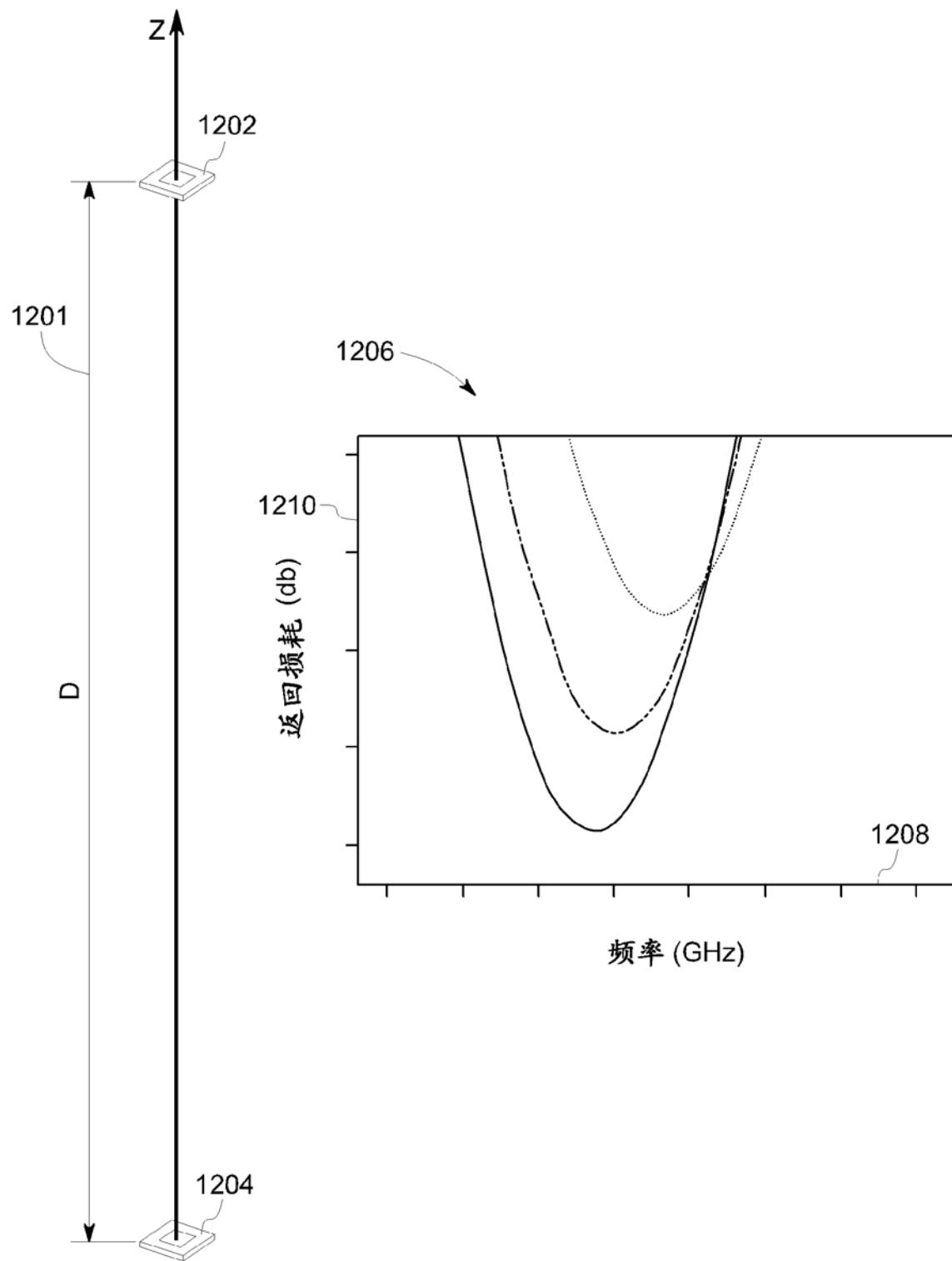


图 12

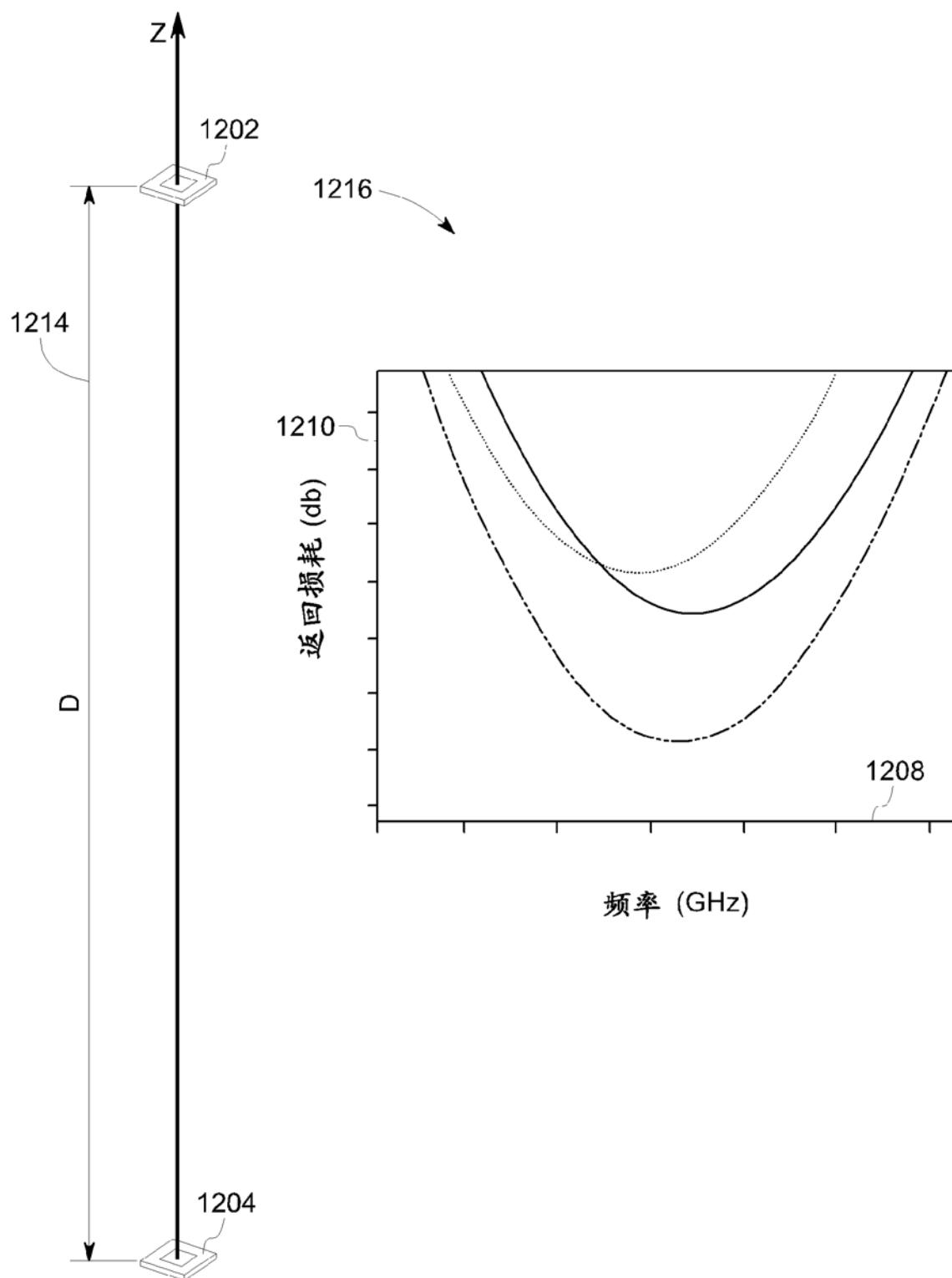


图 13