



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116324329 A

(43) 申请公布日 2023.06.23

(21) 申请号 202180069064.5

(72) 发明人 迈克尔·W·斯托厄尔

(22) 申请日 2021.07.22

卡洛斯·蒙塔尔沃

(30) 优先权数据

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021

63/094,223 2020.10.20 US

专利代理人 罗松梅 潘剑颖

17/340,493 2021.06.07 US

17/340,514 2021.06.07 US

(51) Int.CI.

17/340,678 2021.06.07 US

G01B 7/06 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.04.07

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2021/042735 2021.07.22

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/086611 EN 2022.04.28

(71) 申请人 利腾股份有限公司

权利要求书2页 说明书32页 附图29页

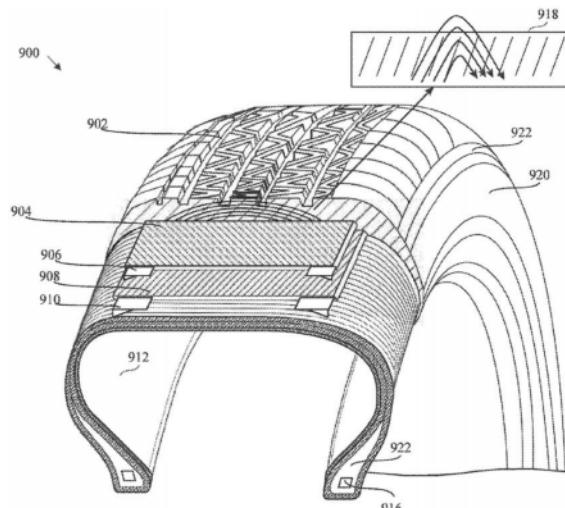
地址 美国加利福尼亚州

(54) 发明名称

用于检测弹性体材料的物理性质变化的系  
统

(57) 摘要

公开了用于检测车辆中的轮胎应变的系统。在一些实现方式中，所述系统可包括安置在所述车辆或车辆部件中的一者或多者上的天线并且可输出电磁声脉冲。所述系统可包括轮胎，所述轮胎具有由一个或多个轮胎帘布层形成的主体。所述轮胎帘布层中的任何一者或多者可包括开口环谐振器(SRR)。每一SRR可具有可响应于相应的一个或多个轮胎帘布层的弹性体性质变化而成比例地偏移的固有谐振频率，所述弹性体性质包括可逆变形、应力或应变中的一者或多者。所述SRR可包括具有碳粒子的SRR，所述碳粒子可至少部分地基于所述SRR内的所述碳粒子的浓度水平响应于电磁声脉冲而独特地谐振。



1. 一种被配置为检测车辆中的轮胎应变的系统,所述系统包括:  
天线,所述天线安置在所述车辆上或内并且被配置为发射电磁声脉冲;以及  
轮胎,所述轮胎包括由一个或多个轮胎帘布层形成的主体,所述轮胎帘布层中的至少一者包括多个开口环谐振器(SRR),所述开口环谐振器具有对所述至少一个轮胎帘布层的弹性体性质变化作出响应的固有谐振频率,所述弹性体性质包括可逆变形、应力或应变中的一者或多者。
2. 如权利要求1所述的系统,其中所述多个SRR还包括第一SRR,所述第一SRR包括多个第一碳粒子,所述第一碳粒子被配置为至少部分地基于所述第一SRR内的所述第一碳粒子的浓度水平响应于所述电磁声脉冲而独特地谐振。
3. 如权利要求2所述的系统,其中所述多个SRR还包括第二SRR,所述第二SRR与所述第一SRR相邻并且包括多个第二碳粒子,所述第二碳粒子被配置为至少部分地基于所述第二SRR内的所述第二碳粒子的浓度水平响应于所述电磁声脉冲而独特地谐振。
4. 如权利要求3所述的系统,其中所述第一碳粒子包括形成第一多孔结构的第一聚集体,并且所述第二碳粒子包括形成第二多孔结构的第二聚集体。
5. 如权利要求4所述的系统,其中所述第一多孔结构和所述第二多孔结构包括中尺度结构。
6. 如权利要求3所述的系统,其中所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者包括印刷到所述轮胎帘布层的表面上的三维(3D)层。
7. 如权利要求3所述的系统,其中所述第一SRR被配置为响应于所述电磁声脉冲而在第一频率下谐振,并且所述第二SRR被配置为响应于所述电磁声脉冲而在第二频率下谐振,所述第一频率与所述第二频率不同。
8. 如权利要求7所述的系统,其中所述第一频率和所述第二频率中的每一者与编码序列号相关联。
9. 如权利要求7所述的系统,其中所述第一SRR或所述第二SRR的谐振振幅指示所述轮胎帘布层的磨损程度。
10. 如权利要求3所述的系统,其中由所述电磁声脉冲引起的所述SRR的所述固有谐振频率的变化的量或大小指示所述轮胎帘布层的变形量。
11. 如权利要求3所述的系统,其中所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者具有衰减点。
12. 如权利要求11所述的系统,其中所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者的所述衰减点与对所述电磁声脉冲的频率响应相关联。
13. 如权利要求3所述的系统,其中所述第一碳粒子和所述第二碳粒子中的每一者与所述轮胎帘布层化学键合。
14. 如权利要求3所述的系统,其中所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者具有与所述电磁声脉冲的S参数或频率中的一者或多者相关联的主要尺寸。
15. 如权利要求3所述的系统,其中所述第一SRR或所述第二SRR中的至少一者具有卵形形状、椭圆形形状、矩形形状、正方形形状、圆形形状或曲线中的一者。
16. 如权利要求3所述的轮胎,其中所述第一SRR或所述第二SRR中的一者或多者包括圆柱形SRR。

17. 如权利要求3所述的轮胎,其中所述第一SRR位于所述第二SRR外部。
18. 如权利要求3所述的系统,其中所述第一SRR和所述第二SRR安置在所述轮胎的内衬层内。
19. 如权利要求3所述的轮胎,所述轮胎还包括胎面侧,所述多个SRR中的一者或多者安置在所述胎面侧附近。
20. 如权利要求3所述的系统,其中所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者具有负有效磁导率。
21. 如权利要求3所述的系统,其中所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者包括导电材料、金属、导电非金属、介电材料或半导体材料中的一者或多者。
22. 如权利要求3所述的系统,其中所述第一SRR和所述第二SRR被配置为一对同心环。

## 用于检测弹性体材料的物理性质变化的系统

### 技术领域

[0001] 本公开总体上涉及传感器，并且更明确地说，涉及可以检测车辆轮胎的各种性质的开口环谐振器。

### 背景技术

[0002] 车辆动力类型(包括混合和纯电系统)的发展已经为进一步技术整合创造了机会。这在现代车辆过渡到完全自动驾驶和导航时尤其如此，其中技术(而不是经过培训和有能力的人)必须定期监测车辆部件性能和可靠性，从而一直确保车辆乘员的安全性和舒适性。传统系统，诸如胎压监测系统(TPMS)，可能无法提供高技能(诸如赛车)或完全自动驾驶应用所需的高保真度。此类应用可能会带来独特的挑战，诸如在苛刻的驾驶或赛车中遇到的快速车辆部件(诸如轮胎)磨损，或在车辆操作期间没有能够检查轮胎性能的人类驾驶员在场。

### 发明内容

[0003] 提供本发明内容以按简化形式介绍下文在具体实施方式中进一步描述的一些概念。本发明内容并不意欲识别所主张的主题的关键特征或基本特征，也不意欲限制所主张的主题的范围。此外，本公开的系统、方法和装置各自具有若干新颖方面，所述新颖方面中无单一者单独负责本文中公开的所要属性。

[0004] 本公开中描述的主题的一个新颖方面可在被配置为检测车辆中的轮胎应变的系统中实施。在一些实现方式中，包括安置在车辆之上或之内的天线以及包括由一个或多个轮胎帘布层形成的主体的轮胎。所述天线被配置为发射电磁声脉冲(ping)。所述轮胎帘布层中的至少一者包括多个开口环谐振器(SRR)，所述开口环谐振器具有对所述至少一个轮胎帘布层的弹性体性质变化作出响应的固有谐振频率，所述弹性体性质包括可逆变形、应力或应变中的一者或多者。在一些实现方式中，所述多个SRR还包括第一SRR，所述第一SRR包括多个第一碳粒子，所述第一碳粒子被配置为至少部分地基于所述第一SRR内的第一碳粒子的浓度水平响应于所述电磁声脉冲而独特地谐振。另外地或另选地，所述多个SRR还包括第二SRR，所述第二SRR与所述第一SRR相邻并且包括多个第二碳粒子，所述第二碳粒子被配置为至少部分地基于所述第二SRR内的第二碳粒子的浓度水平响应于所述电磁声脉冲而独特地谐振。在一些方面中，所述第一碳粒子包括形成第一多孔结构的第一聚集体，并且所述第二碳粒子包括形成第二多孔结构的第二聚集体。所述第一多孔结构和所述第二多孔结构可包括中尺度结构。

[0005] 所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者包括印刷到所述轮胎帘布层的表面上的三维(3D)层。在一些方面中，所述第一SRR被配置为响应于所述电磁声脉冲而在第一频率下谐振，并且所述第二SRR被配置为响应于所述电磁声脉冲而在第二频率下谐振，所述第一频率与所述第二频率不同。所述第一频率和所述第二频率中的每一者可能与编码序列号相关联。在一些情况下，所述第一SRR或所述第二SRR的谐振振幅指示轮胎帘布层的磨损程度。

[0006] 在其他实现方式中,由电磁声脉冲引起的所述SRR的固有谐振频率的变化的量或大小指示轮胎帘布层的变形量。在一些方面中,所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者具有与对电磁声脉冲的频率响应相关联的衰减点。

[0007] 在各种实现方式中,所述第一碳粒子和所述第二碳粒子中的每一者与轮胎帘布层化学键合。在一些方面中,所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者具有与电磁声脉冲的S参数或频率中的一者或者相关联的主要尺寸。所述第一SRR或所述第二SRR中的至少一者具有卵形形状、椭圆形形状、矩形形状、正方形形状、圆形形状或曲线中的一者。

[0008] 在一些情况下,所述第一SRR或所述第二SRR中的一者或者包括圆柱形SRR。在其他情况下,所述第一SRR位于所述第二SRR外部。在一些其他情况下,所述第一SRR和所述第二SRR安置在轮胎的内衬层内。在一些其他方面中,所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者具有负有效磁导率。

[0009] 本公开中描述的主题的另一个新颖方面可在轮胎中实施。所述轮胎包括由一个或多个轮胎帘布层形成的主体,所述轮胎帘布层中的任何一者或者包括一个或多个SRR,所述SRR中的每一者与固有谐振频率相关联,所述固有谐振频率被配置为响应于相应的一个或多个轮胎帘布层的弹性体性质变化而偏移,所述弹性体性质包括可逆变形、应力或应变中的一者或者者。

[0010] 在一些实现方式中,所述一个或多个SRR还包括第一SRR,所述第一SRR包括多个第一碳粒子,所述第一碳粒子被配置为至少部分地基于所述第一SRR内的第一碳粒子的浓度水平响应于电磁声脉冲而独特地谐振。另外地或另选地,所述一个或多个SRR还包括第二SRR,所述第二SRR与所述第一SRR相邻并且包括多个第二碳粒子,所述第二碳粒子被配置为至少部分地基于所述第二SRR内的第二碳粒子的浓度水平响应于所述电磁声脉冲而独特地谐振。

[0011] 在一些实现方式中,所述第一碳粒子包括形成第一多孔结构的第一聚集体,并且所述第二碳粒子包括形成第二多孔结构的第二聚集体。在一些方面中,所述第一多孔结构和所述第二多孔结构包括中尺度结构。在其他方面中,所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者包括印刷到所述轮胎帘布层的表面上的3D层。所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者可具有衰减点。在一些方面中,所述第一SRR和所述第二SRR各自的衰减点与对电磁声脉冲的频率响应相关联。在一个实现方式中,所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者包括印刷到所述轮胎帘布层的表面上的3D层。

[0012] 所述第一SRR可被配置为响应于所述电磁声脉冲而在第一频率下谐振,并且所述第二SRR被配置为响应于所述电磁声脉冲而在第二频率下谐振,所述第一频率与所述第二频率不同。所述第一频率和所述第二频率中的每一者可能与编码序列号相关联。在一些方面中,所述第一碳粒子和所述第二碳粒子中的每一者与轮胎帘布层化学键合。在其他方面中,所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者具有与电磁声脉冲的S参数或频率中的一者或者相关联的主要尺寸。在一些情况下,所述第一SRR或所述第二SRR的谐振振幅指示轮胎帘布层的磨损程度。

[0013] 在其他实现方式中,由电磁声脉冲导致的所述SRR的固有谐振频率变化的量或大小指示轮胎帘布层的变形量。在一些方面中,所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者具有衰减点。所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者的衰减点与对电磁声脉冲的频率响应相关

联。

[0014] 在各种实现方式中,所述第一碳粒子和所述第二碳粒子中的每一者与轮胎帘布层化学键合。在一些方面中,所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者具有与电磁声脉冲的S参数或频率中的一者或者相关联的主要尺寸。所述第一SRR或所述第二SRR中的至少一者具有卵形形状、椭圆形形状、矩形形状、正方形形状、圆形形状或曲线中的一者。

[0015] 在一些情况下,所述第一SRR或所述第二SRR中的一者或者包括圆柱形SRR。在其他情况下,所述第一SRR位于所述第二SRR外部。在一些其他情况下,所述第一SRR和所述第二SRR安置在轮胎的内衬层内。在一些其他方面中,所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者具有负有效磁导率。

[0016] 本公开中描述的主题的另一个新颖方面可在轮胎中实施。所述轮胎包括由一个或多个轮胎帘布层形成的轮胎主体,所述轮胎帘布层中的任何一者或者包括被配置为检测相应轮胎帘布层的温度的温度传感器。在一些实现方式中,所述温度传感器包括:陶瓷材料,所述陶瓷材料被组织为矩阵;一个或多个SRR,每一SRR具有固有谐振频率,所述固有谐振频率被配置为响应于相应的一个或多个轮胎帘布层的弹性体性质变化或温度变化中的一者或者而偏移;以及导电层,所述导电层与相应的一个或多个SRR介电分离。

[0017] 在一些实现方式中,所述一个或多个SRR还包括第一SRR,所述第一SRR包括多个第一碳粒子,所述第一碳粒子被配置为至少部分地基于所述第一SRR内的第一碳粒子的浓度水平响应于电磁声脉冲而独特地谐振。另外地或另选地,所述一个或多个SRR还包括第二SRR,所述第二SRR与所述第一SRR相邻并且包括多个第二碳粒子,所述第二碳粒子被配置为至少部分地基于所述第二SRR内的第二碳粒子的浓度水平响应于所述电磁声脉冲而独特地谐振。

[0018] 在一些实现方式中,所述第一碳粒子包括形成第一多孔结构的第一聚集体,并且所述第二碳粒子包括形成第二多孔结构的第二聚集体。在一些方面中,所述第一多孔结构和所述第二多孔结构包括中尺度结构。在其他方面中,所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者包括印刷到所述轮胎帘布层的表面上的3D层。所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者可具有衰减点。在一些方面中,所述第一SRR和所述第二SRR各自的衰减点与对电磁声脉冲的频率响应相关联。在一个实现方式中,所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者包括印刷到所述轮胎帘布层的表面上的3D层。

[0019] 所述第一SRR可被配置为响应于所述电磁声脉冲而在第一频率下谐振,并且所述第二SRR被配置为响应于所述电磁声脉冲而在第二频率下谐振,所述第一频率与所述第二频率不同。所述第一频率和所述第二频率中的每一者可能与编码序列号相关联。在一些方面中,所述第一碳粒子和所述第二碳粒子中的每一者与轮胎帘布层化学键合。在其他方面中,所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者具有与电磁声脉冲的S参数或频率中的一者或者相关联的主要尺寸。在一些情况下,所述第一SRR或所述第二SRR的谐振振幅指示轮胎帘布层的磨损程度。

[0020] 在其他实现方式中,由电磁声脉冲导致的所述SRR的固有谐振频率变化的量或大小指示轮胎帘布层的变形量。在一些方面中,所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者具有衰减点。所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者的衰减点与对电磁声脉冲的频率响应相关联。

[0021] 在各种实现方式中，所述第一碳粒子和所述第二碳粒子中的每一者与轮胎帘布层化学键合。在一些方面中，所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者具有与电磁声脉冲的S参数或频率中的一者或者相关联的主要尺寸。所述第一SRR或所述第二SRR中的至少一者具有卵形形状、椭圆形形状、矩形形状、正方形形状、圆形形状或曲线中的一者。

[0022] 在一些情况下，所述第一SRR或所述第二SRR中的一者或者包括圆柱形SRR。在其他情况下，所述第一SRR位于所述第二SRR外部。在一些其他情况下，所述第一SRR和所述第二SRR安置在轮胎的内衬层内。在一些其他方面中，所述第一SRR和所述第二SRR中的每一者具有负有效磁导率。

## 附图说明

[0023] 在附图和以下描述中陈述了本公开描述的主题的一个或多个实现方式的细节。其他特征、方面和优点将从说明书、图式和权利要求书中变得显而易见。请注意，以下图式的相对尺寸可能不按比例绘制。

[0024] 图1呈现包括各种传感器的现场车辆控制系统。

[0025] 图2描绘根据一些实现方式的信号处理系统，所述信号处理系统分析通过由含碳调谐RF谐振材料形成的传感器频移和/或衰减的RF信号。

[0026] 图3示出根据一些实现方式的签名分类系统。

[0027] 图4描绘根据一些实现方式的根据含碳调谐RF谐振材料的各种层的RF谐振变化感测到的一系列轮胎条件参数。

[0028] 图5描绘根据一些实现方式的用于调谐轮胎的多个帘布层的设备的示意图。

[0029] 图6和图7描绘根据一些实现方式的可从由含碳调谐RF谐振材料层形成的新轮胎发射的多组示例条件签名。

[0030] 图8描绘根据一些实现方式的包括两个同心SRR的示例开口环谐振器(SRR)配置的自上而下示意图。

[0031] 图9描绘根据一些实现方式的示出用于通过基于阻抗的光谱法进行轮胎磨损感测的完整轮胎诊断系统和设备的示意图。

[0032] 图10和图11描绘根据一些实现方式的与经由遥测传送到导航系统的轮胎信息以及用于制造印刷碳基材料的设备有关的示意图。

[0033] 图12描绘根据一些实现方式的通过轮胎胎面层和/或轮胎主体帘布层印刷编码对车辆轮胎的基于谐振序列号的数字编码。

[0034] 图13示出根据一些实现方式的促成由不同的近端存在谐振器类型引起的集合现象的谐振机制。

[0035] 图14是根据一些实现方式的包括一个或多个目前公开的SRR的示例温度传感器。

[0036] 图15是根据一些实现方式的测量谐振签名信号强度(以分贝dB为单位)相对于轮胎胎面层损失的高度(以毫米mm为单位)的曲线图。

[0037] 图16是根据一些实现方式的测量谐振签名信号强度(以分贝dB为单位)相对于SRR的固有谐振频率的曲线图，示出了与轮胎帘布层变形成比例的谐振响应位移。

[0038] 图17是根据一些实现方式的可对应于编码序列号而谐振的SRR的信号强度相对于线性调频信号频率的曲线图。

[0039] 图18A至图18Y描绘根据一些实现方式的用作用于生产任何目前公开的谐振器(例如SRR)的成形材料的碳质材料。

[0040] 各种图式中的类似附图标记和名称指示类似元件。

## 具体实施方式

[0041] 本文公开的主题的各种实现方式总体上涉及部署由碳质微观结构制成的耐用传感器(例如,开口环谐振器SRR)。所述传感器可以结合到车辆部件内,例如,在常规的目前可市售的气动(指空气、氮气或其他充气)轮胎、下一代无空气实心轮胎的主体的帘布层内,以及在其他位置,例如在车辆车身内。所述传感器可以嵌入在轮胎帘布层和/或轮胎胎面的多个部分内,例如,与路面或地面接触的橡胶。常规轮胎使用会导致接触表面的劣化,最终导致光面(无胎面花纹)轮胎无法充分地粘附到道路表面,尤其在恶劣天气条件(例如,下雪、大雨等)下。含有传感器的轮胎帘布层的劣化产生传感器响应行为的对应的可检测变化,例如,相对于侧向轮胎滑动例如“漂移”(这是一些狂热爱好者团体中的常见操作)中遇到的向前旋转和轮胎应变二者。这样,两种常规(例如,向前旋转)轮胎劣化可通过观测预期传感器谐振响应行为的偏移(例如,如通过下文进一步解释的概念频移-键控来完成)通过预期传感器谐振响应行为的改变和轮胎粘滞力的失去(例如,在漂移操作期间)来检测。如通常所理解,粘滞力可意指为了使接触的静止物体能够发生相对运动而需要克服的静摩擦,例如在涉及侧向移动(诸如漂移)的技能驾驶操作期间可能遇到的情况。这与动摩擦和/或动态摩擦相反,动摩擦和/或动态摩擦可意指两个接触表面之间的同时移动等。

[0042] 碳质材料可在合成期间进行调谐以实现所发射的RF信号的特定的预期射频(RF)信号偏移(指频移)和信号衰减(指信号大小的减小)行为。能够发射RF信号的设备可包括例如收发器,所述收发器安装在装备有所公开系统和/或电感器-电容器(LC)电路(也称为(互换地)储能电路、LC电路或谐振器)的车辆的一个或多个轮窝内。目前公开的实现方式不需要活动部件,因此不太容易由于常规道路使用而磨损和撕裂。SRR与预先存在的车辆电子部件一起起作用。所公开的成分碳质材料的目标RF谐振频率值可在反应腔室或反应器内进行调谐以展现出相互作用而得到目标性能特性。所述特性可用于任何数目的应用,例如多节、低压越野轮胎以及仅用于赛道的无胎面花纹的光面胎。由独特碳质材料形成的SRR在指定射频(RF)(例如0.01GHz至100GHz)下展现出频移和/或信号衰减,所述指定射频可根据期望应用进行调整。关于可调性,碳质材料可在反应器中自含碳气态物质天然生长(例如,自成核),而不需要晶种粒子来产生绚丽的3D结构。

[0043] 装备有所公开材料和系统的车辆周围环境的变化(例如,雪、雨等)可能会影响SRR的谐振、频移和/或信号衰减行为。因此,很微小的轮胎条件变化都可以被检测到并传达给驾驶员。例如,如果含有一个或多个SRR的轮胎帘布层接触道路表面(例如,向前旋转)并且由此随时间推移而劣化,则劣化的轮胎帘布层内的该SRR的谐振可能会改变。另外,其他可检测到的变化可能会在漂移(例如,侧向移动)情形期间发生,使得含有SRR的受影响的轮胎帘布层和/或胎面层的信号响应可指示该胎面层的存在或不存在以及磨损程度。因此,SRR可准确地且精确地检测天气或其他环境条件(例如技能驾驶操作)的突然或逐渐转变。

[0044] 可通过使用具有已知频率的电磁(EM)信号刺激每一SRR内的RF谐振材料来检测SRR的RF范围谐振频率响应的可检测到的变化和/或偏移。在一些配置中,EM信号最初可通

过天线(也安装在车辆上)输出和/或进一步通过安装在一个或多个轮窝内的图案化谐振电路(本文中也称为“谐振器”，所述谐振电路可以3D打印到轮胎主体帘布层上)传播。这样，可用电子方式观测并分析所发射信号的与相应SRR相关联的衰减和/或频移以计示当前环境条件。另外，可观测RF谐振频率(或多个频率)的变化并与已知且离散的校准点进行比较以确定在给定时刻在车辆车身上的一一个或多个限定的检测点处测量的轮胎气压。

[0045] 轮胎的常规使用(诸如在大多数路面轮胎的道路上行驶或越野轮胎的越野行驶期间遇到的情况)可能会导致轮胎部分的些微变形，这样可能会导致在y被RF信号‘探查’时相应SRR的固有RF谐振频率变化。可检测与形成各种SRR的目前公开的碳相关联的此类固有谐振频率变化并与已知校准点进行比较以确定轮胎内部的条件。将天线与结合到轮胎帘布层内的目前公开的SRR结合使用的系统可适于感测轮胎帘布层性质变化和向车辆中的相关联的遥测设备发出报告。

[0046] 目前公开的SRR可经过调谐以检测相应轮胎帘布层的物理性质的很微小变化，包括由于车辆蒙皮上的气压或由于轮胎中/上的任何外力施加导致的变化。可通过“探查”(例如，发射RF信号并在之后观测和分析RF信号)来检测此类变化，随后处理给定轮胎帘布层、胎面层或其他表面或区域的独特的一组检测到的性质(例如“签名”)，如由例如频域回波所展现。讨论了用于校准观测到的信号签名和处理返回签名的各种机制。公开了用于制造具有与弹性体相互作用的被动嵌入式传感器的轮胎的方法，所述传感器呈调谐碳结构的形式。例如，用于由多个帘布层制造轮胎的机制可能会影响SRR的固有谐振频率行为。另外，轮胎可以被构造为包括多个轮胎帘布层，每一轮胎帘布层结合了具有独特的调谐碳质微观结构的不同调谐碳，所述微观结构可以是微米级的，或另选地是纳米、微米、甚至中间粒径一直到毫米(mm)级中的任何一者或多者。

[0047] 所公开的SRR可以实现来自GHz和MHz范围中的谐振的自供电签名，这通过摩擦发电机而成为可能(例如，在例如车辆轮胎旋转以及它与路面或地面反复摩擦和/或接触时产生电流)。此类摩擦部件可集成或以其他方式结合到一个或多个车辆轮胎帘布层中的弹性体层之间的多个钢带内。这样，SRR可通过摩擦发电机充电(和/或供电)以使谐振器谐振(并因此发射RF信号)并放电。谐振器可被配置为适应重复充电-放电循环并且采取各种形状和/或图案中的任何一者或多者，包括具有固有谐振值或性质(基于其成形材料和/或构造)的卵形。

[0048] 谐振器的形状或取向的变化可能会导致任何相关联谐振常数的对应变化。因此，由变形(例如，在像内部轮胎压力等静态条件下，或在诸如驶过道钉时遇到的那些动态条件等动态条件下)导致的轮胎物理性质的任何变化都可能会改变相应SRR的形状或取向。可使用不同的谐振器图案(例如，除了SRR之外或替代SRR)来对一类变形比对另一类变形以更大的灵敏度作出响应(诸如指在绕着曲线移动时遇到的侧向变形相比于在驶过沙砾或粗糙表面时遇到的垂直运动)。除了SRR基于轮胎变形而改变信号响应行为的配置之外，SRR还可以与其他信号衰减检测能力电子通信，例如，与放置于车轮的轮窝或甚至轮辋内的数字信号处理、DSP、计算机芯片和/或换能器相关联。DSP可与用于刺激和响应的外部收发器(半导体芯片)一起起作用；在可选时。SRR也可与结合到单独轮胎帘布层中的摩擦发电机通信并展现出可通过外部接收器检测的谐振行为。

[0049] 图1是例如欲装备到车辆(诸如汽车和/或卡车)上的车辆条件检测系统1A00的

示意图。车辆条件检测系统1A00可包括传感器，诸如调谐RF谐振部件108(例如，开口环谐振器，诸如图8所示的开口环谐振器)。调谐RF谐振部件108中的每一者可由多种碳基微观结构材料、聚集体、聚结物和/或类似者形成，诸如Stowell等人在2020年2月7日提交的标题为“3D Self-Assembled Multi-Modal Carbon-Based Particle”的美国专利申请No.16/785,020中公开的那些材料(统称为“碳质材料”)。调谐RF谐振部件108可结合到车辆(诸如常规的驾驶员驾驶的汽车或能够操作以在无人类驾驶员情况下移动车辆乘员的完全自主运输舱或车辆)上的带传感器104、软管传感器105、轮胎传感器106和收发器天线102中的任何一者或者者中。

[0050] 调谐RF谐振部件108可被配置为诸如通过测量信号频移或衰减来与收发器114、车辆中央处理单元116、车辆传感器数据接收单元118、车辆致动器控制单元120和致动器122中的任何一者或者者电子地和/或无线地通信，所述致动器包括门、窗户、锁125、发动机控制126、导航/抬头显示器128、悬架控制129和气翼装饰件130。调谐RF谐振部件108可经由使用收发器114发射的RF信号110和/或返回的RF信号112导致所发射RF信号的观测到的频率的偏移(被称为“频移”，意指频率的任何变化)。对对应于所发射RF信号110的所返回RF信号112的提及可以是指相对于集成到带传感器104和/或类似者中的任何一者或者者中的调谐RF谐振部件108中的一者或者者的对所发射RF信号110的频移或衰减的电子检测(例如，不是来自传感器的信号的实际物理反射或返回)。所发射RF信号110和所返回RF信号112可与车辆中央处理单元116、车辆传感器数据接收单元118、车辆致动器控制单元120和/或致动器122中的任何一者或者者通信(并且因此也通过以上各者评定)。车辆条件检测系统100可使用软件与硬件的任何合适组合来实施。

[0051] 车辆条件检测系统100的所描绘的各种传感器中的任何一者或者者可由被调谐以在被所发射RF信号“探查”(指被撞击或以其他方式接触)时实现特定RF谐振行为的碳基微观结构形成。车辆条件检测系统100(或其任何方面)可被配置为在任何设想到的车辆使用应用、领域或环境中实施，诸如在恶劣的天气条件期间，包括雨夹雪、冰雹、下雪、结冰、霜冻、泥浆、沙石、碎屑、不平坦地形、水和/或其类似者。

[0052] 调谐RF谐振部件108可安置在车辆周围和/或上(诸如在驾驶室、发动机舱或行李箱内或在车身上)。如图1A所示，调谐RF谐振部件可包括带传感器104、软管传感器105、轮胎传感器106和收发器天线102，其中任何一者或者者可在车辆生产期间在现代车辆中实施，或(另选地)改装到预先存在的车辆，不管所述预先存在的车辆的年龄和/或条件如何。调谐RF谐振部件108可部分地使用容易得到的材料形成，诸如玻璃纤维(诸如用于气翼)或橡胶(诸如用于轮胎)或玻璃(诸如用于挡风玻璃)。这些常规材料可以与碳基材料、生长物、聚结物、聚集体、薄片、粒子和/或其类似者组合，诸如在反应腔室或反应器中由含碳气态物质在操作中自成核并且被调配为实现以下各项的那些物质：(1)提高它们结合到其中的复合材料的机械(诸如拉伸、压缩、剪切、应变、变形和/或类似者)强度；和/或(2)在一个特定频率或一组特定频率(在10GHz至100GHz的范围内)下谐振。主导材料的RF谐振性质和行为的变量可与负责控制材料强度的变量分开控制。

[0053] 基于射频(RF)的刺激(诸如由收发器114发射或由谐振器发射)可用于向调谐RF谐振部件108、致动器122(和/或类似者，诸如实施在调谐RF谐振部件108中或上的传感器)发射RF信号，以检测其相应的谐振频率以及在所发射信号(其可能受内部或外部条件影响)的

衰减中观测到的频移和型样。例如,如果调谐RF谐振部件(诸如轮胎传感器106)已经过特别准备(被称为“调谐”)以在约3的频率下谐振,那么轮胎传感器106可在通过3GHz RF信号刺激时发射交感谐振或交感振动(指谐波现象,其中先前被动的线或振动体对与其具有谐波相似性的外部振动作出响应)。

[0054] 这些交感振动可在刺激频率处发生以及在源自基本3GHz音调的泛音或旁瓣中发生。如果(调谐RF谐振部件108中的)调谐谐振部件已被调谐为在2GHz下谐振,那么在调谐谐振部件通过2GHz RF信号刺激时,该调谐谐振部件将发射所描述的交感振动。这些交感振动将在刺激频率处以及在源自基本2GHz音调的泛音或旁瓣(在工程学中,指天线或其他辐射源的远场辐射型样的并非主瓣的局部最大值)中发生。许多的额外调谐谐振部件可位于RF发射器的近侧。RF发射器可能被控制为首先发射2GHz声脉冲,接着发射3GHz声脉冲,接着发射4GHz声脉冲等等。处于不同且递增的频率的该一连串声脉冲可被称为“线性调频脉冲”。

[0055] 轮胎主体(诸如大体上由图3F1至图3F2示出)内的相邻轮胎帘布层(诸如彼此接触的轮胎帘布层)可具有不同浓度水平或构型的碳基微观结构,以限定结合在该(指相应)轮胎主体帘布层和/或胎面层内的传感器在彼此并非谐波的不同的相异频率下谐振。也就是说,非谐波帘布层可确保特定轮胎主体帘布层和/或胎面层(或其他表面或材料)相对于其他层的相异且可容易辨识的检测,其中由于由谐波引起(或以其他方式与谐波相关联)的信号干扰导致的混淆风险最小。

[0056] 收发器114(和/或谐振器,图1A中未示出)可被配置为将所发射RF信号110传输到调谐RF谐振部件108中的任何一者或多者,从而以数字方式辨识从调谐RF谐振部件108中的任何一者或多者返回的RF信号112的频移和/或衰减。此类“返回”信号112可被处理为可电子地传送到车辆中央处理单元116的数字信息,所述车辆中央处理单元与车辆传感器数据接收单元118和/或车辆致动器控制单元120相互作用,所述车辆传感器数据接收单元和/或车辆致动器控制单元基于接收到的传感器数据来发送其他车辆性能相关信号。所返回信号112<sub>0</sub>可至少部分地控制致动器122。也就是说,车辆致动器控制单元120可控制致动器122来根据从车辆传感器数据接收单元118接收到的关于由与收发器114通信的调谐RF部件指示的车辆部件磨损或劣化的反馈来操作门、窗户、锁124、发动机控制126、导航/抬头显示器128、悬架控制129和/或气翼装饰件130中的任何一者或多者。

[0057] 在监测所返回RF信号111的行为(诸如频移和/或衰减)时检测到道路碎屑和恶劣的天气条件可能会例如导致致动器122触发悬架控制129的相应变化。此类变化可例如包括使悬架设置变软以适应驶过道路碎屑,而在之后使悬架设置收紧以适应增强的车辆响应性,增强的车辆响应性在大雨(并且因此牵引力低)条件期间行驶可能是必要的。车辆致动器控制单元120进行的此类控制的变化有很多,其中车辆外部的任何可设想到的条件可通过收发器检测到(如所发射RF信号110和/或所返回RF信号112的频移和/或衰减所展现)。

[0058] 形成所描述传感器的调谐RF谐振部件108中的任一者可经过调谐以在被刺激时在特定频率下谐振,其中一个或多个频率的所限定位移(如由碳基微观结构所引起)可形成指示传感器结合到其中的材料或材料的条件的一个或多个信号签名。

[0059] 所返回RF信号112中的频移(诸如信号签名中所示的频移)的时间方差或偏差(TDEV)(指相位x对比测量的时钟源的观测间隔 $\tau$ 的时间稳定性;时间偏差因此形成测量的标准偏差类型以指示信号源的时间不稳定性)可对应于传感器环境的时变变化和/或传感

器自身的时变变化。因此,信号处理系统(诸如,车辆中央处理单元116、车辆传感器数据接收单元118和/或车辆致动器控制单元120等中的任何一者或多者)可被配置为根据TDEV原理分析与所述传感器相关联的信号(诸如所发射RF信号110和所返回RF信号112)。此类分析(诸如签名分析)的结果可被递送到车辆中央处理单元116,所述车辆中央处理单元(转而)可向车辆致动器控制单元120传达命令以作出适当的响应动作。在一些配置中,致动器122作出的此类响应动作可涉及至少一些人类驾驶员输入,而在其他配置中,车辆条件检测系统100可完全以自含式方式起作用,从而允许如此装备的车辆在完全无人驾驶环境中出现部件性能问题时解决所述问题。另外,车辆中央处理单元116可与一个或多个上游部件(例如,容纳于静止区域中的与赛车应用相关联的计算设备)和/或负责取得和/或处理与调谐RF谐振部件108相关联的所有数据的赛车任务控制单元119电子地通信。

[0060] 图2示出信号处理系统200的框图,所述信号处理系统可包括表面传感器260和嵌入式传感器270,所述传感器中的任何一者或多者可与其他传感器就如此装备的车辆(指装备有表面传感器260和嵌入式传感器270的车辆)的环境变化250进行电子通信。信号处理系统200还可以包括收发器214、签名分析模块254和车辆中央处理单元216,以上各者中的任何一者或多者与其他者电子通信。

[0061] 在一些实现方式中,嵌入式传感器270(其可嵌入于诸如轮胎帘布层等材料内)可采用自供电遥测和/或通过自供电遥测供电,所述自供电遥测包括也结合到围封相应传感器的材料内的摩擦能产生器(图2中未示出)。因此,摩擦能产生器可通过收集在例如旋转中的轮胎或车轮与它接触的路面之间累积的静电荷来产生可用的电流和/或电力,以对谐振电路供电(将在本文中更详细地描述),所述谐振电路随后可谐振以发射已知频率的RF信号。因此,安装在外部的收发器单元(诸如安装在车辆的每一轮窝内的收发器单元)可发射RF信号,所述RF信号通过谐振电路进一步传播,所述谐振电路在此配置中是摩擦供电的并嵌入于轮胎主体的帘布层中。所发射信号的频移和/或大小衰减同样例如由签名分析模块254和/或车辆中央处理单元216接收并分析。

[0062] 自供电遥测(指在远处或不可接近的点处收集测量结果或其他数据并将其自动传输到接收设备以进行监测)可结合到车辆轮胎中。如本文所提及,自供电遥测包括利用轮胎内部的摩擦电荷产生、该电荷的存储和所存储的电荷之后放电到谐振电路或通过谐振电路放电,以利用在谐振电路(指由字母L表示的电感器和由字母C表示的电容器连接在一起而组成的电路,用于产生处于一个或多个特定频率的RF信号)放电期间发生的“振铃”(指负责RF信号的进一步发射的谐振电路的振荡)。

[0063] 可大体上在目前公开的车辆部件磨损检测系统的两种可能配置中的一者中提供声脉冲刺激,所述两种可能配置包括:依赖于由刺激源产生的信号或‘声脉冲’,所述刺激源诸如位于轮胎(或意欲用于监测由于持续使用导致的磨损的其他车辆部件)外部(诸如结合到如此装备的车辆的每一轮窝内)的常规收发器;或使用轮胎内(指也嵌入于轮胎帘布层中,与具有碳基微观结构的传感器类似)摩擦能量产生装置,所述摩擦能量产生装置收集由旋转中的车轮和/或轮胎与其所接触的地面或路面之间的原本会浪费掉的摩擦能量产生的能量。如通常所理解和本文所提及的,摩擦学意指对在相对运动中的相互作用表面的科学和工程技术的研究。此类摩擦能量产生装置可将电能提供到轮胎内谐振装置,所述轮胎内谐振装置转而自发射轮胎性质遥测。

[0064] 上述两个‘声脉冲’刺激产生器或提供者中的任一者可具有范围在约10GHz至99GHz的复谐振频率(CRf)分量(例如,由于小尺寸的结构如石墨烯片的谐振频率)以及由相对大尺寸的所述轮胎内谐振导致的在Khz范围内的较低频率谐振。大体上,CRf可等同于弹性体部件固有谐振频率、碳部件固有谐振频率、构成部件的比率/集合和轮胎内谐振装置的几何形状的函数。

[0065] 一旦由碳基微观结构形成的传感器被刺激时,信号处理系统200用于分析信号签名(通过数字地观测所发射RF信号210和/或所返回RF信号212中的任何一者或多者的频移和/或衰减来限定)。由于利用在线性调频脉冲/声脉冲频率中的一者下谐振的线性调频脉冲信号传感器的刺激,通过在其对应的调谐频率处或附近谐振、使所发射频率偏移和/或使所发射信号的振幅衰减来作出“响应”。当在发射线性调频脉冲/声脉冲时发生环境变化(诸如导致轮胎主体帘布层和/或胎面层磨损的环境变化)时,可监测“所返回”信号是否发生调制变化--比调谐频率高或低。因此,收发器214可被配置为接收所返回RF信号212,所述所返回RF信号表示它们撞击到的表面等。

[0066] 前述线性调频脉冲/声脉冲信号可由收发器214发射(诸如通过不可听RF信号、脉冲、振动和/或类似传输)。此外,“返回”信号可由收发器214接收。如图所示,线性调频脉冲信号可按重复的线性调频脉冲序列发生(诸如所发射RF信号210)。例如,线性调频脉冲信号序列可能是由包括1GHz声脉冲、接着是2GHz声脉冲、接着是3GHz声脉冲等的模式形成。整个线性调频脉冲信号序列可整体上连续地重复。在各声脉冲之间可存在短暂的时段,使得来自谐振材料的返回信号(所返回RF信号212)可在声脉冲结束之后立刻被接收到。另选地或另外地,对应于声脉冲刺激的信号和所观测的“响应”的信号可同时发生和/或沿着相同的一般路径或路线发生。签名分析模块可采用数字信号处理技术来将所观测的“响应”的信号与声脉冲信号区分开。在所返回的响应包括跨越许多不同频率(诸如泛音、旁瓣等)的能量的情形中,可使用陷波滤波器来对刺激进行滤波。由收发器接收的所返回信号可被发送到签名分析模块254,所述签名分析模块转而可将处理后的信号发送到车辆中央处理单元216。图2的前述讨论包括对由含碳调谐谐振材料形成的传感器的讨论并且也还可以指感测层压板。

[0067] 所公开的传感器可结合到轮胎层中,例如,包括可在轮胎帘布层内的额外碳纤维层之间有间隙地分层的树脂层。每一含碳树脂层可不同地进行调配以在不同的预期或期望调谐频率下谐振。可相对于对应的分子组成来描述材料谐振的物理现象。例如,具有第一限定结构(诸如第一分子结构)的层将在第一频率下谐振,而具有第二、不同的分子结构的层可在第二、不同的频率下谐振。

[0068] 具有特定分子结构且包含于一层中的材料在该层处于低能态时将在第一调谐频率下谐振,并且在该层中的材料处于诱发的高能态时将在第二不同频率下谐振。例如,一层中的展现出特定分子结构的材料可被调谐为在该层处于固有的、未变形的低能态时在3GHz下谐振。相比之下,在该层相对于其固有的、未变形的低能态至少部分变形时,该层可在2.95GHz下谐振。因此,此现象可经过调整以适应以高保真度和精确度检测例如与道路表面(诸如路面)接触并在某一局部接触区域处经历增强磨损的轮胎表面的最微小的异常的需要。在要求严格的赛道(指具有急转弯和快速高度变化的高技术、多风赛道)上比赛的赛车可受益于此类局部轮胎磨损或劣化信息,以便做出明智的轮胎更换决策,即使在对时间敏

感的比赛日条件下也是如此。

[0069] 参看图2B1至图2B2示出及讨论了上文提及的频移现象(诸如从在3GHz的频率下谐振转变为在2.95GHz的频率下谐振)。图2B2描绘了在包含含碳调谐谐振材料的感测层压板中展现出的频移现象。原子发射处于给定元素的固有频率的电磁辐射。也就是说,特定元素的原子具有对应于所述原子的特性的固有频率。例如,当刺激铯原子时,价电子从较低能态(诸如基态)跳跃到较高能态(诸如激发能态)。当电子返回到其较低能态时,其发射呈光子形式的电磁辐射。对于铯,发射的光子在微波频率范围内;为9.192631770THz。比原子大的结构(诸如由多个原子形成的分子)也在可预测频率下谐振(诸如通过发射电磁辐射)。例如,一大堆液态水在109.6THz下谐振。处于张力(诸如,处于块体表面,在各种表面张力状态下)的水在112.6THz下谐振。碳原子和碳结构也展现出取决于所述结构的固有频率。例如,碳纳米管(CNT)的固有谐振频率取决于CNT的管直径和长度。在受控条件下生长CNT以控制管直径和长度导致控制所述结构的固有谐振频率。因此,合成或以其他方式“生长”CNT是调谐到期望谐振频率的一种方式。

[0070] 由碳形成的其他结构可在受控条件下形成。此类结构包括但不限于碳纳米洋葱(CNO)、碳晶格、石墨烯、含碳聚集体或聚结物、基于石墨烯的其他含碳材料、工程化纳米级结构等和/或其组合,根据目前公开的实现方式,所述结构中的任一者结合到车辆部件的传感器中。此类结构可被形成为在特定调谐频率下谐振,和/或此类结构可在后处理中进行修改以获得期望的特性或性质。例如,可通过选择材料的组合比率和/或通过添加其他材料来实现期望性质,诸如高增强值。此外,多个此类结构的共同定位引入了其他谐振效应。例如,两个石墨烯薄片可在其之间在一频率下谐振,所述频率取决于薄片的长度、宽度、间距、间距形状和/或其他物理特性和/或其彼此并置。

[0071] 如本领域中已知的,材料具有特定的可测量特性。这对于天然存在的材料以及对于工程化碳同素异形体都成立。此类工程化的碳同素异形体可经过调谐以展现出物理特性。例如,碳同素异形体可被工程化以展现出对应于以下各者的物理特性:(a)构成初级粒子的特定构型;(b)聚集体形成;和(c)聚结物形成。这些物理特性中的每一者影响使用对应特定碳同素异形体形成的材料的特定谐振频率。

[0072] 除了针对对应于特定谐振频率的特定物理配置调谐特定碳基结构之外,还可以将含碳化合物调谐到特定的一个谐振频率(或一组谐振频率)。一组谐振频率被称为谐振特征曲线。被调谐为在被RF信号探查时展现出特定谐振频率的含碳材料(诸如包括碳基微观结构的含碳材料)可通过调整组成所述材料的特定化合物以具有特定电阻抗来进行调谐以展现出特定的谐振特征曲线。不同的电阻抗转而对应于不同的频率响应特征曲线。

[0073] 阻抗描述了交变(AC)电流流过元件的困难程度。在频域中,由于结构表现为电感器,因此阻抗是具有实数部分和虚数部分的复数。虚数部分是有感电抗(电路元件由于该元件的电感和电容而抵抗电流流动;如果施加相同的电压,较大的电抗会导致较小的电流)分量 $X_L$ ,所述分量是基于特定结构的频率f和电感L:

$$[0074] X_L = 2\pi f L \quad (\text{方程1})$$

[0075] 随着所接收频率增大,电抗也增大,使得在某一频率阈值下,所发射信号的测量强度(振幅)可衰减。电感L受材料的电阻抗Z影响,其中Z通过以下关系与磁导率μ和电容率ε的材料性质相关:

[0076]  $Z = \sqrt{\frac{\mu' + j\mu''}{\varepsilon' + j\varepsilon''}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}},$  (方程 2)

[0077] 因此,材料性质的调谐改变电阻抗Z,从而影响电感L并因此影响电抗 $X_L$ 。

[0078] 具有不同电感的含碳结构(诸如Anzelmo等人在2019年10月1日发布的标题为“Carbon and Elastomer Integration”的美国专利第10,428,197号中公开的那些含碳结构,所述美国专利以全文引用方式并入本文中)可展现出不同的频率响应(在用于产生用于前述系统的传感器时)。也就是说,相较于具有较低电感的另一种含碳结构,具有高电感L(基于电阻抗Z)的含碳结构将在较低频率下达到某一电抗。

[0079] 当对化合物进行调配以调谐到特定电阻抗时,还可以考虑磁导率、电容率和电导率等材料性质。此外,观察到,当该结构处于张力诱发条件下时,诸如当结构稍微变形时(诸如,由此稍微改变结构的物理特性),第一含碳结构将在第一频率下谐振,而第二含碳结构将在第二频率下谐振。

[0080] 示例含碳结构(例如,如图19至图16Y中所示)可在第一频率下谐振,所述第一频率可与包括电容器 $C_1$ 和电感器 $L_1$ 的等效电路相关。频率 $f_1$ 由以下方程给出:

[0081]  $f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$  (方程 3)

[0082] 含碳结构的变形可转而改变结构的电感和/或电容。所述变化可能与包括电容器 $C_2$ 和电感器 $L_2$ 的等效电路相关。频率 $f_2$ 由以下方程给出:

[0083]  $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}}$  (方程 4)

[0084] 图3示出处理从由含碳调谐谐振材料形成的传感器接收到的信号的签名分类系统300。签名分类系统300可在任何物理环境或天气条件下实施。图3是关于将调谐谐振感测材料结合到汽车部件中以用于分类由安装在车辆中的传感器检测、分类和/或从所述传感器接收到的信号(诸如签名)。在操作302处发射处于所选声脉冲频率的声脉冲信号。声脉冲信号产生机制和声脉冲发射机制可通过任何已知技术执行。例如,发射器模块可产生3GHz的所选频率,并且使用一个天线或多个天线来辐射该信号。调谐天线(诸如安装在轮窝或车辆中的任何一者或多者上和/或内)的设计和位置可对应于任何调谐天线几何形状、材料和/或位置,使得声脉冲的强度足以在接近传感器中诱发(RF)谐振。若干调谐天线安置在接近于对应传感器的结构构件上或内。因而,当近侧表面传感器被声脉冲刺激时,近侧表面传感器通过签名反向谐振。该签名可被接收(操作304)并存储在包括所接收到的签名310的数据仓库中。可在循环中重复发射声脉冲再接着接收签名的序列。

[0085] 可在反复通过所述循环时改变声脉冲频率(操作308)。因此,当在所述循环中执行操作304时,操作304可存储签名312,包括第一签名 $312_1$ 、第二签名 $312_2$ 一直到第N个签名 $312_N$ 。可通过决策306控制迭代次数。在采取决策306的“否”分支时(诸如,在没有其他额外的声脉冲要发射时),则可将所接收的签名提供(操作314)到数字信号处理模块(诸如,图1B所示的签名分析模块154的实例)。所述数字信号处理模块对照一组校准点318对签名分类

(操作316)。所述校准点可被配置为对应于特定的声脉冲频率。例如，校准点288可包括可对应于接近3GHz的第一声脉冲和第一返回签名的第一校准点288<sub>1</sub>、可对应于接近2GHz的第二声脉冲及第二返回签名的第二校准点288<sub>2</sub>以及对于任何整数值“N”个校准点以此类推。

[0086] 在操作320处，将已分类信号发送到车辆中央处理单元(诸如图1B的车辆中央处理单元116)。已分类信号可通过车辆中央处理单元中继到托管计算机化数据库的上游存储库，所述计算机化数据库被配置为托管和/或运行机器学习算法。因此，可捕获与信号、已分类信号和信号响应相关的大量刺激以用于后续资料聚集和处理。所述数据库可在计算上做好准备，被称为“训练”，被提供给定的一组感测测量结果，所述测量结果可能与关于车辆性能(诸如由于反复使用导致的轮胎劣化)的条件或诊断相关。如果在车辆的操作期间气翼部件的特定部分的所测量偏转(诸如气压)与气翼部件的不同部分的测量偏转(诸如气压)不同，则潜在的诊断可能是一个轮胎充气不足，因此使得车辆行驶高度不均匀，从而导致车辆上方、上和/或周围的气流展现出成比例的不均匀性，如通过气翼部件上的偏转检测到。其他潜在的条件或诊断也可通过机器学习系统确定。所述条件和/或诊断和/或支持数据可被返回到车辆以完成反馈循环。车辆中的仪器提供可被(诸如驾驶员或工程师)作用的可视化。

[0087] 图4示出与将调谐谐振材料结合到汽车部件(诸如轮胎)中有关的各种物理特性或方面(轮胎条件参数400)。此处，关于解决可持续传感器在轮胎(包括非气动轮胎和气动轮胎)中的部署来呈现该图。轮胎的构造可对应于子午线轮胎、斜交帘布轮胎、无内胎轮胎、实心轮胎、低压安全轮胎等。轮胎可用于任何种类的车辆和/或关于车辆的设备和/或配件中。此类车辆可包括飞机、全地形车辆、汽车、施工设备、自卸车、推土机、农用设备、叉车、高尔夫球车、收割机、起重卡车、轻便摩托车、摩托车、越野车、赛车、割草机、牵引车、拖车、卡车、轮椅等。除了所呈现的车辆之外或替代所呈现的车辆，轮胎还可以用于非机动车辆、设备和配件中，诸如脚踏车、三轮车、单轮车、割草机、轮椅、推车等。

[0088] 图4中所示的参数是举例示出，并且其他变体可能存在或以其他方式做好准备以满足许多可设想到的最终使用情境的特定期望性能特性，包括被设计为提供增加的寿命(以道路粘附为潜在代价)的卡车轮胎或被设计为提供最大道路粘附(以使用寿命为潜在代价)的软质赛车轮胎。

[0089] 各种碳结构与集成到轮胎中的其他非碳材料在不同调配物中使用，所述碳结构接着经历机械分析以确定轮胎的其相应特性。这些特性中的一些可通过直接测试凭经验确定，而其他特性是基于测量结果和数据外推来确定。例如，滚动均匀性可通过在轮胎滚过均匀表面(诸如辊)时感测力的变化来确定，而胎面寿命是基于在短时段内的磨损测试，外推该短期测试的结果以得到预测的胎面寿命值。

[0090] 可测量更多轮胎特性，但这些测量技术中的一些可能会对轮胎造成物理破坏，因此在轮胎的寿命中的所要点时进行测量。相比之下，使用嵌入轮胎中的可存续传感器允许在轮胎的整个寿命中进行此类原本是破坏性的测量。例如，可使用基于撞击到嵌入于轮胎中的传感器的RF信号对响应信号的检测来进行此类感测。此外，如所讨论，轮胎的每一主体帘布层和/或胎面层包括经过调谐以在特定频率下谐振的耐用(也被称为“可持续”)传感器。

[0091] 轮胎中使用的帘布层可经过调配以将含碳结构与其他材料组合以实现展现出期

望的性能(诸如处置和寿命)特性的特定材料组合物。特定材料组合物的一个或多个固有谐振频率可经历光谱分析以形成所述特定材料组合物的频谱特征曲线。该频谱特征曲线可用作该材料的校准基线。当轮胎的主体帘布层和/或胎面层经历变形时,频谱特征曲线改变,所述频谱特征曲线变化可用作额外校准点。许多此类校准点可通过测试产生,并且此类校准点转而可用于计示变形。

[0092] 对频谱响应的分析引起对许多轮胎参数的定量测量。例如,可根据签名分析确定的轮胎参数可包括胎面寿命422、在第一温度下的操纵428、在第二温度下的操纵426、在第一温度下的滚动经济性430、在第二温度下的滚动经济性432、滚动均匀性436,和制动均匀性438。

[0093] 响应(诸如基于从嵌入于轮胎帘布层中的材料中的传感器接收到的返回声脉冲信号以频谱表示的那些响应)可表示观测到的变形。也就是说,某一类型的轮胎变形将与某一类型的特定响应对应,使得可在响应或响应类型与劣化类型之间进行映射。此外,在轮胎经历现场变形时轮胎的频谱响应的时变变化可用于确定许多周围条件。在使用多个帘布层建构的轮胎中,每一主体帘布层和/或胎面层可经过调配以展现出特定的调谐频率或频率范围。例如,图5示出用于由多个帘布层建构轮胎的示意图,所述帘布层中的每一者具有不同的特定调谐频率或频率范围。

[0094] 图5描绘用于通过选择用于结合到轮胎组件或结构中的含碳调谐谐振材料来微调或调整轮胎的多个主体帘布层和/或胎面层的示意图500,所述操作可在任何环境中实施。图5说明如何将不同碳混合到轮胎复合调配物中,所述轮胎复合调配物转而被组装到多帘布层轮胎中。所得多帘布层轮胎展现出各种谐振敏感和频移特性。

[0095] 多个反应器(诸如,反应器552<sub>1</sub>、反应器552<sub>2</sub>、反应器552<sub>3</sub>和反应器552<sub>4</sub>)各自向网络产生(或以其他方式输送或提供)特定的碳添加剂/填料,所述网络被调谐以得到特定的限定频谱特征曲线。碳添加剂(诸如,第一调谐碳554、第二调谐碳556、第三调谐碳558和第四调谐碳560)可与其他(碳基或非碳基)组合物550混合。任何已知技术均可用于混合、加热、预处理、后处理或以其他方式组合特定碳添加剂与其他组合物。呈现混合器(诸如混合器562<sub>1</sub>、混合器562<sub>2</sub>、混合器562<sub>3</sub>和混合器562<sub>4</sub>)以展示不同调谐碳可如何引入到轮胎的各种部件中。用于轮胎组件的其他技术可涉及其他构造技术和/或包括轮胎的其他部件。可使用用于多帘布层轮胎的任何已知技术。此外,可基于特定主体帘布层和/或胎面层调配物的特性来确定特定主体帘布层和/或胎面层(诸如一组主体帘布层和/或胎面层568,包括主体帘布层和/或胎面层568<sub>1</sub>、主体帘布层和/或胎面层568<sub>2</sub>、主体帘布层和/或胎面层568<sub>3</sub>和主体帘布层和/或胎面层568<sub>4</sub>)的频谱特征曲线。例如,基于刺激和响应特性,第一主体帘布层和/或胎面层调配物(诸如主体帘布层和/或胎面层调配物564<sub>1</sub>)可展现出第一频谱特征曲线,而第二主体帘布层和/或胎面层调配物(诸如主体帘布层和/或胎面层调配物564<sub>2</sub>)可展现出第二频谱特征曲线。

[0096] 所得的不同调配物(诸如,主体帘布层和/或胎面层调配物564<sub>1</sub>、主体帘布层和/或胎面层调配物564<sub>2</sub>、主体帘布层和/或胎面层调配物564<sub>3</sub>和主体帘布层和/或胎面层调配物564<sub>4</sub>)用于形成为轮胎组件566的不同主体帘布层和/或胎面层中,所述主体帘布层和/或胎面层中的每一者展现出对应的频谱特征曲线。

[0097] 图6示出从由含碳调谐谐振材料层形成的轮胎发射的第二组示例条件签名600。可

在任何环境中发射示例条件签名600或其任何方面。图3F1示出新轮胎的多个主体帘布层和/或胎面层(诸如,主体帘布层和/或胎面层#1、主体帘布层和/或胎面层#2和主体帘布层和/或胎面层#3)。如该示例中以及在别处参考所呈现实现方式中的任何一者或更多者所使用,术语“帘布层”可以是指轮胎的主体内的帘布层或层,或另选地,轮胎胎面的远离轮胎的主体径向向外突出以意欲用于与硬路面接触或对于越野轮胎与土地接触的层。在示例中,第一主体帘布层和/或胎面层是使用调谐碳进行调配(指用特定配方产生),使得第一主体帘布层和/或胎面层在使用1.0GHz声脉冲刺激(诸如第一声脉冲602)刺激时在1.0GHz下谐振。类似地,第二主体帘布层和/或胎面层是使用调谐碳进行调配,使得第二主体帘布层和/或胎面层在使用2.0GHz声脉冲刺激(诸如第二声脉冲604)刺激时在2.0GHz下谐振。另外,第三主体帘布层和/或胎面层是使用调谐碳进行调配,使得第三主体帘布层和/或胎面层在使用3.0GHz声脉冲刺激(诸如第三声脉冲606)刺激时在3.0GHz下谐振。如第一响应608、第二响应610和第三响应614所示,所有三个主体帘布层和/或胎面层在其相应调谐频率下作出响应。

[0098] 收发器天线可位于对应轮胎的轮窝中和/或上。处置任何此类所产生响应信号的系统可被配置为与源于其他表面(诸如车辆的其余非目标轮胎)的其他潜在响应区分开。例如,即使安装在车辆的右前车轮上的右前轮胎可能会对从位于车辆的左前轮窝中的收发器天线发射的声脉冲作出响应,但是与来自车辆的左前轮胎的响应信号相比,来自右前轮胎的响应信号将明显衰减(并因此被辨识出)。

[0099] 当收发器天线位于对应轮胎的轮窝中时,来自对应轮胎的响应将相对于声脉冲刺激而衰减。例如,来自对应轮胎的响应可相对于声脉冲刺激衰减9分贝(-9dB)或更多,或可相对于声脉冲刺激衰减18分贝(-18dB)或更多,或可相对于声脉冲刺激衰减36分贝(-36dB)或更多,或可相对于声脉冲刺激衰减72分贝(-72dB)或更多。在一些情况下,声脉冲信号产生器被设计为与位于轮窝中的收发器天线组合,以便使得对应轮胎的声脉冲响应衰减不超过75dB(-75dB)。

[0100] 图7描绘在一些含碳调谐谐振材料磨损之后从轮胎发射的第三组示例条件签名700。可选地,可在本文描述的实现方式的架构和功能的背景中实施示例条件签名700或其任何方面的一个或多个变体。可在任何环境中发射示例条件签名700或其任何方面。

[0101] 在该示例中,轮胎已发生磨损。更明确地说,最外的主体帘布层和/或胎面层已完全磨掉。因此,1.0GHz下的声脉冲刺激将不产生来自最外帘布层的响应。此在图表中示出为第一响应衰减702。随着轮胎继续经历胎面磨损,来自下一个主体帘布层和/或胎面层的声脉冲响应和来自下一个连续主体帘布层和/或胎面层的声脉冲响应等将衰减,所述衰减可用于测量轮胎的总胎面磨损。另选地,可在所有帘布层中使用相同的调谐碳。可基于来自轮胎的返回信号签名来确定轮胎的胎面磨损以及其他指示。

[0102] 图8是两个层的俯视图,其中每一层容纳一个开口环谐振器(SRR),例如,形成包括两个同心SRR的示例开口环谐振器(SRR)配置。如本文所使用,开口环谐振器(SRR)由安置于介电基板上的一对同心环组成,其中每一环具有狭缝(例如,由于印刷图案)。当借助时变磁场激发SRR阵列时,所述结构表现为在SRR谐振点周围的窄频带中具有负有效磁导率的有效介质。许多几何形状是可能的,例如,使得包括尺寸“a”、“r”和/或“c”的每一SRR之间的尺寸和/或间距被选择为实现特定的对应频谱响应。例如,“a”可约为1mm,“r”可为2mm,并且“c”

可约为0.6mm。这些尺寸可对应于产生期望和/或预期的频谱响应,例如,导致相对较宽和/或较广的信号响应而非窄和/或陷波响应,从而便于改善频谱分析,导致在使用频谱分析工具(诸如频谱分析仪)时提高成本效率。另外地或另选地,相较于越野应用等,所述尺寸中的任一者可被进一步调整以实现特定的期望最终结果目标,例如赛道中的应用。一个特定几何形状涉及同心环之间的间隙。此类间隙产生电容,所述电容结合该对同心环中固有的电感会引入集合的谐振的变化。

[0103] 可印刷、薄片定向、圆柱类型、开口环谐振器设计可由任何导电材料建构,包括金属、导电非金属、介电材料、半导体材料等。除了基于导电材料的选择和/或处理进行调谐之外,还可以通过改变几何形状使得相应地调整有效电容率来调谐开口环谐振器。随着开口环谐振器的形状而变的有效电容率在方程1中给出。

$$[0104] \quad \mu_{eff} = 1 - \frac{\frac{\pi r^2}{a^2}}{1 + \frac{2l\sigma_1 i}{\omega r \mu_0} - \frac{3lc_0^2}{\pi \omega^2 r^3 \ln(\frac{2c}{d})}}$$

方程 1

[0105] 其中a是圆柱的间距,ω是角频率,μ0是自由空间的磁导率,r是半径,d是同心导电薄片的间距,l是堆叠长度,c是环厚度,并且σ是围绕圆周测量的薄片的单位长度的电阻。

[0106] 在一些情况下,可使a的值(例如,圆柱形开口环谐振器的圆柱的间距)变得相对较小,使得同心环吸收相对较窄的频率范围内的EM辐射。在其他情形下,可使a的值变得相对较大,使得同心环各自吸收间隔开大区间的频率下的EM辐射。在一些情况下,不同尺寸的SRR可安置在轮胎的不同表面上。在一些情况下,安置在轮胎的不同表面上的不同尺寸的SRR可用于测量轮胎条件(例如,温度、老化、磨损等)。

[0107] 在一些实施方案中,形成开口环谐振器的材料是复合材料。每一SRR可被配置为对EM刺激作出任何特定的期望调谐响应。至少由于SRR被设计为模拟原子的谐振响应(尽管尺度大得多并且频率较低),比原子尺度大的SRR允许更大程度地控制谐振响应。此外,SRR比自然界中发现的铁磁性材料反应性高得多。SRR的明显磁性响应伴随着优于较重、天然存在的材料的显著优点。

[0108] 图9示出展示用于通过基于阻抗的光谱法进行轮胎磨损感测的完整轮胎诊断系统和设备的示意图。轮胎900,诸如填充有空气或氮气( $N_2$ )的气动橡胶轮胎,可包括传统的轮胎部件,包括主体920、内衬层912、胎圈填料区域922、胎圈916、一个或多个带束层904、906、908和910、胎面902和基于阻抗的光谱磨损感测印刷电子器件918(另选地,包括碳基微观结构的传感器,所述碳基微观结构用于通过嵌入于带束层904-910中的任何一者或更多者内的谐振器进行信号频移和衰减监测)。

[0109] 如此处所示,无线应变传感器可放置在内衬层的表面上或侧面上(或嵌入于其中)以监测轮胎条件,确保汽车安全(诸如检测受损轮胎)。轮胎变形或应变监测可(间接地)提供表示轮胎与接触路面之间的摩擦程度的信息,所述信息随后可用于优化汽车轮胎控制系统。所述轮胎信息可基于谐振传感器平台无线地传输到位于轮胎轮毂中的接收器。

[0110] 图10示出用于提供经由遥测传送到导航系统或用于制造印刷碳基材料的设备中的轮胎磨损相关信息的系统1000。系统1000可与目前公开的系统、方法和材料中的任何一者或更多者(诸如包括碳基微观结构的传感器)一起起作用,使得省去对其的重复描述。阻抗

光谱法,也被称为电化学阻抗光谱法(EIS),是指在测量样本(诸如结合到轮胎1002的一个或多个轮胎带束层内的包含碳基微观结构的传感器)时涉及在广泛范围的频率内施加正弦电化学扰动(电位或电流)的阻抗转导方法。印刷碳基谐振器1004可结合在一个或多个轮胎部件(诸如轮胎带束层)内,其中印刷碳基谐振器1004中的每一者具有所示的大体椭圆形构造,或者适于实现适合于通过监测频移和/或衰减来有效且精确地检测车辆部件磨损(诸如第一响应衰减指示具有约1.0GHz的固有谐振频率的轮胎主体帘布层和/或胎面层的磨损)的特定期望谐振性质的某其他形状或构造。

[0111] 能够形成印刷碳基谐振器1004的辊1010的组件包括碳基微观结构和/或微观结构材料(诸如石墨烯)的存储库1012(诸如槽)、网纹辊1014(指通常由钢或铝芯构成的硬滚筒,所述钢或铝芯由表面含有数百万个极精细凹坑(被称为单元)的工业陶瓷涂布)、印版滚筒1016和压印滚筒1018。在操作中,从存储库1012提取的石墨烯可通过辊1010的组件中的辊来辊压、压制、拉伸或以其他方式制造成印刷碳基谐振器1004。对于系统1000的运行,可能不需要印刷碳基谐振器1004的对齐(指对准)。

[0112] 因此,前述特征的任何组合可用于制造轮胎,所述轮胎具有谐振器(指实际或“等效”槽、LC和/或谐振电路),其中含碳微观结构自身可响应于来自收发器的所发射RF信号和/或由先进能源供应的能量而谐振,使得安置到任何一个或多个部件(诸如轮胎的胎面、一个或多个帘布层、内衬层等)中或上的其他传感器可展现出频移或信号衰减性质或行为。所描述的谐振器不一定需要体现为实际电和/或集成电路(IC)。所描述的谐振器可简单地实现为调谐含碳微观结构,因此避免当在可分解材料(诸如轮胎胎面层)中实施传统离散电路时可能出现的常见劣化问题。此类谐振器可响应于外部供应的‘声脉冲’(诸如由位于车辆的轮窝中的收发器供应)而谐振,或谐振器可对通过使用任何变化或任何数目的电力或电荷产生器(诸如热电产生器、压电能量产生器、摩擦电能量产生器等)促进的共置(指在同一轮胎胎面层内,但可能在该轮胎胎面层内的不同位置处)、自供电、自探查能力来充电而作出响应。

[0113] 在轮胎滚动或以其他方式发生变形的任何时候,所描述谐振器(和其他谐振器和/或谐振电路)中的任一者可被配置为发射和/或进一步发射振荡RF信号(或其他形式的电磁辐射,视总体配置而定)。随着车辆轮胎经历由于使用(诸如在道路上行驶或越野行驶)导致的磨损,与路面或地面(土地)接触的轮胎胎面层可即刻或随时间推移经历变形(诸如从“压扁”观察到,压扁是指在旋转或滚动期间露出的车辆轮胎胎面层区段的至少部分变扁,和/或从转弯期间所经历的侧向运动等观察到),因此所得信号频移和/或衰减行为可依照此类“压扁”发生改变,因为相关联信号可在一个或多个已知振幅范围内振荡。另外地或另选地,随着轮胎经历变形,所观察的信号可在对应于特定谐振器的已知频率范围内振荡,从而允许精确地且准确地识别在发生振荡时发生的劣化的类型,而不是需要驾驶员、乘客和/或其他车辆乘员在车辆静止时离开车辆来观察轮胎胎面条件。此类频移振荡可作为所述已知频率范围内的两个或更多个频率之间的来回频移而观察到。

[0114] 位于内衬层的侧面上的有无线能力的应变(诸如表示由外部约束或负载引起的材料主体中的粒子之间的相对位移的变形的几何度量)传感器可监测轮胎条件,以确保汽车安全(诸如通过检测受损轮胎)。另外,轮胎变形或应变监测可间接地提供与轮胎与道路表面之间的摩擦程度有关的信息,所述信息随后可用于优化汽车轮胎控制系统。此类轮胎信

息可基于谐振传感器(诸如阻抗光谱法IS传感器)平台无线地传输到位于车轮轮毂中的接收器(和/或收发器)。

[0115] 图11是与用于通过帘布层印刷编码确定车辆轮胎磨损的基于谐振序列号的数字编码系统有关的示意图1100。所述基于谐振序列号的数字编码系统可与目前公开的系统、方法和传感器中的任一者结合和/或一起起作用。基于谐振序列号的数字编码系统通过帘布层印刷编码提供对轮胎的数字编码,因此提供对轮胎的摇篮到坟墓(指完整的使用寿命)追踪(和相关性能度量)和使用特征曲线,而不需要对轮胎中的常规磨损和撕裂敏感的传统电子装置。

[0116] 在一些实现方式中,通过轮胎胎面层印刷对轮胎的谐振序列号数字编码可促进对轮胎的摇篮到坟墓轮胎追踪和使用,而不一定需要轮胎内存在电子装置。例如,连同通过阻抗光谱法完成的轮胎磨损感测,额外谐振器可数字地编码到例如用于遥测追踪的序列号的一个或多个印刷图案上。因此,如此装备的车辆可在不需要射频识别(RFID)技术的情况下追踪胎面磨损、行驶英里数(例如,总计)和轮胎年龄。

[0117] 连同通过阻抗光谱法(IS)和/或电化学阻抗光谱法(EIS)进行轮胎磨损感测,额外谐振器可数字地编码到印刷图案上以提供用于基于遥测的轮胎性能追踪的可辨识序列号。通过逐渐地印刷到主体帘布层和/或胎面上,结合了所讨论的印刷碳基谐振器的轮胎可天生是序列化的。

[0118] 图12示出用于轮胎中的谐振序列号编码的示意图1200。序列号“6E”如图所示编码在印刷碳谐振器的特殊准备的阵列中,所述谐振器被配置为根据‘声脉冲’刺激-响应图1212谐振,从而允许方便且可靠地识别如此装备的车辆轮胎的该特定主体帘布层和/或胎面层。

[0119] 图13被呈现来说明开口环谐振器(SRR)用作谐振装置,所述谐振装置促成由不同的近端存在谐振器类型产生的集合现象。该图示出了轮胎的内表面1301,其中所述内表面具有两个开口环谐振器(例如,开口环谐振器1303A和开口环谐振器1303B),所述开口环谐振器中的每一者形成电路配置1902,所述电路配置可被调谐以使信号在特定频率下衰减和/或在特定频率范围内衰减。在该实施方案中,电路配置1902被示出为对应于基本上圆形的开口环谐振器的几何图案;然而,另选的电路配置可具有不同的几何图案(例如,圆柱形、椭圆形、矩形、卵形、正方形等),因此,任何可设想到的几何配置是可能的。可基于对几何图案的谐振能力的影响来选择几何配置的变体。明确地说且如图所示,几何图案可包括具有各种聚结图案(例如,聚结图案1306、聚结图案1308和聚结图案1310)的自组装的碳基粒子,所述碳基粒子中的任何一者或者可构成可能会影响其中结合了碳基微观结构的材料的谐振性能的集中区域1304。一个聚结图案和/或一系列聚结图案也可能会影响其中结合了碳基微观结构的材料的谐振性能。

[0120] 在各种配置中,碳基微观结构至少部分由石墨烯形成。在此上下文中,石墨烯是指在一个原子形成各顶点的二维六角晶格中呈原子单层形式的碳的同素异形体。多个此类六角晶格的共同定位和/或并置成更复杂的结构会引入其他谐振效应。例如,两个石墨烯薄片或小片的并置1302可在它们之间在一频率下谐振,所述频率取决于薄片和/或小片的长度、宽度、间距、厚度、间距形状和/或其他物理特性和/或其彼此的相对并置。

[0121] 表1描绘了起因于集合效应的一系列可能衰减。如表中所示,所述结构中的每一者

具有对应于其尺度标记的不同谐振频域。

结构	尺度标记	谐振频域
[0122] 印刷图案(例如，开口环谐振器几何形状)	大尺度	较低 GHz
聚结图案	中尺度	较高 GHz
石墨烯薄片或小片的并置	微尺度	极高 GHz
分子	纳米尺度	THz

[0123] 表1:集合效应示例

[0124] 任何数目的不同开口环谐振器可印刷到轮胎的表面上。此外，任何数目的不同尺寸的开口环谐振器可印刷到轮胎的任何表面上。对特定开口环谐振器的材料和/或大小和/或其他结构或尺寸特性的选择可用于控制该特定谐振器开口环的谐振频率。可印刷一系列尺寸不同的开口环谐振器，使得所述图案对应于数字编码值。经由电磁信号通信刺激一系列尺寸不同的开口环谐振器(例如扫掠通过8GHz至9GHz或类似范围)并且通过返回范围测量衰减响应产生可辨识的编码序列号。许多不同的编码方案是可能的，因此，表2的非限制性示例仅用于说明。

尺寸 (外径)	1 mm	2 mm	2.5 mm	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm	7 mm
位分配	8	7	6	5	4	3	2	1
校准衰减点 (GHz)	8.890	8.690	8.655	8.570	8.470	8.380	8.350	8.275
编码 6E SRR 图案		存在	存在		存在	存在	存在	
编码 6E 位模式	0	1	1	0	1	1	1	0
编码 4E SRR 图案		存在			存在	存在	存在	
编码 4E 位模式	0	1	0	0	1	1	1	0
编码 E1 SRR 图案	存在	存在	存在					存在
编码 E1 位模式	1	1	1	0	0	0	0	1

[0126] 表2:示例编码方案

[0127] 图14示出根据一些实现方式的轮胎传感器1400的示意图。在一个实现方式中，轮胎传感器1400可包括具有多个轮胎帘布层的轮胎主体的区段1402(例如，如图9所示)。轮胎传感器1400可检测轮胎帘布层1408的温度，例如，轮胎传感器1400结合到所述轮胎帘布层中。在一个实现方式中，轮胎传感器可包括陶瓷材料1404(例如，组织为矩阵)和一个或多个SRR 1406，诸如图8和本公开别处所示。一个或多个SRR 1406中的每一者可具有可响应于相应轮胎的弹性体性质变化或温度变化中的一者或者而偏移的固有谐振频率(例如，如图16中所示)。导电层1410可与一个或多个SRR 1406中的相应SRR介电分离。在一些实现方式中，轮胎传感器1400可被生产并在没有结合到轮胎的情况下运送，使得可在之后结合到轮胎和/或轮胎帘布层内。

[0128] 另外地或另选地,轮胎传感器1400可结合到被配置为检测车辆中的轮胎应变(例如,如图16所示)的系统(图14中未示出)中。所述系统可包括安置在车辆或车辆部件中的一者或多者上的天线(例如,如在本公开中关于电磁信号的发射和/或传播所讨论)。所述天线被配置为输出电磁声脉冲。所述系统还可以包括轮胎,所述轮胎包括由一个或多个轮胎帘布层形成的主体(例如,如图9所示)。轮胎帘布层中的任何一者或多者可包括开口环谐振器(SRR),例如,如本公开中所讨论。在一个实现方式中,每一SRR具有被配置为响应于相应的一个或多个轮胎帘布层的弹性体性质(例如,可逆变形、应力和/或应变)的变化而成比例地偏移(例如,如图16中所示)的固有谐振频率。

[0129] 在一些实现方式中,所描述系统可用于检测与轮胎和/或车辆(例如汽车和卡车)相关的配置外部的材料的物理性质的变化。例如,所述系统可检测飞机机翼和/或其他类型的气翼(例如与航天器和/或其类似者相关联)的表面温度的变化。此外,所述系统可准许一个或多个SRR 1406在医院环境中可用可移除方式粘附到患者身上的情况,使得可在不使用常规热传感器的情况下获得相应患者的体温读数(例如,依赖于辐射传热技术等)。在这些示例中的任一者以及其他示例中,此类系统可检测与表面相关联的物理性质。

[0130] 在一个实现方式中,所述系统可包括被配置为输出电磁声脉冲的单个天线和一个或多个柔性基板。柔性基板中的每一者可包括第一侧,所述第一侧包括安置在柔性基板上的多个开口环谐振器(SRR)(例如,一个或多个SRR 1406)。每一SRR可具有可响应于相应的一个或多个轮胎帘布层的弹性体性质变化而成比例地偏移(例如,如图16中所示)的固有谐振频率。所述弹性体性质可包括可逆变形、应力、应变或温度中的一者或多者。这样,所述系统可产生吸收特征曲线(例如,指由天线输出的电磁声脉冲的吸收现象的独特变化)。所述系统可包括与第一侧相对定位的第二侧。所述第二侧可附接到所述表面。单个天线可分析与吸收特征曲线相关联的数据并输出物理性质的构形。

[0131] 图15描绘根据一些实现方式的测量谐振签名信号强度(以分贝dB为单位)相对于轮胎胎面层损失的高度(以毫米mm为单位)的曲线图1500。如此处所示,含碳微观结构和/或微观结构材料可结合到传感器中,或者在一些配置中,以给定浓度水平或多个不同浓度水平(在一个或多个轮胎胎面层中的每一者中)结合到一个或多个轮胎胎面的全部层中以实现所示的独特劣化特征曲线。也就是说,测量谐振签名(指所讨论的特定轮胎胎面层的识别“签名”)可如本文中所描述由一个或多个RF信号“探查”以展现如所示的该发射信号的衰减。

[0132] 新的轮胎胎面层可被配置为指示约为0的信号强度(以分贝dB为单位测量)。该强度可与该轮胎胎面层的劣化程度成比例地改变。例如,轮胎胎面层(假定与路面接触的轮胎胎面层)的2mm高度损失可与所示的测量谐振签名信号强度特征曲线相对应。6.7GHz下的‘声脉冲’信号可在约9dB的强度等级下测量,依此类推。

[0133] 因此,独特的浓度水平、化学性质、分散、分布和/或其类似者的含碳微观结构可嵌入轮胎胎面层中(或在一些情况下,置放于轮胎胎面层的一个或多个表面上)以实现如所示的独特且可易于识别的测量谐振签名信号强度。因此,在行驶期间发生轮胎胎面磨损时,可立即告知此类系统的用户所述轮胎胎面磨损的确切程度和位置,而不是局限于在车辆处于静止状态下观察轮胎,这个过程可能既费时又繁琐。

[0134] 图16描绘根据一些实现方式的测量谐振签名信号强度(以分贝dB为单位)相对于

结合到轮胎胎面和/或轮胎帘布层(例如,如本公开中所讨论)中的开口环谐振器(SRR)的固有谐振频率的曲线图1600。如此处所示,含碳和/或碳质微观结构和/或微观结构材料可结合到传感器中,或者在一些配置中,以给定浓度水平或多个不同浓度水平(在一个或多个轮胎胎面层中的每一者中)结合到一个或多个轮胎胎面的全部层中以实现所示的独特劣化特征曲线。也就是说,测量谐振签名(指所讨论的特定轮胎胎面层的识别“签名”)可如本文中所描述由一个或多个RF信号“探查”以展现如所示的该发射信号的偏移,例如代表性的和/或与可逆轮胎变形(例如,应力和/或应变)(如可在漂移情境中遇到)的程度成比例。这样,可依据轮胎变形,例如应变(与漂移相关联),对SRR“响应”信号行为建模,从而在与图13的曲线图(所述曲线图可指示在常规向前滚动操作中遇到的轮胎磨损等)一起考虑时得到轮胎条件和性能的完整图像。

[0135] 产生侧向轮胎静摩擦损失的真实世界情境可包括漂移和/或打滑,例如意指当在车辆的车轮与路面之间形成水层时发生的现象,从而导致失去防止车辆对控制输入作出响应的牵引力。如果所有的接触车轮同时发生打滑,则车辆实际上变成不可控的滑板。使用目前公开的SRR和/或谐振器结合天线和/或信号处理设备可例如通过使用与轮胎的表面联接的振动检测单元而有效地消除依赖于常规打滑检测技术的需要,所述轮胎可能会因为长时间的使用而劣化且受损。另外,图16示出与在漂移时在静摩擦损失期间遇到的侧向轮胎移动相关联的频谱响应(以信号分贝为单位)。在真实世界情境中,诸如暂时静摩擦损失可能会通过高音“尖叫”而被听到,与仅在快速向前旋转期间听到的其他声音不同。这类定期静摩擦损失(在漂移车辆恢复静摩擦和/或牵引力之前)可呈现(图16中未示出)为对应SRR的固有谐振频率的定期和/或周期性偏移。返回参看图16,可通过曲线的各种谷值和/或峰值的频率的微小的定期和/或周期性偏移而在视觉上描绘“尖叫”类型情形。

[0136] 如可看出,实时多模态谐振器支持用于使用用于弹性体性质变化检测的含谐振材料的传感器测量静摩擦的方法。在一个设置中,用于弹性体性质变化检测的一个或多个含谐振材料的传感器安置在换能器附近的位置。发射刺激信号以便激发用于弹性体性质变化检测的一个或多个含谐振材料的传感器。所述发射包括横跨已知频率范围的电磁能。校准信号是在已知静摩擦条件下捕获。在接收到至少部分地包括对刺激信号作出响应的频率的返回信号之后,将各种信号处理技术应用于所述返回信号。例如,对返回信号应用各种信号处理技术以与刺激信号进行比较。每当返回信号的频率和/或振幅不同于校准信号时,计算对应的界面间接电容率(例如,在轮胎与行驶表面之间的界面处)。将界面间接电容率的绝对值和/或相对值与静摩擦值相关(例如,使用校准表)。静摩擦值随时间推移的变化转而与道路和/或轮胎条件相关。

[0137] 构成前述校准信号和/或校准表的静态和/或动态值可至少部分地基于对刺激信号的分析和/或对换能器附近的环境的分析。此外,前述校准信号和/或校准表可涵盖电容率校准信号、磁导率校准信号、温度校准信号、振动校准信号、掺杂校准信号等。在一个实现方式中,校准程序可在已知和/或受控环境条件(例如,干燥路面和晴朗的天气)下执行,以在各种面向前的角速度下产生基线数据(使得测试车辆仅直接向前移动而无侧滑和/或滑动移动)。此基线数据接着充当一个或多个校准曲线,可随后根据所述一个或多个校准曲线比较和/或计算变形值。这样,可观测到相对于初始未拉伸(基线)校准曲线(例如,如图16中所示)的明显性能变化。

[0138] 每当返回信号不同于校准信号时,返回信号相对于刺激信号的进一步分析可用于识别返回信号的哪些频率不同于校准信号。所述差异可作为一个或多个频率相对于校准信号的衰减而被观测和/或测量到。另外地或另选地,所述差异可作为峰值相对于校准信号的峰值的频移(如图16中所示,相对于对应地拉伸0.5%的数据等)而被观测/测量到。

[0139] 图17示出被配置为以对应于编码序列号的方式谐振的开口环谐振结构的使用。开口环谐振结构的此类图案可印刷在轮胎或其他弹性体上。如图所示,通过四个不同大小的开口环谐振器的存在来示出编码序列号“E1”。刺激-响应图1700示出在约8GHz至约9GHz范围内的EM刺激,而响应被示出为在约-8dB至约-18dB范围内的衰减。经由跨越该范围的电磁信号通信刺激一系列不同大小的开口环谐振器并且测量跨越该范围的返回的S参数产生该特定印刷图案的方便且可靠的识别。随后,如果将独特图案印刷到一系列轮胎中的每一者上,并且如果图案与编码序列号相关联,则可基于图案对EM询问的响应来确定特定轮胎。

[0140] 更明确地说,如果独特图案被印刷到一系列轮胎中的每一者上,并且如果所述图案与编码序列号相关联,则可响应于对与编码方案对应的范围内的EM刺激的EM询问而基于所测量S参数(例如,对于衰减的S参数比率)确定特定轮胎。在图17的示例中,衰减属于约-8dB至约-18dB的范围内,然而,在其他测量中,衰减属于约-1dB至约-9dB的范围内。在其他测量中,衰减属于约-10dB至约-19dB的范围内。在其他测量中,衰减属于约-20dB至约-35dB的范围内。在经验实验中,衰减基本上与在近端共同定位在轮胎表面上的不同配置的谐振器的数目无关。更明确地说,在一些实验中,当谐振器在近端共同定位在钢带的胎面侧上(例如,在钢带子午线轮胎中)的轮胎表面上时,衰减尤其明显。

[0141] 前述编码和印刷技术可用于轮胎和其他含弹性体部件中。在一些情况下,印刷谐振器是在相对较高温度下和/或在化学剂(例如,催化剂)下进行,使得在谐振器的碳原子与弹性体之间形成化学键。在谐振器的碳原子与弹性体之间形成的化学键对集合效应有贡献,因此,校准曲线可考虑前述化学键的类型和范围。

[0142] 弹性体可含有任何一种或多种类型的橡胶。戊二烯例如是常见橡胶调配物。异戊二烯在配位体中的其他分子元素之间具有它自己的C-C单键和双键。由开口环谐振器的高温印刷形成的额外碳双键具有提高电导率的效应,可利用所述效应来形成较大的、较低频率谐振器。另外地或另选地,聚结物可被调整为特定大小,这样将产生对集合效应有贡献的泛音,此转而在给定某调谐范围内的EM询问的情况下产生极高灵敏度。在一些情况下,材料对EM询问的响应是充分可辨的,使得可确定弹性体的年龄或状况的其他方面(例如,通过与一个或多个校准曲线进行比较)。

[0143] 更明确地说,随着弹性体老化,分子间距发生改变并且能量的耦合和/或渗滤相应地减小,因此随着导电区与邻近区变得越来越隔绝,响应频率发生偏移。在一些情况下,衰减和/或返回信号强度将在特定频率下改变。可随时间推移确定此类变化,并且所述变化可用于构造校准曲线。

[0144] 轮胎的设计支持用于印刷开口环谐振器的许多可能位置。举例来说,开口环谐振器可位于轮胎的任何内表面上,包括但不限于冠带层、和/或在钢带上或附近(例如,在钢带的胎面侧上)、和/或在径向帘布层上或附近、和/或在侧壁上、和/或在胎圈包布上、和/或在胎圈上等。

[0145] 开口环谐振器技术的使用不仅限于轮胎。所述技术可应用于任何含弹性体部件,

诸如带和软管。此外，开口环谐振器技术的使用不仅限于车辆。也就是说，由于消耗品存在于广泛范围的动力装置中(例如，工业机械系统中的有机动力系和/或传动系部件中)，因此开口环谐振器技术也可以应用于那些消耗品。磨损现象的一些方面是摩擦、热、热循环和腐蚀的结果，其中任一者可导致和/或加速材料分子结构的变化。可在EM询问下检测材料分子结构的变化。更明确地说，通过相对于校准曲线在特定EM询问机制下计算频移、特定样本的响应(例如，老化样本的响应)，可基于频移的量值评定材料的年龄或状况。

[0146] 图18A至图18Y描绘碳基材料、生长物、聚结物、聚集体、薄片、粒子和/或其类似者，诸如在反应腔室或反应器中由含碳气态物质(诸如甲烷( $\text{CH}_4$ ))在操作中自成核的那些材料，诸如Stowell等人在2020年2月7日提交的标题为“3D Self-Assembled Multi-Modal Carbon-Based Particle”的美国专利申请No.16/785,020中公开。

[0147] 所示碳基纳米粒子和聚集体的特征可在于：与可通过常规系统和方法实现的均匀性较低、有序度较低和纯度较低的粒子相比，高度“均匀性”(诸如期望碳同素异形体的高质量分数)、高“有序度”(诸如低浓度的缺陷)和/或高“纯度”(诸如低浓度的元素杂质)。

[0148] 使用本文中所描述的方法产生的纳米粒子可含有许多壁球形富勒烯(MWSF)或连接式MWSF并且具有高均匀性(诸如石墨烯与MWSF的比率为20%至80%)、高有序度(诸如 $I_D/I_G$ 比率为0.95至1.05的拉曼签名)和高纯度(诸如碳与其他元素(除氢之外)的比率大于99.9%)。使用本文中所描述的方法产生的纳米粒子含有MWSF或连接式MWSF，并且MWSF并不含有由除碳以外的杂质元素构成的芯。使用本文中所描述的方法产生的粒子可以是含有上文所描述的具有较大直径(诸如大于10 $\mu\text{m}$ )的纳米粒子的聚集体。

[0149] 已使用常规方法来产生含有有序度高的多壁球形富勒烯的粒子，但可能会产生具有多种缺点的最终产物。例如，高温合成技术产生具有许多碳同素异形体的混合物并且因此具有低均匀性(诸如，相对于其他碳同素异形体小于20%富勒烯)和/或小粒径(诸如，小于1 $\mu\text{m}$ ，在一些情况下小于100nm)的粒子。使用催化剂的方法可产生包括催化剂元素并且因此也具有相对较低的纯度(指小于95%的碳与其他元素)的产物。这些非所要性质也常常导致所得碳粒子的非所要电性质(诸如小于1,000S/m的电导率)。

[0150] 本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体的特征可在于指示结构的高有序度和均匀性的拉曼光谱法。本文中所描述的均匀有序和/或纯碳纳米粒子和聚集体可使用相对较高速度、低成本的改善的热反应器和方法产生，如下文所描述。

[0151] 如通常所理解并且如本文中所提及，术语“石墨烯”意指呈二维、原子级、六角晶格形式的碳的同素异形体，其中一个原子形成各顶点。石墨烯中的碳原子被 $\text{sp}^2$ -结合。另外地，石墨烯具有拥有两个主峰值的拉曼光谱：约1580 $\text{cm}^{-1}$ 下的G模式和约1350 $\text{cm}^{-1}$ 下的D-模式(当使用532nm激发激光时)。

[0152] 如通常所理解并且如本文中所提及，术语“富勒烯”意指呈中空球体、椭球、管或其他形状形式的碳分子。球形富勒烯也可称为巴克敏斯特富勒烯或巴克球。圆柱形富勒烯也可称为碳纳米管。富勒烯在结构上类似于石墨，石墨是由键联六边形环的堆叠石墨烯薄片构成。富勒烯还可以含有五边形(或有时七边形)环。

[0153] 如通常所理解并且如本文中所提及，术语“多壁富勒烯”意指具有多个同心层的富勒烯。例如，多壁纳米管(MWNT)含有多个石墨烯辊压层(同心管)。多壁球形富勒烯(MWSF)含有多个同心富勒烯球。

[0154] 如通常所理解并且如本文中所提及,术语“纳米粒子”意指测量为1nm至989nm的粒子。纳米粒子可包括一个或多个结构特性(诸如晶体结构、缺陷浓度等)和一种或多种类型的原子。纳米粒子可以是任何形状,包括但不限于球形形状、类球形形状、哑铃形状、圆柱形形状、细长圆柱形类型形状、矩形和/或棱柱形状、圆盘形状、线形状、不规则形状、致密形状(诸如几乎不具有空隙)、多孔形状(诸如具有许多空隙)等。

[0155] 如通常所理解并且如本文中所提及,术语“聚集体”意指多个纳米粒子,所述纳米粒子通过范德华力、通过共价键、通过离子键、通过金属键或通过其他物理或化学相互作用连接在一起。聚集体的大小可显著不同,但一般大于约500nm。

[0156] 碳纳米粒子可包括两(2)个或更多个连接式多壁球形富勒烯(MWSF)和涂布连接式MWSF的石墨烯层,并且可形成为独立于由除碳以外的杂质元素构成的芯。如本文中所描述,碳纳米粒子可包括两(2)个或更多个连接式多壁球形富勒烯(MWSF)和涂布连接式MWSF的石墨烯层。在此类配置中,其中MWSF在中心处不含空隙(指无碳原子大于约0.5nm或大于约1nm的空间)。连接式MWSF可由sp<sup>2</sup>杂化碳原子的同心、有序球体形成(这与无序、非均匀、非晶碳粒子的常规球体形成有利对比,所述常规球体原本可能无法实现本文中所公开的出人意料并且有利的性质中的任何一者或者者)。

[0157] 含有连接式MWSF的纳米粒子的平均直径在5至500nm,或5至250nm,或5至100nm,或5至50nm,或10至500nm,或10至250nm,或10至100nm,或10至50nm,或40至500nm,或40至250nm,或40至100nm,或50至500nm,或50至250nm,或50至100nm的范围内。

[0158] 本文中所描述的碳纳米粒子形成聚集体,其中许多纳米粒子聚集在一起以形成较大单元。碳聚集体可以是多个碳纳米粒子。碳聚集体的直径可在10至500μm,或50至500μm,或100至500μm,或250至500μm,或10至250μm,或10至100μm,或10至50μm的范围内。如上文所定义,聚集体可由多个碳纳米粒子形成。聚集体可含有连接式MWSF,诸如具有高均匀性度量(诸如20%至80%的石墨烯与MWSF的比率)、高有序度(诸如I<sub>D</sub>/I<sub>G</sub>比率是0.95至1.05的拉曼签名)和高纯度(诸如大于99.9%碳)的那些连接式MWSF。

[0159] 碳纳米粒子(主要是指具有上文所描述的范围内的直径的那些碳纳米粒子,尤其大于10μm的粒子)的聚集体通常比小于500nm的粒子或粒子聚集体更容易收集。易于收集降低了碳纳米粒子的生产中所使用的制造设备的成本并且提高了碳纳米粒子的良率。相比于处理较小纳米粒子的风险,诸如由吸入较小纳米粒子引起的潜在的健康和安全风险,大小大于10μm的粒子也提出较少的安全问题。因此,较低的健康和安全风险进一步降低了制造成本。

[0160] 参考本文中所公开的碳纳米粒子,碳纳米粒子的石墨烯与MWSF的比率可以是10%至90%,或10%至80%,或10%至60%,或10%至40%,或10%至20%,或20%至40%,或20%至90%,或40%至90%,或60%至90%,或80%至90%。碳聚集体的石墨烯与MWSF的比率是10%至90%,或10%至80%,或10%至60%,或10%至40%,或10%至20%,或20%至40%,或40%至90%,或60%至90%,或80%至90%。碳纳米粒子的石墨烯与连接式MWSF的比率是10%至90%,或10%至80%,或10%至60%,或10%至40%,或10%至20%,或20%至40%,或20%至90%,或40%至90%,或60%至90%,或80%至90%。碳聚集体的石墨烯与连接式MWSF的比率是10%至90%,或10%至80%,或10%至60%,或10%至40%,或10%至20%,或20%至40%,或20%至90%,或40%至90%,或60%至90%,或80%至90%。

至90%。

[0161] 可使用拉曼光谱法来表征碳同素异形体以区分其分子结构。例如,可使用拉曼光谱法来表征石墨烯以确定诸如有序性/无序性、边缘和晶界、厚度、层数目、掺杂、应变和热导率等信息。还使用拉曼光谱法表征MWSF以确定MWSF的有序度。

[0162] 使用拉曼光谱法来表征参考如本文中所论述结合到轮胎的各种轮胎相关帘布层内使用的MWSF或连接式MWSF的结构。拉曼光谱中的主峰值为G-模式和D-模式。G-模式是归因于 $sp^2$ -杂化碳网络中的碳原子的振动,并且D-模式是关于具有缺陷的六边形碳环的呼吸。在一些情况下,可能存在缺陷,但在拉曼光谱中不可检测到所述缺陷。例如,如果所呈现结晶结构相对于基面正交,则D-峰值将展现出增大。另选地,如果呈现有相对于基面平行的绝对平面的表面,则D-峰值将为零。

[0163] 当使用532nm入射光时,对于平面石墨,拉曼G-模式通常在1582cm<sup>-1</sup>处,然而对于MWSF或连接式MWSF可下移(诸如降至1565cm<sup>-1</sup>或降至1580cm<sup>-1</sup>)。在MWSF或连接式MWSF的拉曼光谱中在约1350cm<sup>-1</sup>处观测到D-模式。D-模式峰值与G-模式峰值的强度的比率(诸如 $I_D/I_G$ )是关于MWSF的有序度,其中较低的 $I_D/I_G$ 指示较高的有序度。接近或低于1的 $I_D/I_G$ 指示相对较高的有序度,并且大于1.1的 $I_D/I_G$ 指示较低的有序度。

[0164] 如本文中所描述,含有MWSF或连接式MWSF的碳纳米粒子或碳聚集体可具有和/或展现出拉曼光谱,其中当使用532nm入射光时,第一拉曼峰值在约1350cm<sup>-1</sup>处并且第二拉曼峰值在约1580cm<sup>-1</sup>处。本文中所描述的纳米粒子或聚集体的第一拉曼峰值的强度与第二拉曼峰值的强度的比率(诸如 $I_D/I_G$ )可在0.95至1.05,或0.9至1.1,或0.8至1.2,或0.9至1.2,或0.8至1.1,或0.5至1.5,或小于1.5,或小于1.2,或小于1.1,或小于1,或小于0.95,或小于0.9,或小于0.8的范围内。

[0165] 如上文所定义,含有MWSF或连接式MWSF的碳聚集体具有高纯度。含有MWSF或连接式MWSF的碳聚集体的碳与金属的比率大于99.99%,或大于99.95%,或大于99.9%,或大于99.8%,或大于99.5%,或大于99%。碳聚集体的碳与其他元素的比率大于99.99%,或大于99.95%,或大于99.9%,或大于99.5%,或大于99%,或大于90%,或大于80%,或大于70%,或大于60%。碳聚集体的碳与其他元素(除了氢以外)的比率大于99.99%,或大于99.95%,或大于99.9%,或大于99.8%,或大于99.5%,或大于99%,或大于90%,或大于80%,或大于70%,或大于60%。

[0166] 如上文所定义,含有MWSF或连接式MWSF的碳聚集体具有高比表面积。碳聚集体的布厄特(BET)比表面积是10至200m<sup>2</sup>/g,或10至100m<sup>2</sup>/g,或10至50m<sup>2</sup>/g,或50至200m<sup>2</sup>/g,或50至100m<sup>2</sup>/g,或10至1000m<sup>2</sup>/g。

[0167] 如上文所定义,含有MWSF或连接式MWSF的碳聚集体具有高电导率。如本文所定义,含有MWSF或连接式MWSF的碳聚集体压缩成集结粒并且集结粒的电导率大于500S/m,或大于1,000S/m,或大于2,000S/m,或大于3,000S/m,或大于4,000S/m,或大于5,000S/m,或大于10,000S/m,或大于20,000S/m,或大于30,000S/m,或大于40,000S/m,或大于50,000S/m,或大于60,000S/m,或大于70,000S/m,或500S/m至100,000S/m,或500S/m至1,000S/m,或500S/m至10,000S/m,或500S/m至20,000S/m,或500S/m至100,000S/m,或1000S/m至10,000S/m,或1,000S/m至20,000S/m,或10,000至100,000S/m,或10,000S/m至80,000S/m,或500S/m至10,000S/m。在一些情况下,集结粒的密度是约1g/cm<sup>3</sup>,或约1.2g/cm<sup>3</sup>,或约1.5g/cm<sup>3</sup>,或约2g/

cm<sup>3</sup>,或约2.2g/cm<sup>3</sup>,或约2.5g/cm<sup>3</sup>,或约3g/cm<sup>3</sup>。另外,已进行测试,其中已在2,000psi和12,000psi的压缩以及800°C和1,000°C的退火温度下形成碳聚集体材料的压缩集结粒。较高压缩和/或较高退火温度大体上产生具有较高电导率(包括在12,410.0S/m至13,173.3S/m的范围内)的集结粒。

[0168] 本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体可使用热反应器和方法产生。关于热反应器和/或使用方法的其他细节可见于2018年1月9日发布的标题为“CRACKING OF A PROCESS GAS”的美国专利No. 9,862,602中,所述美国专利特此以全文引用的方式并入。另外,含碳和/或烃类前驱体(指至少甲烷、乙烷、丙烷、丁烷和天然气)可与热反应器一起使用以产生本文中所描述的碳纳米粒子和碳聚集体。

[0169] 本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体使用热反应器在1s1m至10s1m,或0.1s1m至20s1m,或1s1m至5s1m,或5s1m至10s1m,或大于1s1m,或大于5s1m的气体流速下产生。本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体使用热反应器以0.1秒(s)至30秒,或0.1秒至10秒,或1秒至10秒,或1秒至5秒,5秒至10秒,或大于0.1秒,或大于1秒,或大于5秒,或小于30秒的气体谐振时间产生。

[0170] 本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体可使用热反应器以10g/hr至200g/hr,或30g/hr至200g/hr,或30g/hr至100g/hr,或30g/hr至60g/hr,或10g/hr至100g/hr,或大于10g/hr,或大于30g/hr,或大于100g/hr的生产速率产生。

[0171] 热反应器(或其他裂解设备)和热反应器方法(或其他裂解方法)可用于将原料工艺气体精炼、热解、解离或裂解成其成分以产生本文中所描述的碳纳米粒子和碳聚集体以及其他固体和/或气体产物(诸如氢气和/或较低阶烃类气体)。原料工艺气体通常包括例如氢气(H<sup>2</sup>)、二氧化碳(CO<sup>2</sup>)、C<sup>1</sup>至C<sup>10</sup>烃、芳族烃,和/或其他烃类气体,诸如天然气、甲烷、乙烷、丙烷、丁烷、异丁烷、饱和/不饱和烃类气体、乙烯、丙烯等,以及其混合物。碳纳米粒子和碳聚集体可包括例如多壁球形富勒烯(MWSF)、连接式MWSF、碳纳米球、石墨烯、石墨、高度有序热解石墨、单壁纳米管、多壁纳米管、其他固体碳产物和/或本文中所描述的碳纳米粒子和碳聚集体。

[0172] 用于产生本文中所描述的碳纳米粒子和碳聚集体的方法可包括热裂解方法,所述热裂解方法使用例如可选地封闭在热裂解设备的细长壳体、外壳或主体内的细长纵向加热元件。所述主体可包括例如由不锈钢、钛、石墨、石英或类似者制成的一个或多个管或其他适当罩壳。热裂解设备的主体的形状大体上为圆柱形,其中中心细长纵向轴线竖直地布置并且原料工艺气体入口在所述主体顶部处或附近。原料工艺气体可纵向向下流过主体或其部分。在竖直配置中,气流和重力二者有助于从热裂解设备的主体移除固体产物。

[0173] 加热元件可包括加热灯、一个或多个电阻线或长丝(或绞合线)、金属长丝、金属条带或杆和/或其他适当热自由基产生器或元件中的任何一者或更多者,所述热自由基产生器或元件可被加热到足以使原料工艺气体的分子热裂解的特定温度(诸如分子裂解温度)。加热元件可被安置、定位或布置为沿着热裂解设备的中心纵向轴线在热裂解设备的主体内居中延伸。在具有仅一个加热元件的配置中,可将所述加热元件置放在中心纵向轴线处或与中心纵向轴线同心置放;另选地,对于具有多个加热元件的配置,所述加热元件在中心纵向轴线附近和周围大体上对称地或同心地间隔开或偏移并且平行于中心纵向轴线。

[0174] 用于产生本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体的热裂解可通过使原料工艺气体

在纵向细长反应区内的加热元件上面流过或与加热元件接触或在加热元件附近内流动来实现，所述纵向细长反应区是通过来自加热元件的热产生并且由热裂解设备的主体限定并且容纳在热裂解设备的主体内部以将原料工艺气体加热到特定的分子裂解温度或在特定的分子裂解温度下。

[0175] 反应区可被视为环绕加热元件并且足够接近加热元件以使原料工艺气体接收足够的热来使其分子热裂解的区域。反应区因此大体上与主体的中心纵向轴线轴向对准或同心。热裂解是在特定压力下进行。原料工艺气体围绕或跨越反应区的容器或加热腔室的外表面循环以冷却容器或腔室并且在原料工艺气体流动到反应区中之前预热原料工艺气体。

[0176] 本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体和/或氢气在不使用催化剂的情况下产生。因此，所述工艺可完全不含催化剂。

[0177] 所公开的方法和系统可在需要时针对不同的生产水平有利地快速按比例增大或按比例缩小，诸如可缩放以提供独立氢气和/或碳纳米粒子生产站、烃源或燃料电池站，以诸如为精炼厂和/或其类似者提供较高容量系统。

[0178] 用于使原料工艺气体裂解以产生本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体的热裂解设备包括主体、原料工艺气体入口和细长加热元件。所述主体的内部容积具有纵向轴线。所述内部容积具有与所述纵向轴线同心的反应区。原料工艺气体可在热裂解操作期间经由原料工艺气体入口流动到内部容积中。细长加热元件可沿着所述纵向轴线安置于所述内部容积内并且被反应区环绕。在热裂解操作期间，通过电能将细长加热元件加热到分子裂解温度以产生反应区，通过来自细长加热元件的热来加热原料工艺气体，并且所述热将反应区内的原料工艺气体的分子热裂解成分子的成分。

[0179] 用于裂解原料工艺气体以产生本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体的方法可至少包括以下中的任何一者或者：(1) 提供具有内部容积的热裂解设备，所述内部容积具有纵向轴线以及沿着所述纵向轴线安置于所述内部容积内的细长加热元件；(2) 通过电能将细长加热元件加热到分子裂解温度以在内部容积内产生纵向细长反应区；(3) 使原料工艺气体流动到内部容积中并且流经纵向细长反应区(诸如，其中通过来自细长加热元件的热来加热原料工艺气体)；以及(4) 在原料工艺气体流经纵向细长反应区时将纵向细长反应区内的原料工艺气体的分子热裂解成其成分(诸如，氢气和一种或多种固体产物)。

[0180] 用于产生本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体的原料工艺气体可包括烃类气体。裂解的结果可转而还包括呈气态形式的氢气(诸如H<sup>2</sup>)和各种形式的本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体。碳纳米粒子和聚集体包括两个或更多个MWSF和涂布MWSF的石墨烯层，和/或连接式MWSF和涂布连接式MWSF的石墨烯层。通过使原料工艺气体流经热裂解设备的加热腔室与壳层之间的气体预热区来对原料工艺气体预热(诸如预热到100℃至500℃)，再使原料工艺气体流入内部容积中。其中具有纳米粒子的气体流入内部容积中并且流经纵向细长反应区以与原料工艺气体混合，从而在纳米粒子周围形成固体产物(诸如石墨烯层)的涂层。

[0181] 可在不需要完成任何后处理处理或操作的情况下产生和收集本文中所描述的含有多壁球形富勒烯(MWSF)或连接式MWSF的碳纳米粒子和聚集体。另选地，可对目前公开的MWSF中的一者或者执行一些后处理。制造和使用谐振材料时涉及的后处理的一些示例包括机械处理，诸如球磨、磨削、砂磨粉碎、微流体化和其他技术以减小粒径而不损坏MWSF。后

处理的一些其他示例包括剥离工艺(指含碳材料层的完全分离,诸如石墨烯层从石墨中的产生或提取等),包括剪切混合、化学蚀刻、氧化(诸如Hummer方法)、热退火、通过在退火期间添加元素(诸如硫和/或氮)掺杂、汽化、过滤和冻干以及其他工艺。后处理的一些示例包括烧结工艺,诸如火花等离子体烧结(SPS)、直流电烧结、微波烧结和紫外线(UV)烧结,所述烧结工艺可在惰性气体中在高压和高温下进行。多种后处理方法可一起使用或连续地使用。后处理产生含有多壁球形富勒烯(MWSF)或连接式MWSF的官能化碳纳米粒子或聚集体。

[0182] 材料可按不同的组合、数量和/或比率混合在一起。本文中所描述的含有MWSF或连接式MWSF的不同碳纳米粒子和聚集体可在一种或多种后处理操作(如果存在)之前混合在一起。例如,具有不同性质(诸如不同大小、不同组成、不同纯度、来自不同处理批次等)的含有MWSF或连接式MWSF的不同碳纳米粒子和聚集体可混合在一起。本文中所描述的含有MWSF或连接式MWSF的碳纳米粒子和聚集体可与石墨烯混合以改变混合物中连接式MWSF与石墨烯的比率。本文中所描述的含有MWSF或连接式MWSF的不同碳纳米粒子和聚集体可在后处理之后混合在一起。具有不同性质和/或不同后处理方法(诸如不同大小、不同组成、不同功能性、不同表面性质、不同表面积)的含有MWSF或连接式MWSF的不同碳纳米粒子和聚集体可按任何数量、比率和/或组合混合在一起。

[0183] 产生和收集本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体,并且随后通过机械磨削、研磨和/或剥离来处理。处理(诸如通过机械磨削、研磨、剥离等)可减小粒子的平均大小。处理(诸如通过机械磨削、研磨、剥离等)可增大粒子的平均表面积。通过机械磨削、研磨和/或剥离进行处理会剪切掉碳层的一些部分,从而产生与碳纳米粒子混合的石墨薄片。

[0184] 机械磨削或研磨是使用球磨机、行星式研磨机、棒磨机、剪切混合器、高剪切制粒机、自磨机或用以通过磨削、压碎或切割将固体材料分裂成较小碎片的其他类型的机械加工来进行。机械磨削、研磨和/或剥离是湿式或干式地执行。机械磨削是通过磨削一段时间、接着空闲一段时间并且重复磨削和空闲数个循环来进行。磨削时段是1分钟(min)至20min,或1min至10min,或3min至8min,或约3min,或约8min。空闲时段是1min至10min,或约5min,或约6min。数个磨削和空闲循环是1min至100min,或5min至100min,或10min至100min,或5min至10min,或5min至20min。磨削和空闲的总时间量是10min至1,200min,或10min至600min,或10min至240min,或10min至120min,或100min至90min,或10min至60min,或约90min,或约数分钟。

[0185] 循环中的磨削步骤是通过使研磨机顺着一个方向(诸如顺时针)旋转持续第一循环并且接着使研磨机顺着相反方向(诸如逆时针)旋转持续下一循环来执行。机械磨削或研磨是使用球磨机执行,并且磨削步骤是使用100至1000rpm,或100至500rpm,或约400rpm的旋转速度执行。机械磨削或研磨是使用球磨机执行,所述球磨机使用直径是0.1mm至20mm,或0.1mm至10mm,或1mm至10mm,或约0.1mm,或约1mm,或约10mm的研磨介质。机械磨削或研磨是使用球磨机执行,所述球磨机使用由诸如钢等金属,诸如氧化锆(二氧化锆)、氧化钇稳定的氧化锆、二氧化硅、氧化铝、氧化镁等氧化物,或其他硬材料诸如碳化硅或碳化钨构成的研磨介质。

[0186] 产生并收集本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体,并且随后使用高温诸如热退火或烧结来处理。使用高温的处理是在诸如氮气或氩气的惰性环境中进行。使用高温的处理是在大气压下或在真空下或在低压下进行。使用高温的处理是在500°C至2,500°C,或500°C

至1,500°C,或800°C至1,500°C,或800°C至1,200°C,或800°C至1,000°C,或2,000°C至2,400°C,或约8,00°C,或约1,000°C,或约1,500°C,或约2,000°C,或约2,400°C的温度下进行。

[0187] 产生并收集本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体，并且随后在后处理操作中，将额外元素或化合物添加到碳纳米粒子中，由此将碳纳米粒子和聚集体的独特性质结合到其他材料混合物中。

[0188] 在后处理之前或之后，将本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体添加到其他元素或化合物的固体、液体或浆料中以形成结合了碳纳米粒子和聚集体的独特性质的额外材料混合物。本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体与其他固体粒子、聚合物或其他材料混合。

[0189] 在后处理之前或之后，本文中所描述的碳纳米粒子和聚集体用于关于制备和使用谐振材料的应用以外的各种应用中。此类应用包括但不限于运输应用（诸如汽车和卡车轮胎、联接件、安装件、弹性体“o形”-环、软管、密封剂、索环等）和工业应用（诸如橡胶添加剂、聚合材料的官能化添加剂、环氧树脂的添加剂等）。

[0190] 图18A和图18B示出合成时的碳纳米粒子的透射电子显微镜(TEM)图像。图18A(在第一放大率下)和图18B(在第二放大率下)的碳纳米粒子含有连接式多壁球形富勒烯(MWSF)，其中石墨烯层涂布连接式MWSF。在此示例中，由于相对较短的谐振时间，MWSF与石墨烯同素异形体的比率约为80%。图18B中的MWSF的直径约为5nm至10nm，并且在使用上文所描述条件下，直径可为5nm至500nm。MWSF的平均直径在5nm至500nm，或5nm至250nm，或5nm至100nm，或5nm至50nm，或10nm至500nm，或10nm至250nm，或10nm至100nm，或10nm至50nm，或40nm至500nm，或40nm至250nm，或40nm至100nm，或50nm至500nm，或50nm至250nm，或50nm至100nm的范围内。在此工艺中未使用催化剂，因此不存在含有污染物的中心晶种。在此示例中产生的聚集体粒子的粒径约为10μm至100μm，或约10μm至500μm。

[0191] 图18C示出此示例中的合成时的聚集体在532nm入射光情况下获得的拉曼光谱。此示例中所产生的聚集体的 $I_D/I_G$ 是约0.99至1.03，指示聚集体是由具有高有序度的碳同素异形体构成。

[0192] 图18D和图18E示出在通过在球磨机中磨削而缩减大小之后的碳纳米粒子的示例TEM图像。球磨是循环地执行，其中3分钟(min)逆时针磨削操作，之后是6分钟空闲操作，之后是3分钟顺时针磨削操作，之后是6分钟空闲操作。使用400rpm的旋转速度进行磨削操作。研磨介质是氧化锆并且大小在0.1mm至10mm范围内。总大小缩减处理时间是60min至120min。在大小缩减之后，此示例中所产生的聚集体粒子具有约1μm至5μm的粒径。大小缩减之后的碳纳米粒子为连接式MWSF，其中石墨烯层涂布连接式MWSF。

[0193] 图18F示出在大小缩减之后在532nm入射光情况下从这些聚集体获得的拉曼光谱。此示例中的聚集体粒子在大小缩减之后的 $I_D/I_G$ 约为1.04。另外，在大小缩减之后的粒子具有约40m<sup>2</sup>/g至50m<sup>2</sup>/g的布厄特(BET)比表面积。

[0194] 此样本中所产生的聚集体的纯度是使用质谱法和x-射线荧光(XRF)光谱法来测量。在16个不同批次中测量的碳与除氢以外的其他元素的比率是99.86%至99.98%，平均是99.94%的碳。

[0195] 在此示例中，碳纳米粒子是使用热力的热线处理系统产生。前驱体材料为甲烷，其以1s1m至5s1m的流速流动。在这些流动速率和工具几何形状的情况下，反应腔室中气体的谐振时间为约20秒至30秒，并且碳粒子产生速率约为20g/hr。

[0196] 关于此处理系统的其他细节可见于标题为“CRACKING OF A PROCESS GAS”的先前所提及的美国专利9,862,602中。

[0197] 示例1

[0198] 图18G(按照图15放大示出)、图18H(按照图16放大示出)和图18I(按照图17放大示出)示出此示例的合成时的碳纳米粒子的TEM图像。碳纳米粒子含有连接式多壁球形富勒烯(MWSF)，其中石墨烯层涂布连接式MWSF。由于相对较长的谐振时间允许较厚或较多石墨烯层涂布MWSF，此示例中的多壁富勒烯与石墨烯同素异形体的比率约为30%。在此工艺中未使用催化剂，因此不存在含有污染物的中心晶种。在此示例中产生的合成时的聚集体粒子的粒子大小约为10μm至500μm。-图18J示出来自此示例的聚集体的拉曼光谱。此示例中的合成时的粒子的拉曼签名指示涂布合成时的材料中的MWSF的较厚石墨烯层。另外，合成时的粒子具有约90m<sup>2</sup>/g至100m<sup>2</sup>/g的布厄特(BET)比表面积。-

[0199] 示例2

[0200] 图18K和图18L示出此示例的碳纳米粒子的TEM图像。明确地说，所述图像描绘通过在球磨机中磨削而缩减大小之后的碳纳米粒子。大小缩减工艺条件与关于前述图18G至图18J所描述的那些条件相同。在大小缩减之后，此示例中所产生的聚集体粒子具有约1μm至5μm的粒径。TEM图像示出在大小缩减之后可观测到埋入石墨烯涂层中的连接式MWSF。图18M示出在大小缩减之后在532nm入射光情况下从此示例的聚集体获得的拉曼光谱。在大小缩减之后，此示例中的聚集体粒子的I<sub>D</sub>/I<sub>G</sub>约为1，指示埋入合成时的石墨烯涂层中的连接式MWSF在大小缩减之后变得在拉曼中可检测到，并且非常有序。在大小缩减之后的粒子具有约90m<sup>2</sup>/g至100m<sup>2</sup>/g的布厄特(BET)比表面积。

[0201] 示例3

[0202] 图18N是在第一放大率下示出石墨和石墨烯同素异形体的碳聚集体的扫描电子显微镜(SEM)图像。图18O是在第二放大率下示出石墨和石墨烯同素异形体的碳聚集体的SEM图像。分层石墨烯清楚地示出于碳的变形(褶皱)内。碳同素异形体的3D结构也是可见的。

[0203] 图18N和图18O的碳粒子的粒径分布示出于图18P中。质量基准累积粒径分布1806对应于曲线图中的左侧y轴(Q<sup>3</sup>(x) [%])。质量粒径分布1808的直方图对应于曲线图中的右侧轴线(dQ<sup>3</sup>(x) [%])。中值粒径约为33μm。第10百分位粒径约为9μm，并且第90百分位粒径约为103μm。粒子的质量密度约为10g/L。

[0204] 示例4

[0205] 从多级反应器捕获的碳粒子的粒径分布示出于图18Q中。质量基准累积粒径分布1814对应于曲线图中的左侧y轴(Q<sup>3</sup>(x) [%])。质量粒径分布1816的直方图对应于曲线图中的右侧轴线(dQ<sup>3</sup>(x) [%])。所捕获的中值粒径约为11μm。第10百分位粒径约为3.5μm，并且第90百分位粒径约为21μm。图18Q中的曲线图也示出了对于曲线图中的左侧y-轴(Q<sup>0</sup>(x) [%])的数目基准累积粒径分布1818。以数目为基准的中值粒径为约0.1μm至约0.2μm。

[0206] 返回到对图18P的论述，曲线图还示出了第二组示例结果。明确地说，在此示例中，通过机械磨削缩减粒子的大小，并且接着使用旋风分离器处理大小缩减的粒子。此示例中所捕获的大小缩减的碳粒子的质量基准累积粒径分布410对应于曲线图中的左侧y-轴(Q<sup>3</sup>(x) [%])。质量基准粒径分布412的直方图对应于曲线图中的右侧轴线(dQ<sup>3</sup>(x) [%])。此示例中所捕获的大小缩减的碳粒子的中值粒径约为6μm。第10百分位粒径为1μm至2μm，并且第

90百分位粒径为 $10\mu\text{m}$ 至 $20\mu\text{m}$ 。

[0207] 关于制造和使用旋风分离器的其他细节可见于2017年10月5日提交的标题为“MICROWAVE REACTOR SYSTEM WITH GAS-SOLIDS SEPARATION”的美国专利申请15/725,928中,所述申请特此以全文引用的方式并入。

[0208] 在一些情况下,可使用微波等离子体反应器系统,使用含有甲烷或含有异丙醇(IPA)或含有乙醇或含有冷凝烃(诸如己烷)的前驱体材料产生含有石墨、石墨烯和非晶碳的碳粒子和聚集体。在一些其他示例中,含碳前驱体可选地与供应气体(诸如氩气)混合。此示例中所产生的粒子含有石墨、石墨烯、非晶碳,而无晶种粒子。此示例中的粒子的碳与其他元素(除氢以外)的比率为约99.5%或更高。

[0209] 在一个特定示例中,烃为微波等离子体反应器的输入材料,并且反应器的分离的输出包含氢气以及含有石墨、石墨烯和非晶碳的碳粒子。在多级气固分离系统中将碳粒子与氢气分离。来自反应器的分离的输出的固体含量为 $0.001\text{g/L}$ 至 $2.5\text{g/L}$ 。

[0210] 示例5

[0211] 图18R、图18S和图18T为合成时的碳纳米粒子的TEM图像。所述图像示出石墨、石墨烯和非晶碳同素异形体的示例。在图像中可清楚地看到石墨烯层和其他碳材料层。

[0212] 所捕获碳粒子的粒径分布示出于图18U中。质量基准累积粒径分布1820对应于曲线图中的左侧y轴( $Q^3(x) [\%]$ )。质量粒径分布1822的直方图对应于曲线图中的右侧轴线( $dQ^3(x) [\%]$ )。此示例中在旋风分离器中所捕获的中值粒径约为 $14\mu\text{m}$ 。第10百分位粒径约为 $5\mu\text{m}$ ,并且第90百分位粒径约为 $28\mu\text{m}$ 。图18U中的曲线图也示出了对于曲线图中的左侧y-轴( $Q^0(x) [\%]$ )的数目基准累积粒径分布424。在此示例中以数目为基准的中值粒径为约 $0.1\mu\text{m}$ 至约 $0.2\mu\text{m}$ 。

[0213] 图18V、图18W和图18X以及图18Y为示出生长到其他三维结构上的三维含碳结构的图像。图18V为生长到碳纤维上的三维碳结构的100倍放大,而图18W为生长到碳纤维上的三维碳结构的200倍放大。图18X为生长到碳纤维上的三维碳结构的1601倍放大。示出纤维表面上方的三维碳生长。图18Y为生长到碳纤维上的三维碳结构的10000倍放大。图像描绘在基面以及边缘平面上的生长。

[0214] 更明确地说,图18V至图18Y示出使用来自微波等离子体反应器的等离子体能量以及来自热反应器的热能生长到纤维上的3D碳材料的示例SEM图像。图18V示出相交的纤维1831和纤维1832的SEM图像,其中3D碳材料1830生长在纤维表面上。图18W为示出纤维1832上的3D碳材料1830的较高放大率图像(比例尺为 $300\mu\text{m}$ ,与图18V的 $500\mu\text{m}$ 不同)。图18X为示出纤维表面1835上的3D碳材料1830的另一放大视图(比例尺为 $40\mu\text{m}$ ),其中可清楚地看到3D碳材料1830的3D性质。图18Y仅示出碳的近距视图(比例尺为 $500\text{nm}$ ),示出了纤维1832的基面与生长于纤维上的3D碳材料的多个子粒子边缘平面1834之间的互连。图18V至图18Y示出在3D纤维结构上生长3D碳(诸如在3D碳纤维上生长的3D碳生长物)的能力。

[0215] 纤维上的3D碳生长可通过将多个纤维引入到微波等离子体反应器中并且在微波反应器中使用等离子体来蚀刻纤维而实现。蚀刻产生核位点,使得在通过反应器中的烃解离产生碳粒子和子粒子时,在这些成核位点处开始3D碳结构的生长。3D碳结构在自身本质上为三维的纤维上的直接生长提供了具有孔隙的高度集成的3D结构,树脂可渗透到所述孔隙中。相较于具有常规纤维的复合物,用于树脂复合材料的此3D强化基质(包括与高纵横

比强化纤维整合的3D碳结构)产生增强的材料性质,诸如拉伸强度和剪切,所述常规纤维具有平滑表面,并且所述平滑表面通常与树脂基质分层。

[0216] 碳材料(诸如本文中所描述的3D碳材料中的任何一者或者)可具有一个或多个暴露表面,所述一个或多个暴露表面为了官能化而做准备,诸如促进粘附和/或添加诸如氧、氮、碳、硅或硬化剂等元素。官能化是指通过化学合成向化合物添加官能基。在材料科学中,可采用官能化以实现期望的表面性质;例如,官能基也可用于将官能性分子共价连接到化学装置的表面。碳材料可原位官能化,也就是说,在产生碳材料的同一反应器内就地官能化。碳材料可在后处理中官能化。例如,富勒烯或石墨烯的表面可用与树脂基质的聚合物形成键的含氧或含氮物质官能化,因此提高粘附力且提供强结合以增强复合材料的强度。

[0217] 可利用本文中所描述的等离子体反应器(诸如微波等离子体反应器)对所公开的碳基材料(诸如CNT、CNO、石墨烯、诸如3D石墨烯的3D碳材料)中的任何一者或者进行官能化表面处理。此类处理可包括在产生碳材料期间的原位表面处理,所述碳材料可在复合材料中与粘合剂或聚合物组合;或在碳材料仍在反应器内时在碳材料产生之后的表面处理。

[0218] 一些前述实施方案包括谐振器,所述谐振器包括多个由含碳材料形成的三维(3D)聚集体,所述含碳材料嵌入轮胎的一个或多个帘布层内。然而,一些实施方案包括印刷或以其他方式安置于轮胎的内表面上(例如,轮胎的内衬层上)的谐振器。在前述说明书中,已参考本公开的特定实现方式来描述本公开。然而,显而易见地,在不脱离本公开的较宽精神和范围的情况下可对其作出各种修改和改变。例如,参考程序动作的排序描述上文所描述的程序流程。然而,可在不影响本公开的范围或操作的情况下改变许多所描述的程序动作的排序。本说明书和图式应以说明性意义而非限制性意义来看待。

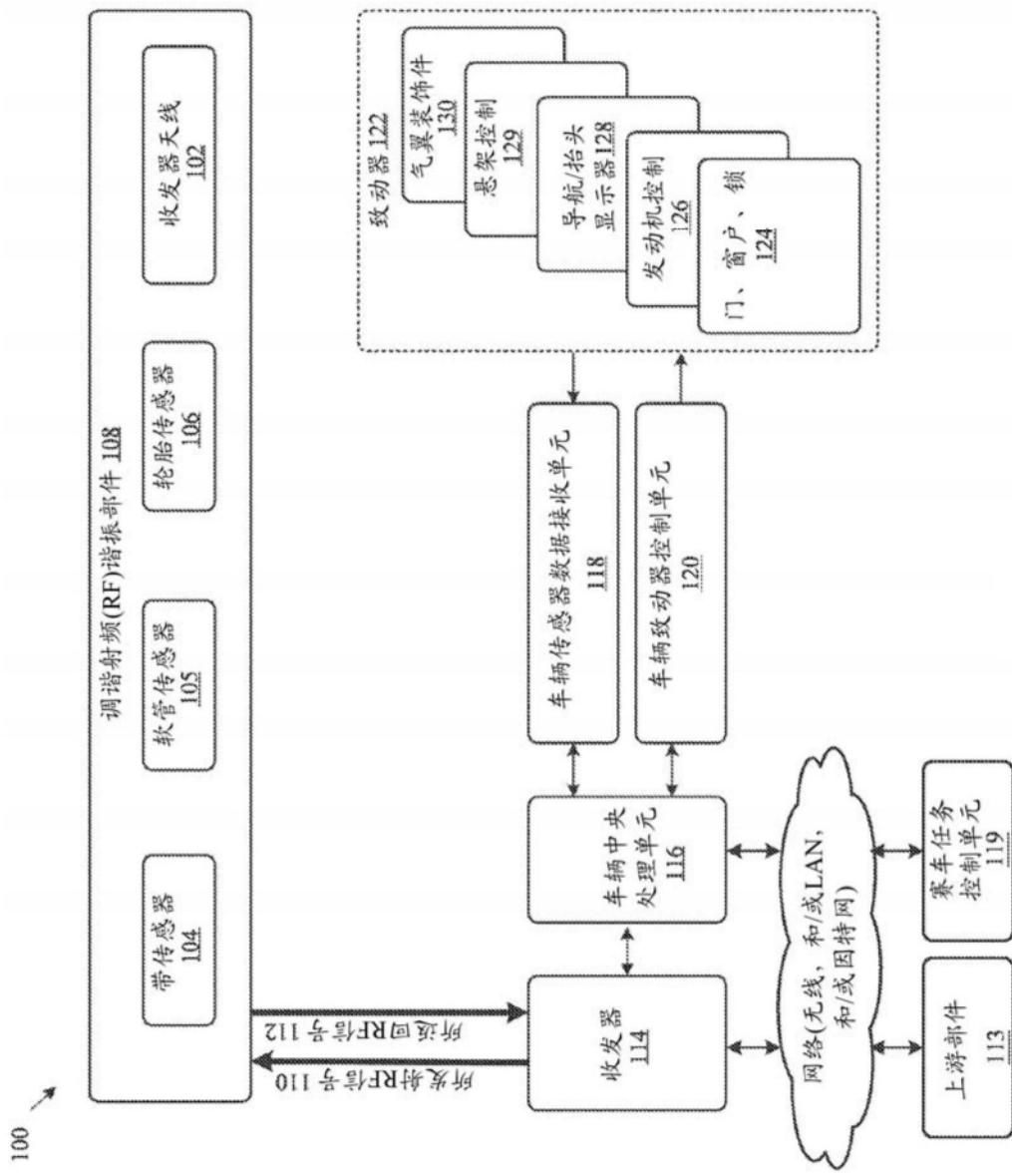


图1

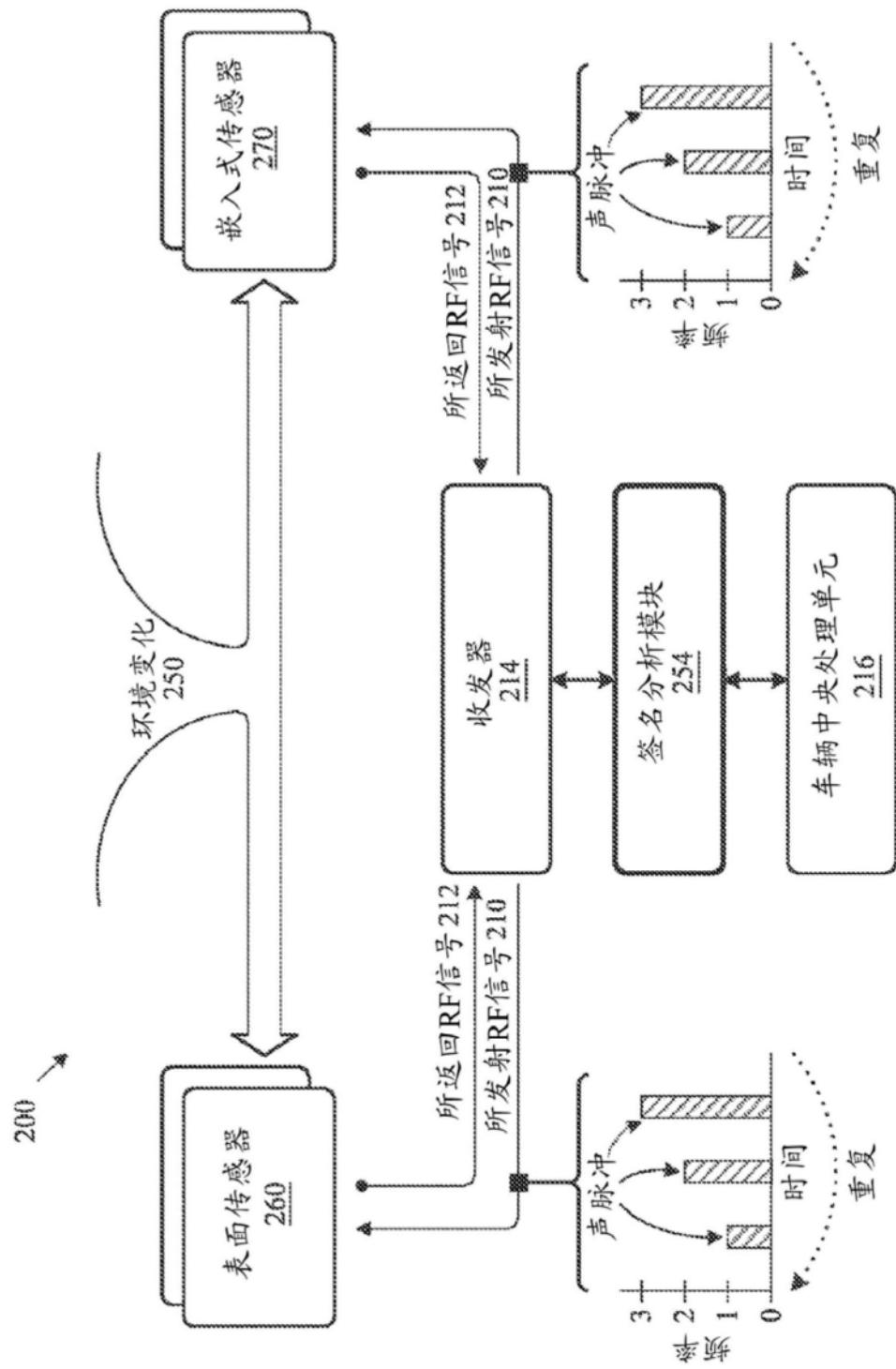


图2

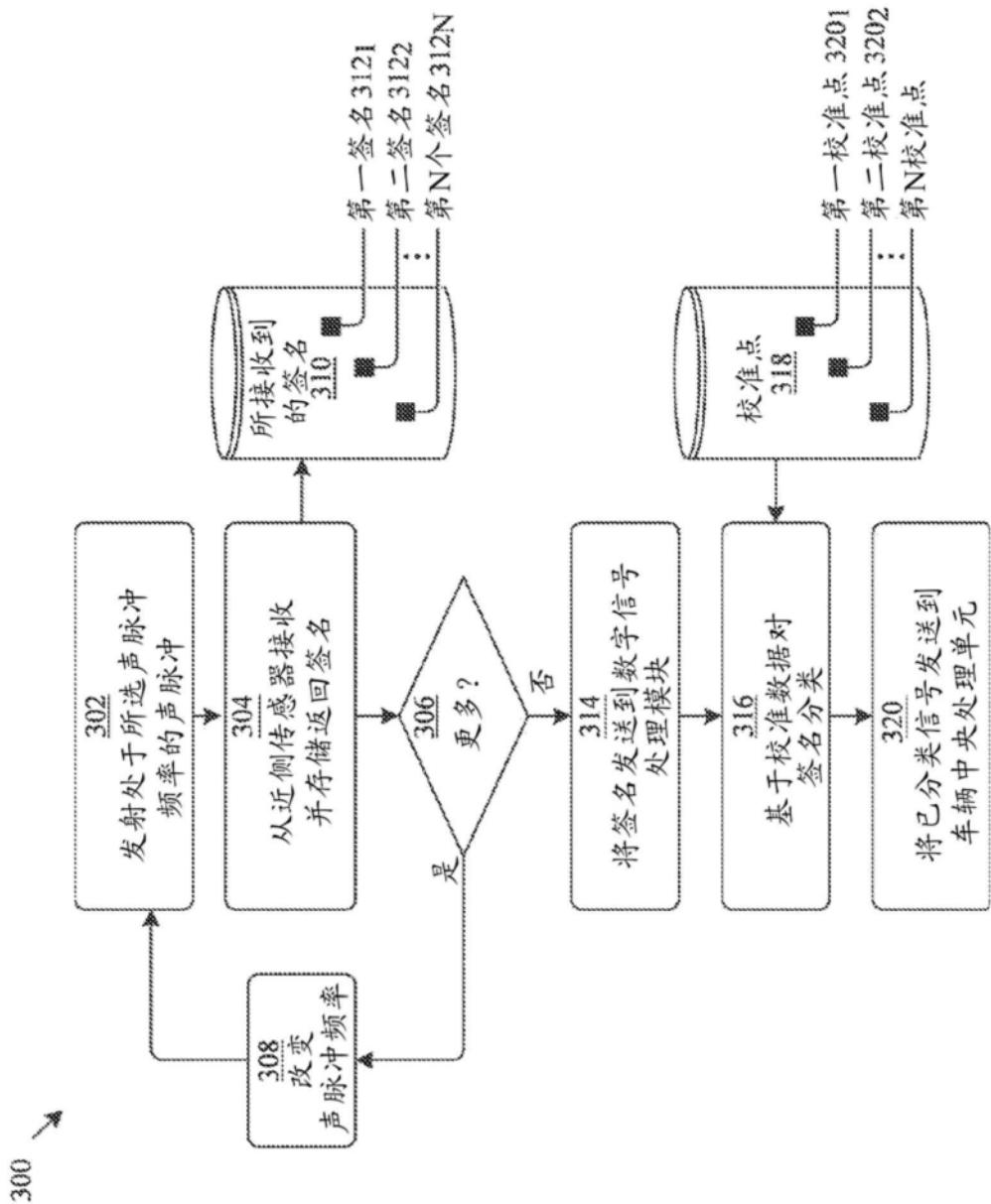


图3

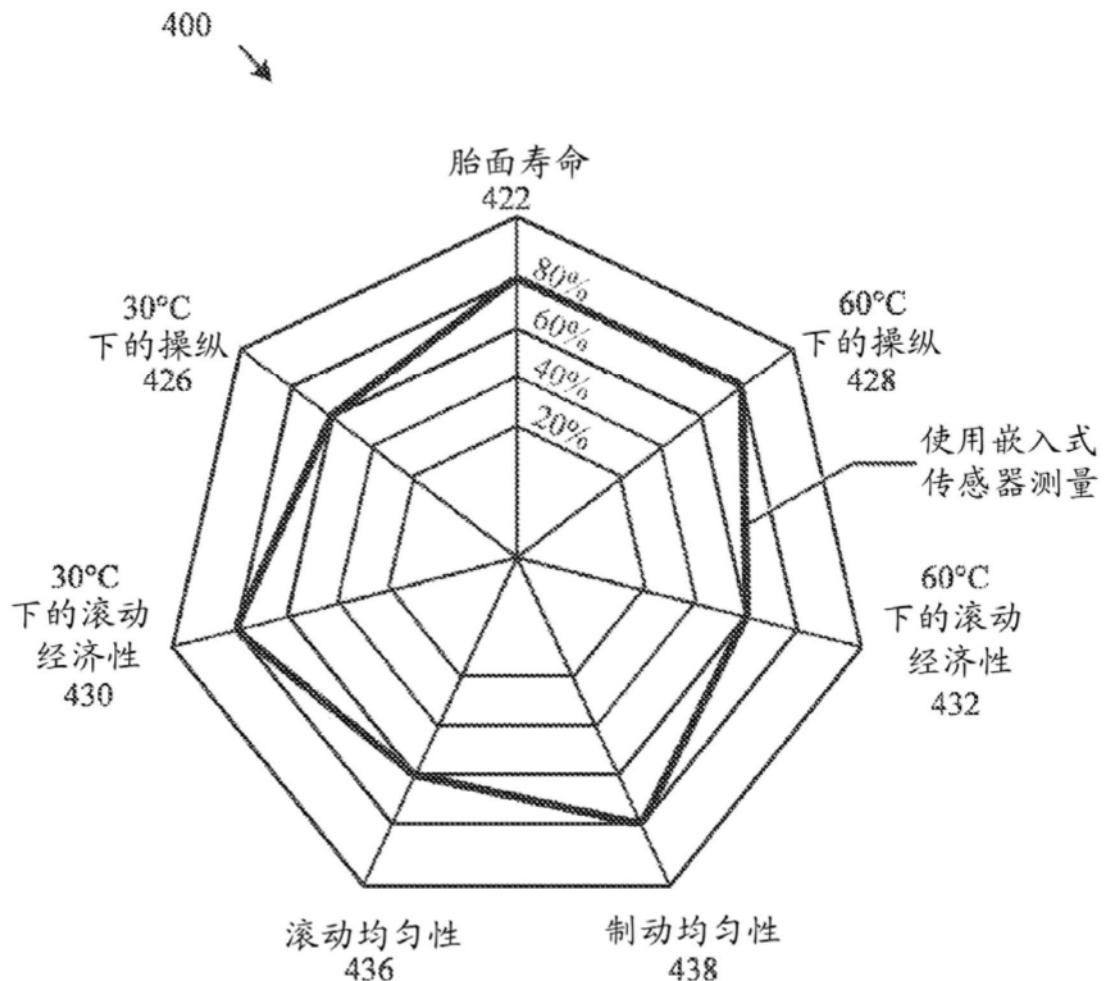


图4

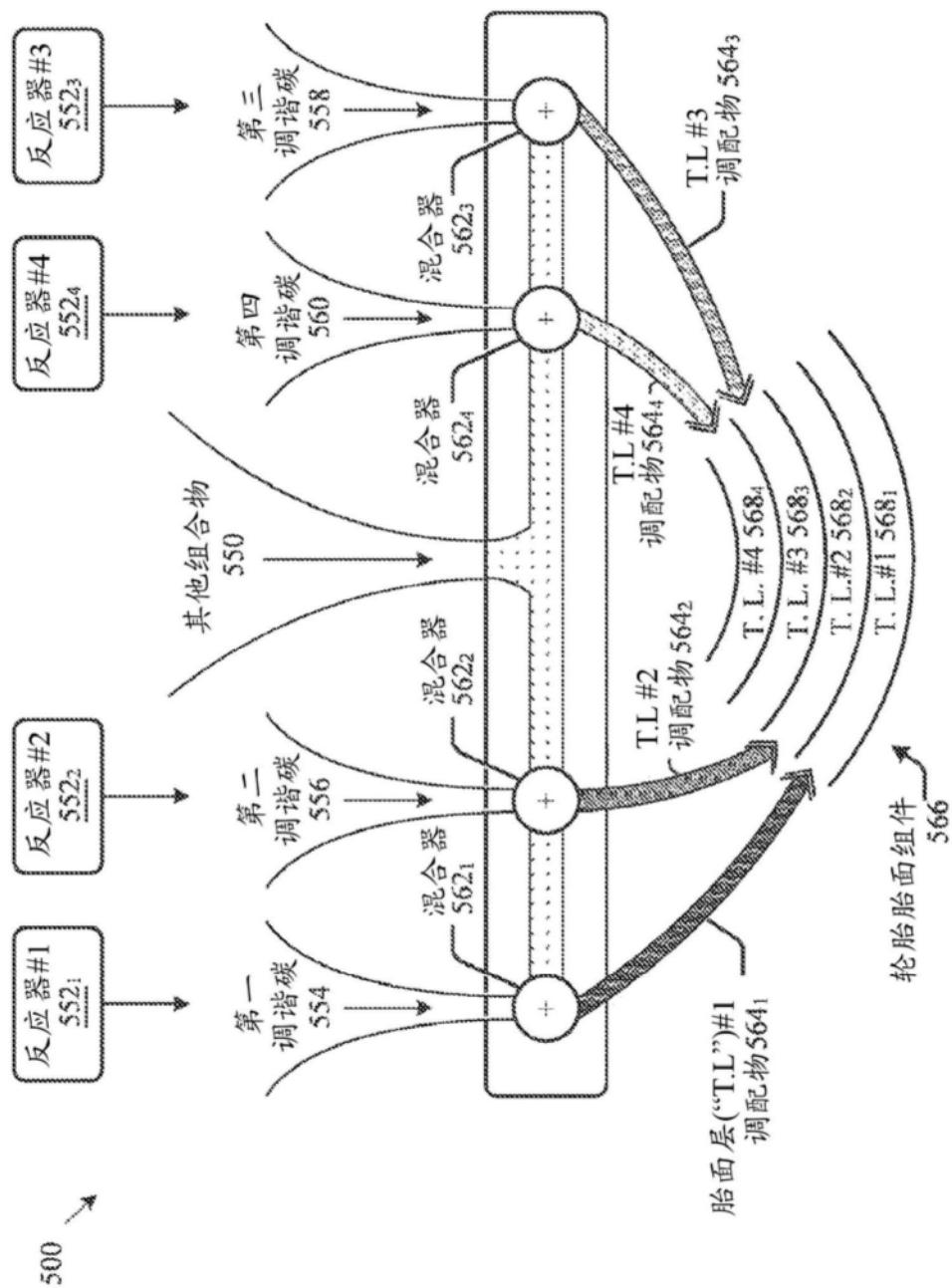


图5

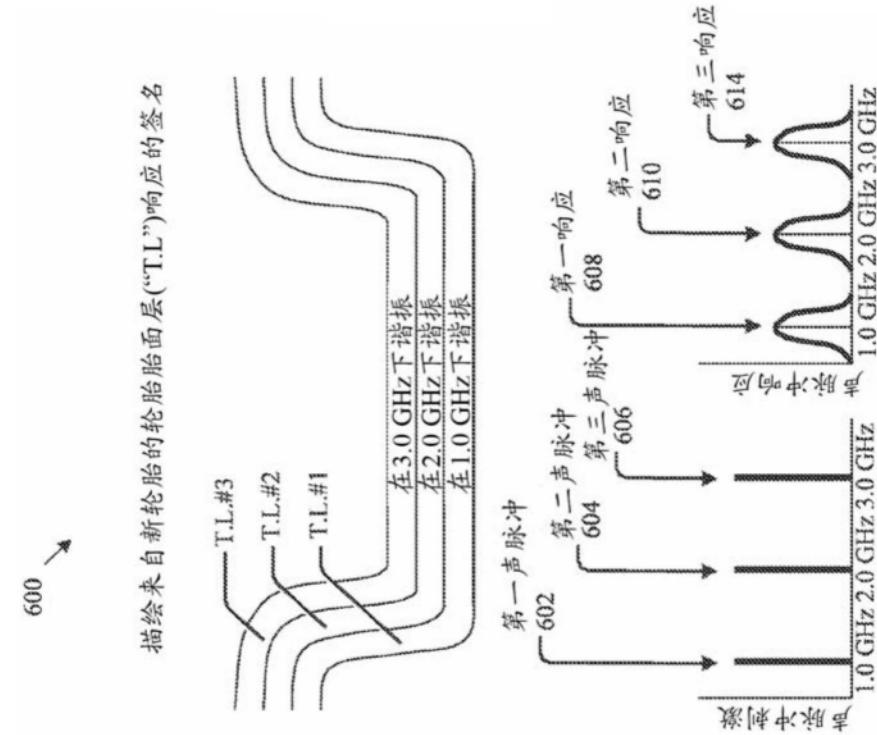


图6

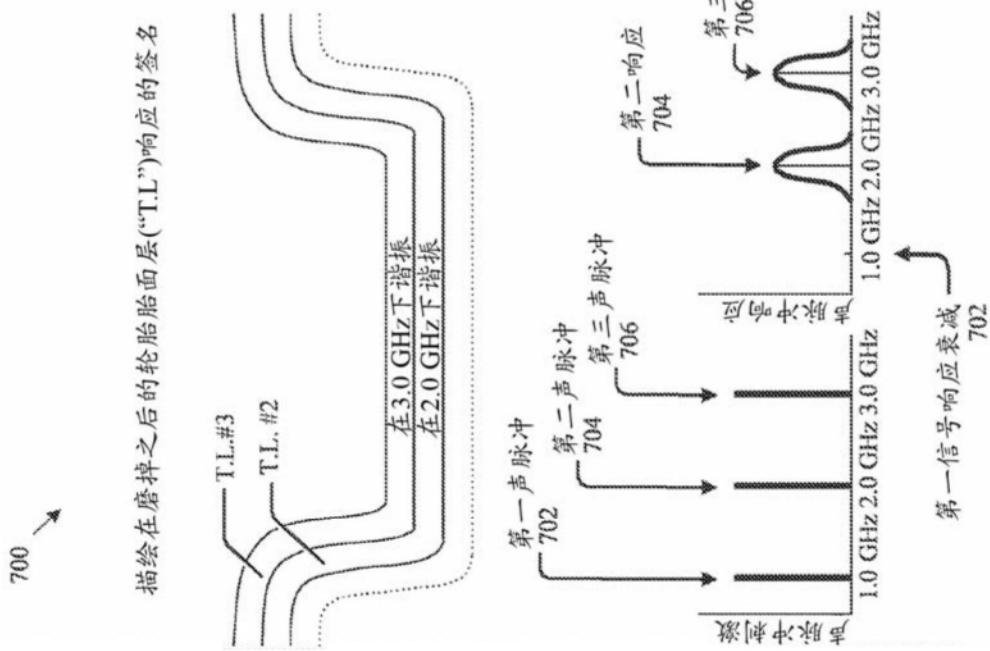
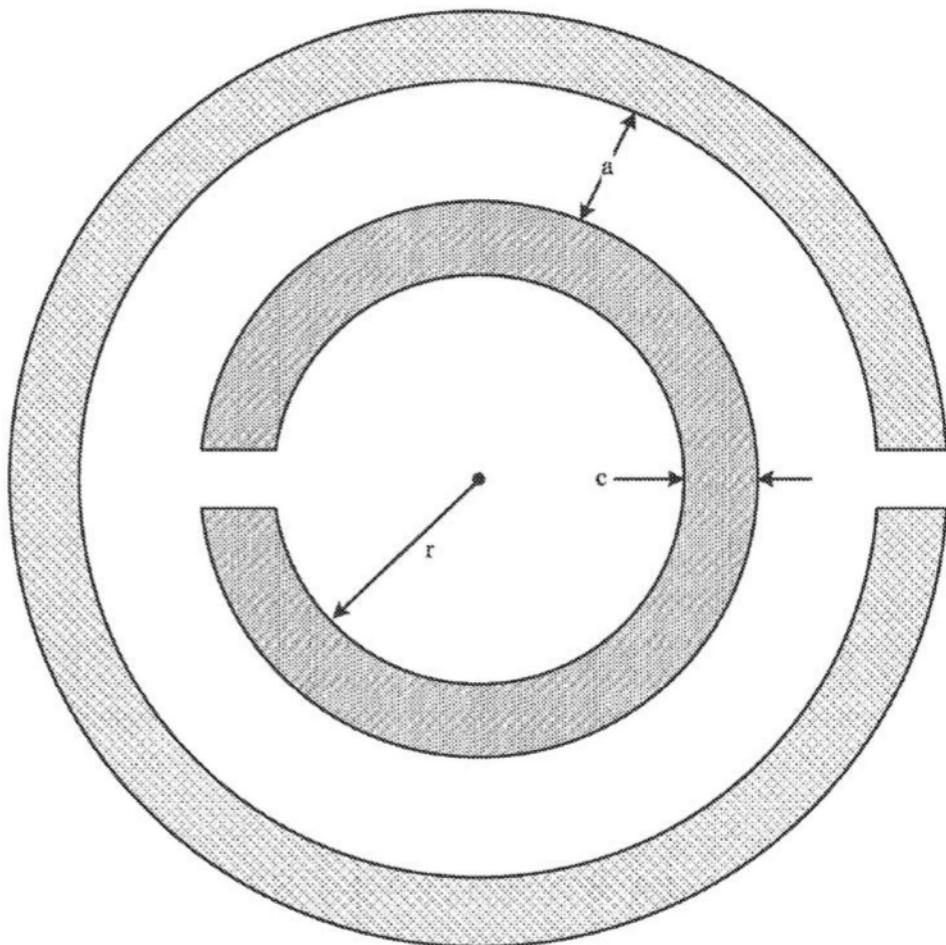


图7

800 ↘



## 图例

- 堆叠的底环(底层)
- 堆叠的顶环(顶层)

图8

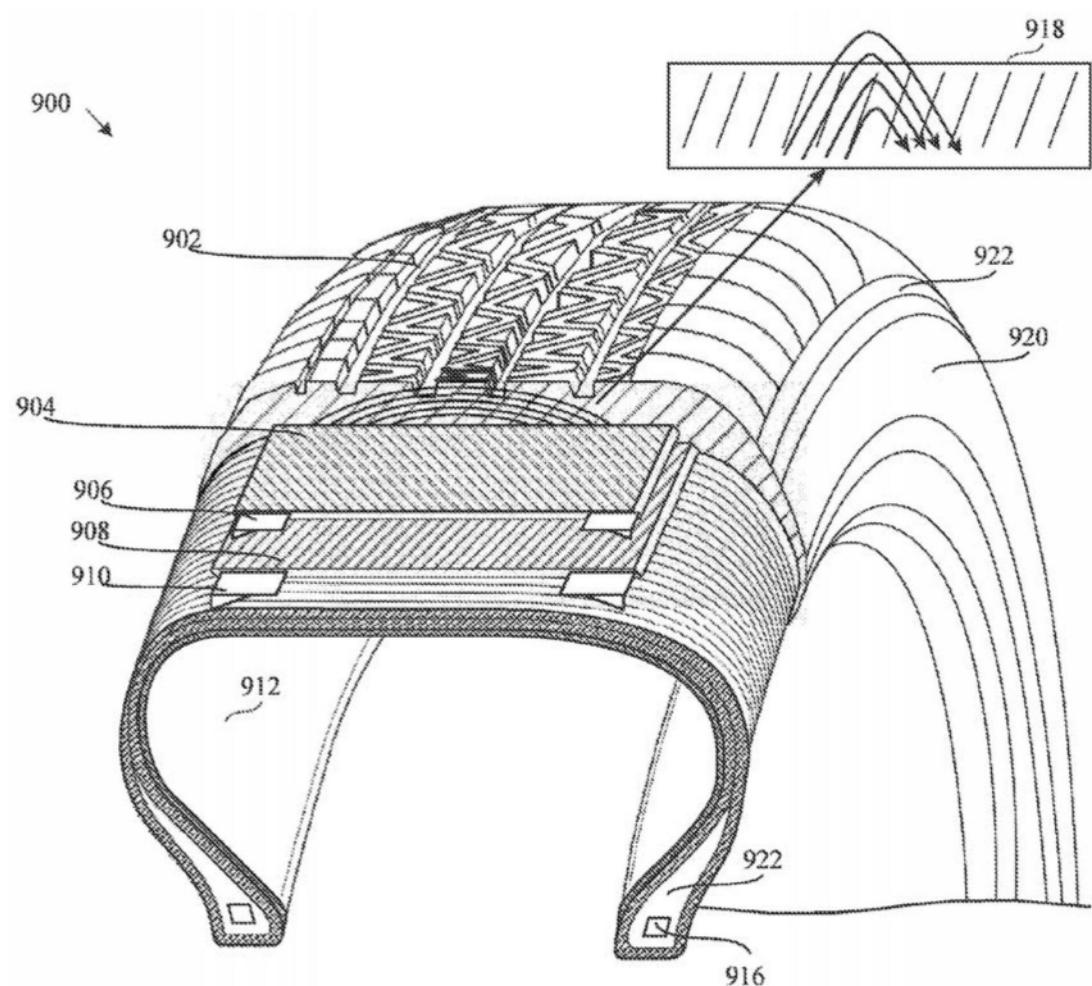


图9

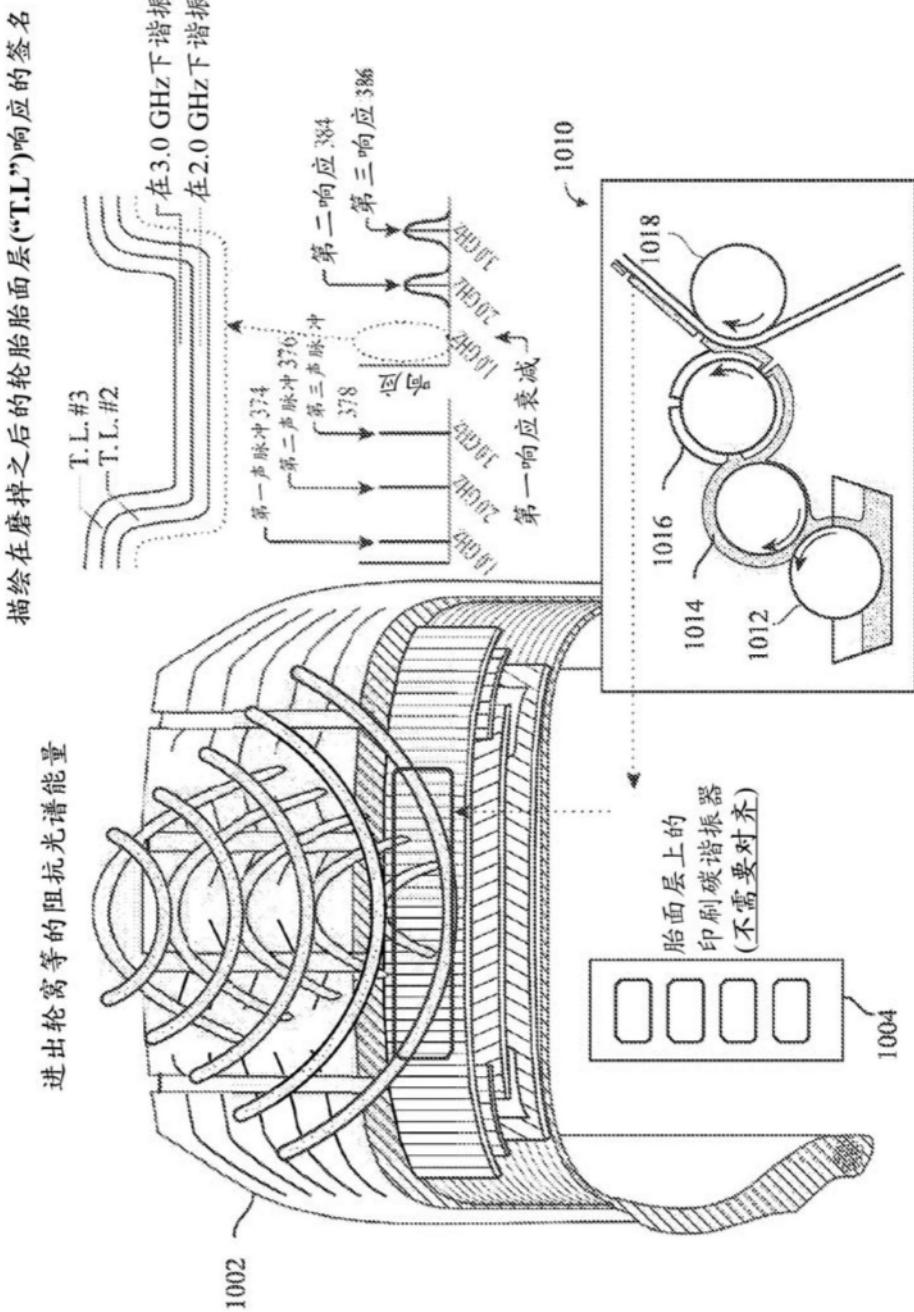


图10

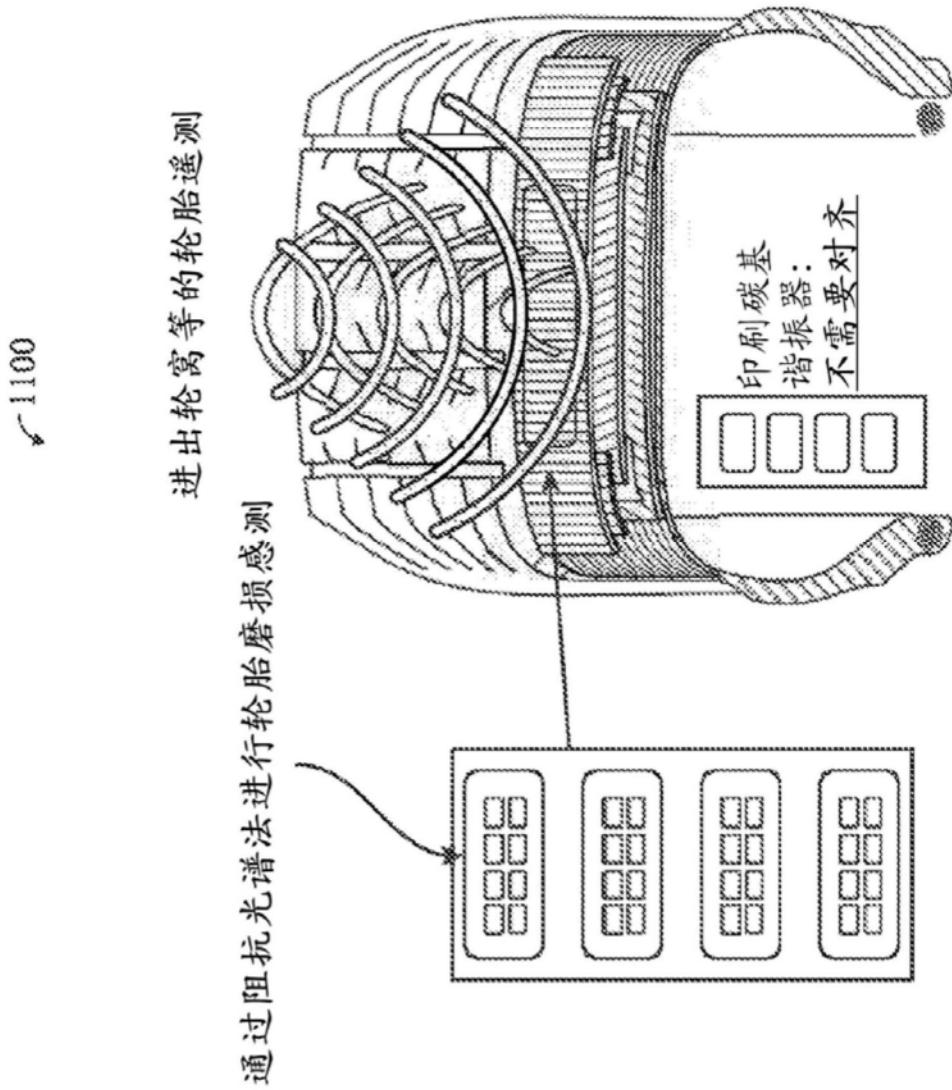


图11

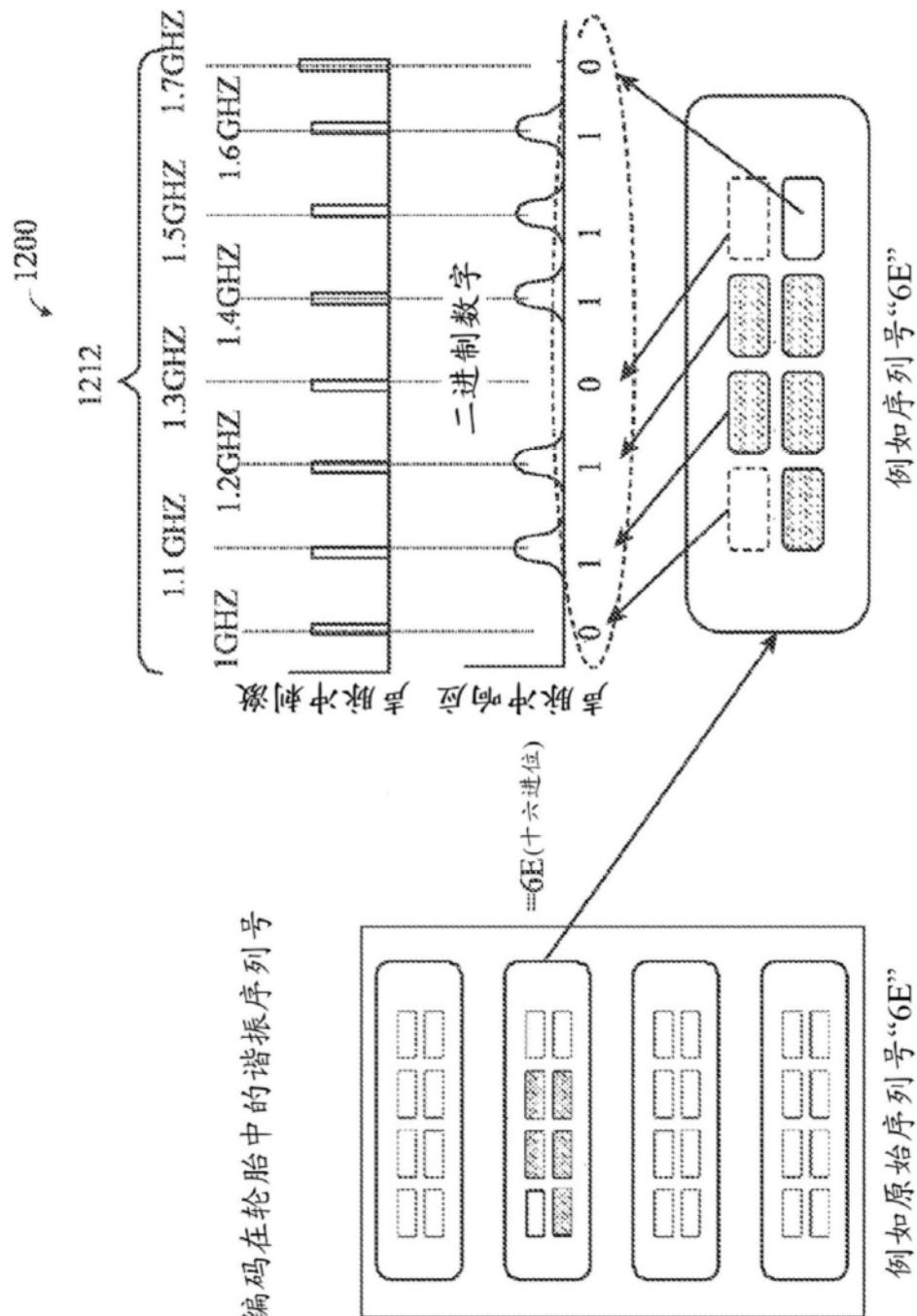


图12

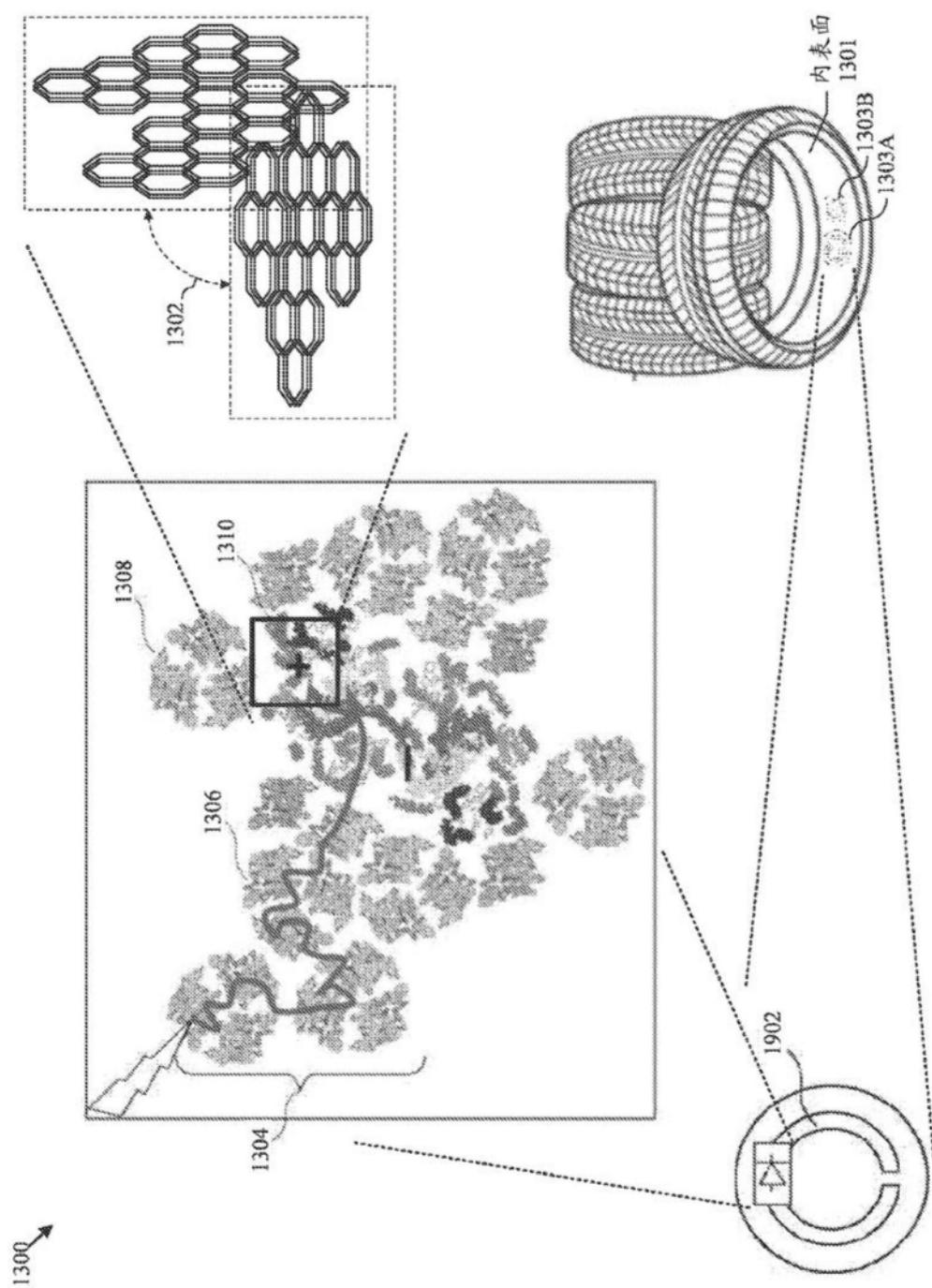


图13

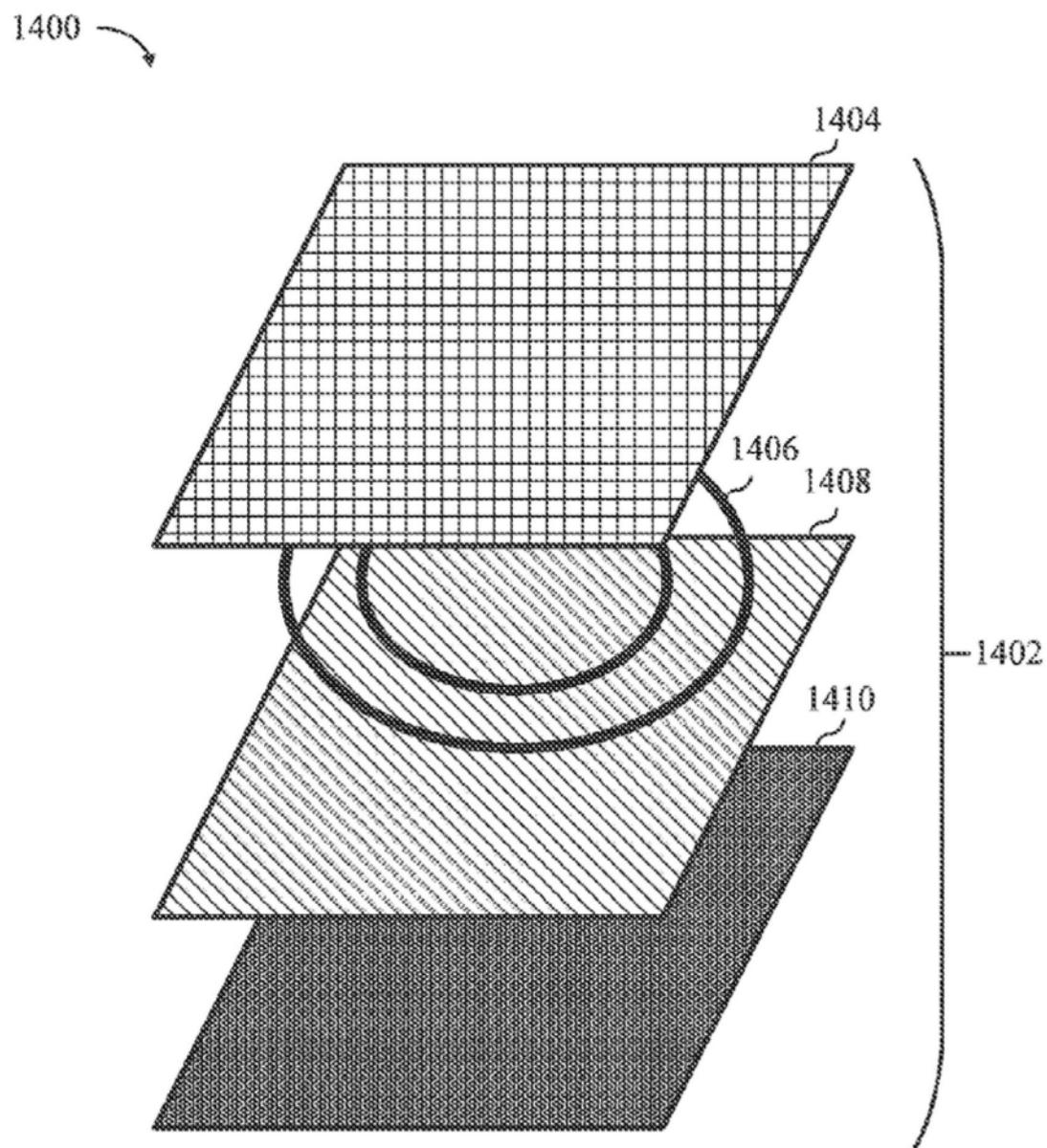


图14

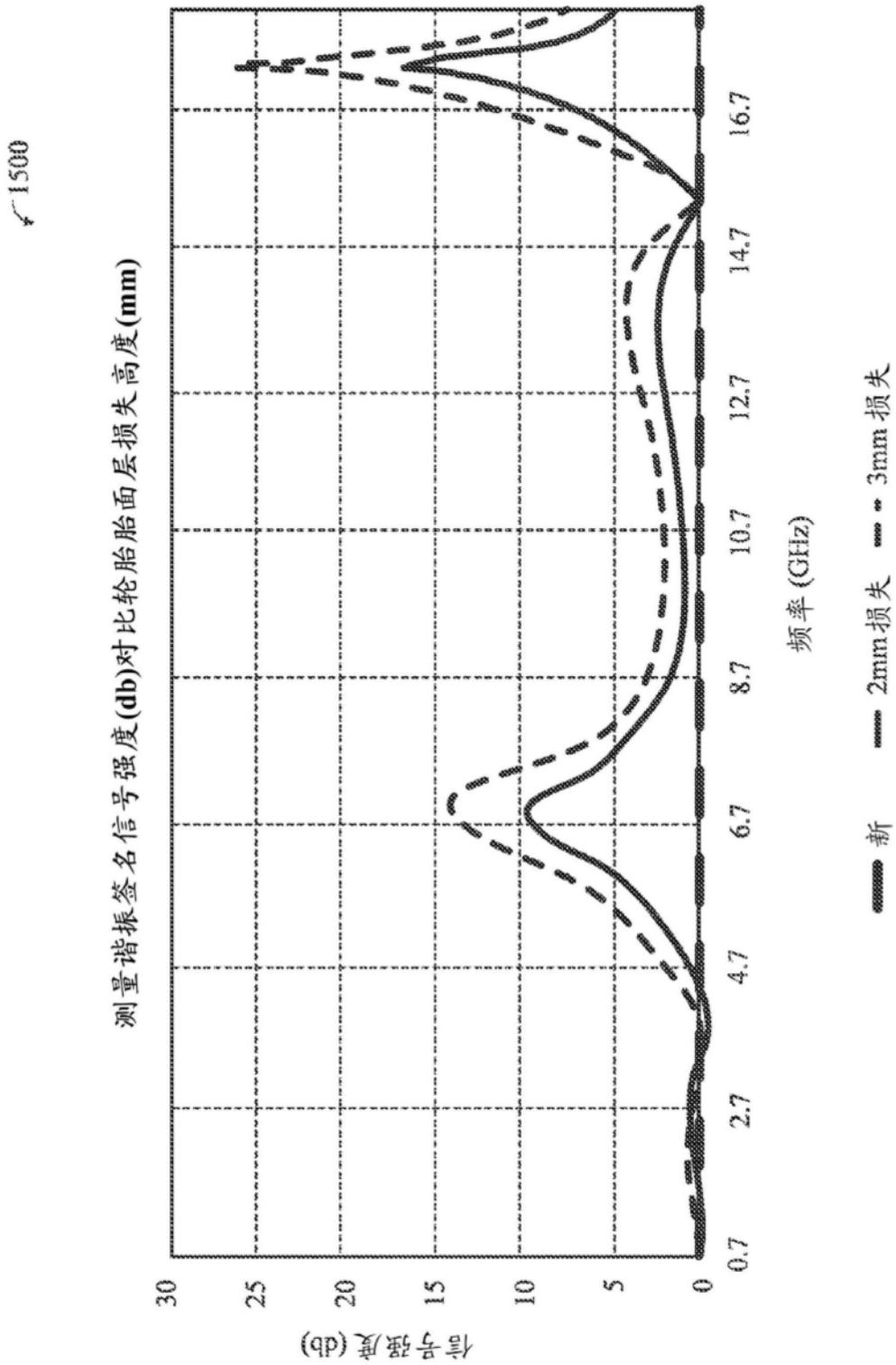


图15

✓ 1600

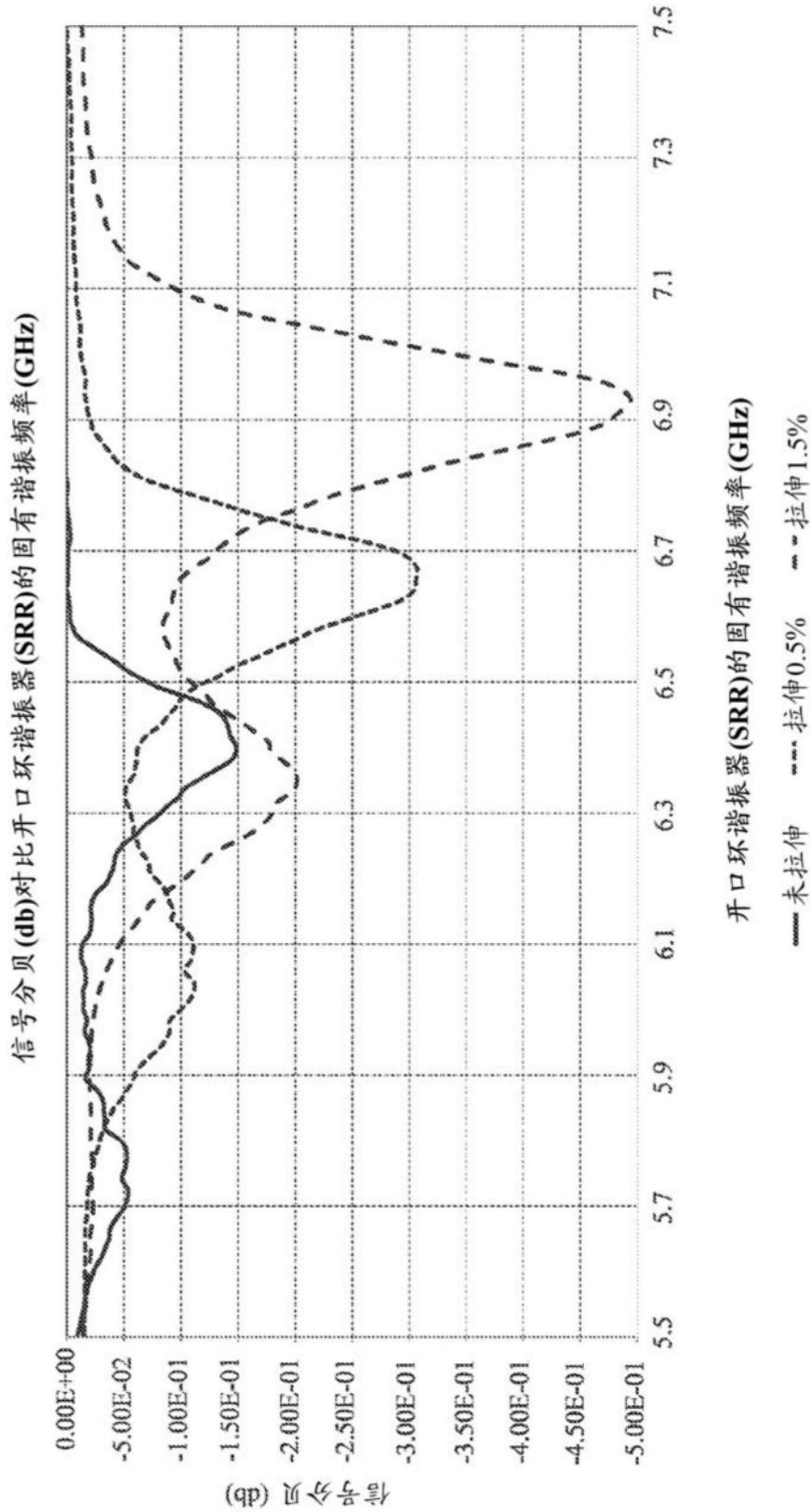


图16

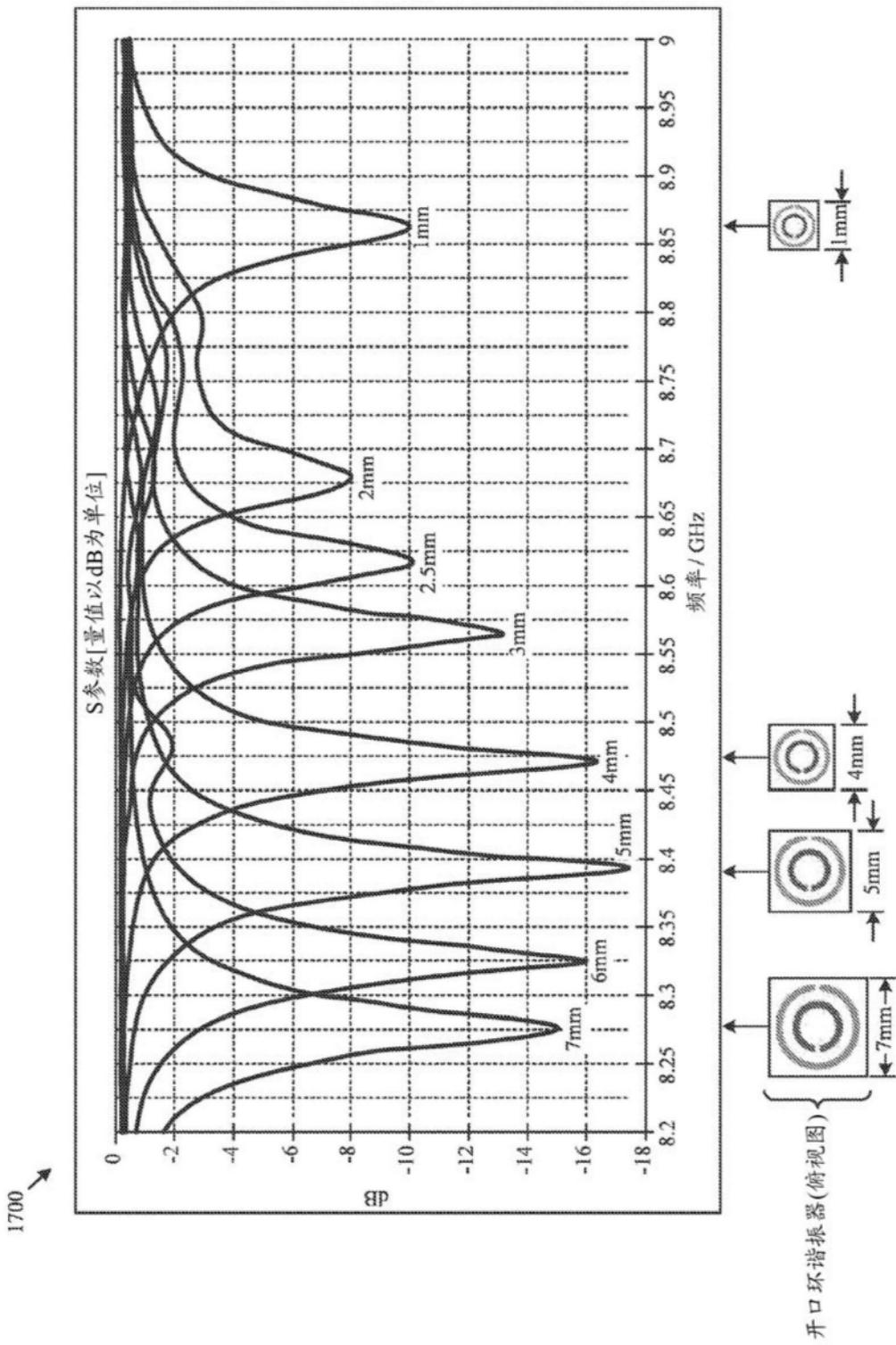


图17

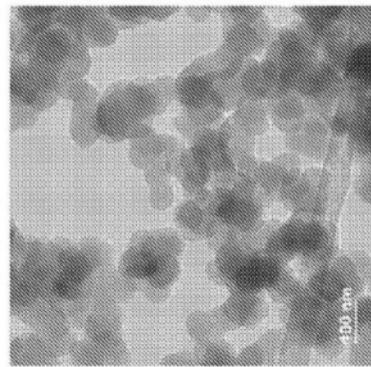


图18A

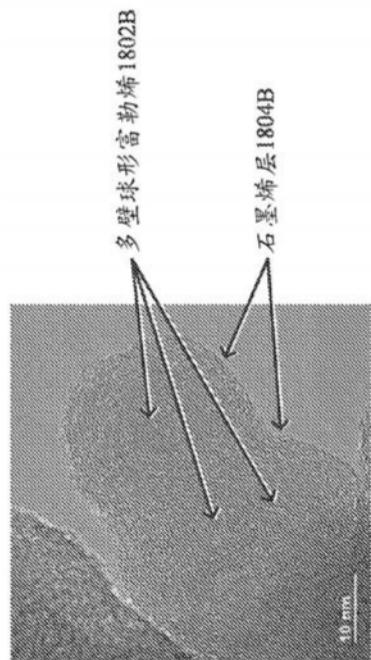


图18B

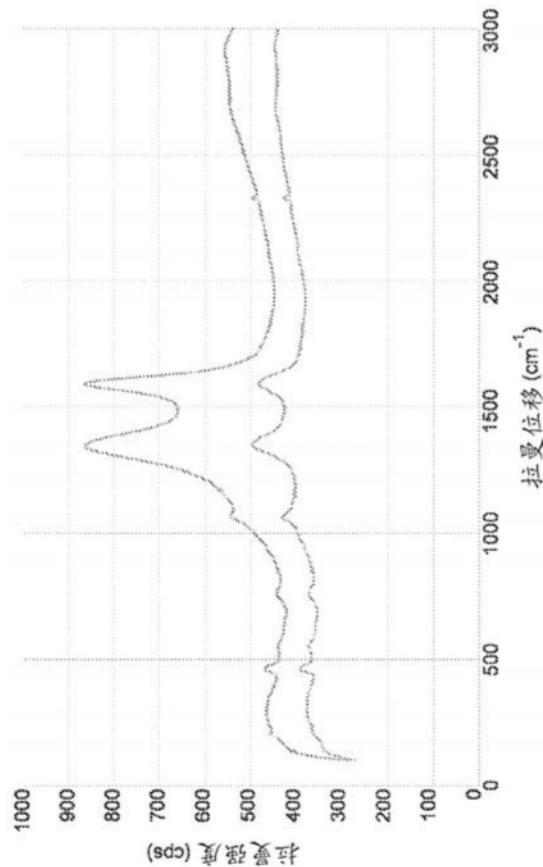


图18C

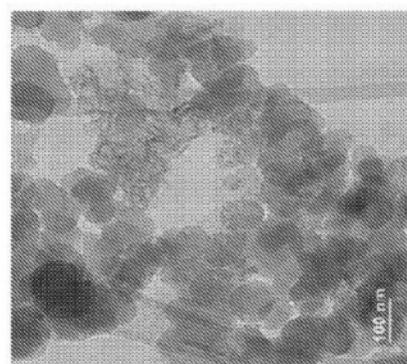


图18D

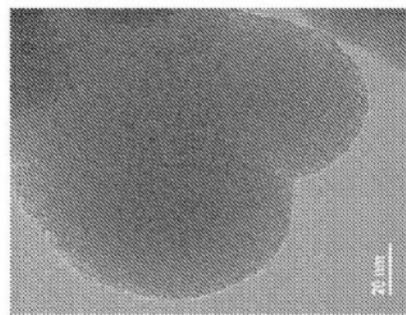


图18E

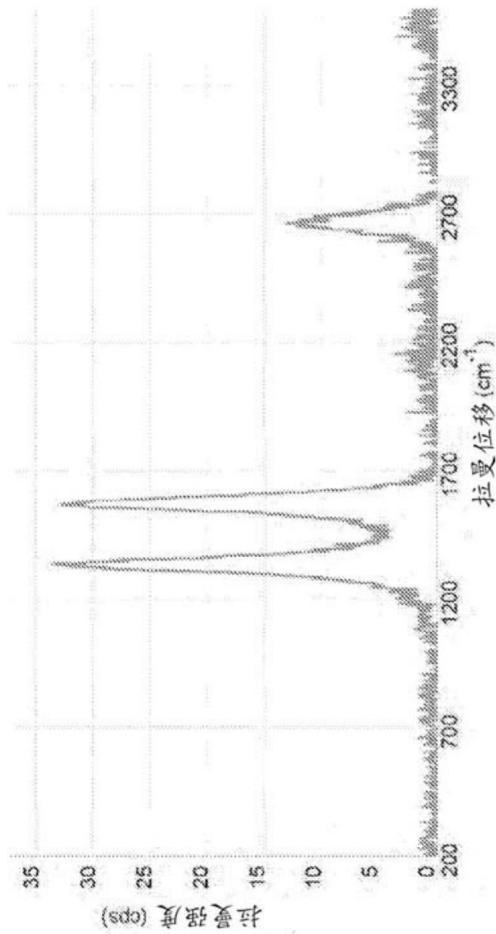


图18F

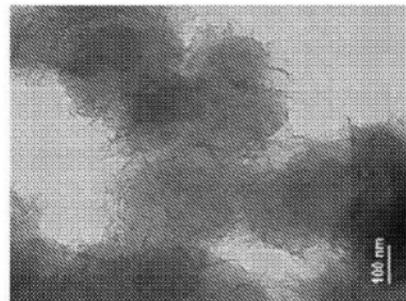


图18G

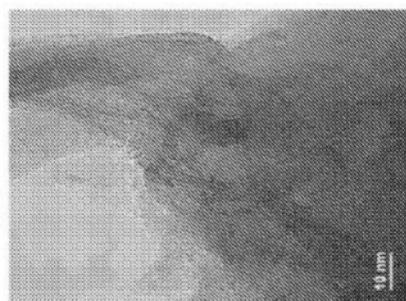


图18H

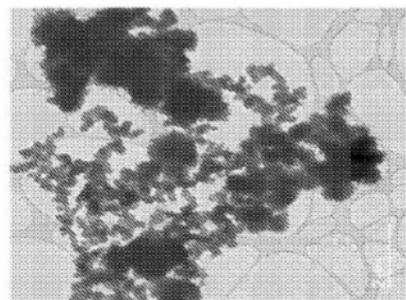


图18I

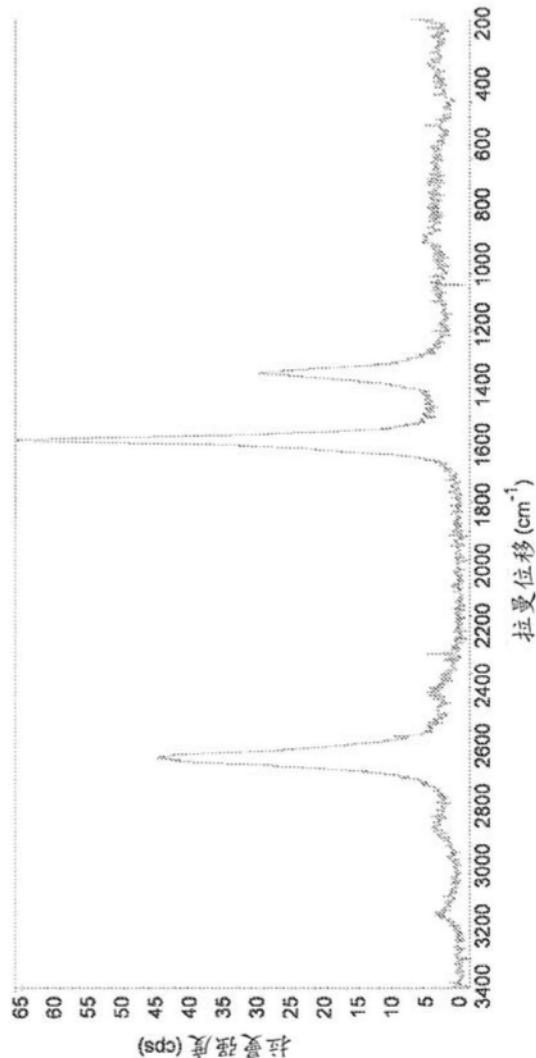


图18J

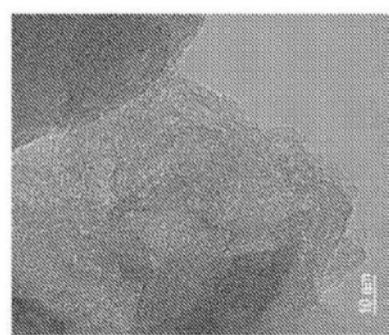


图18K

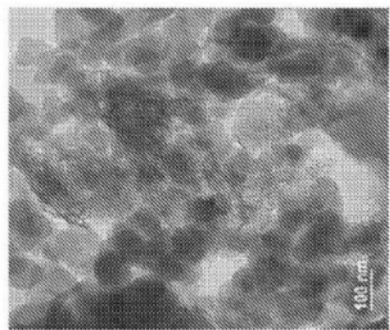


图18L

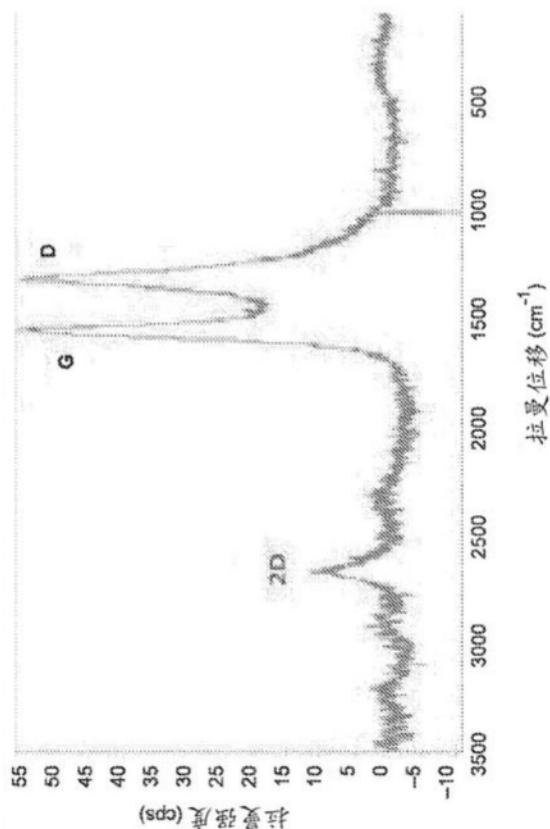


图18M

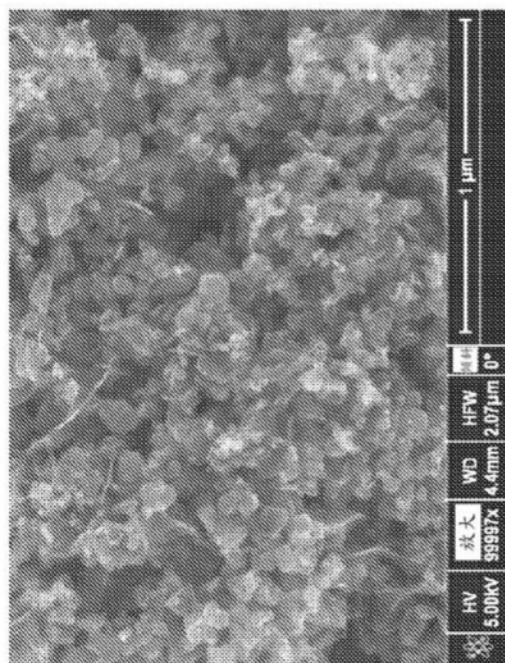


图18N

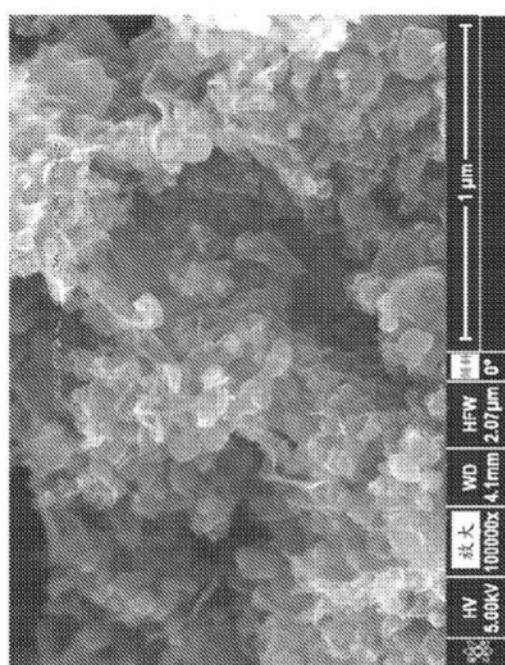


图18O

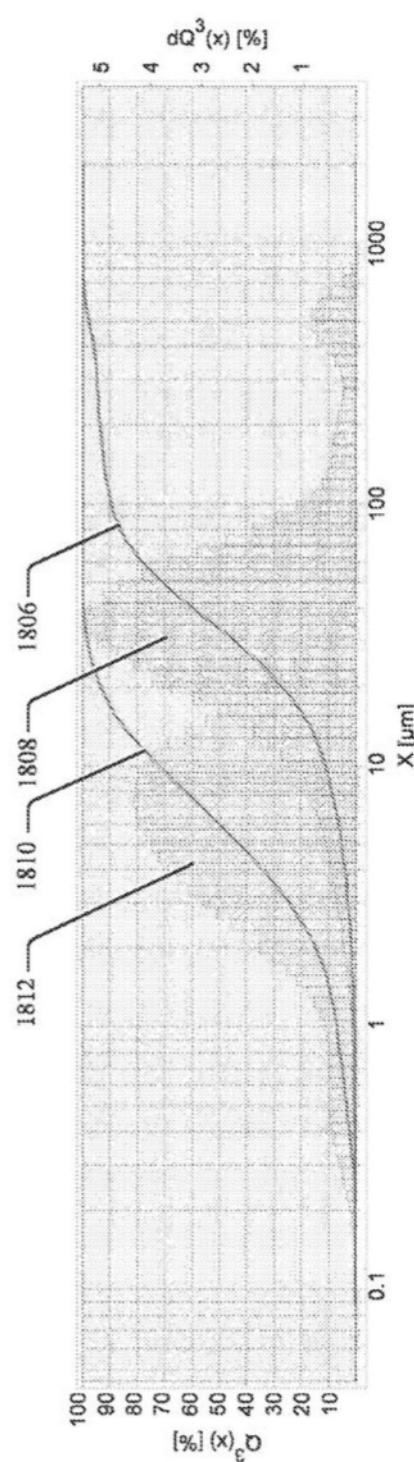


图18P

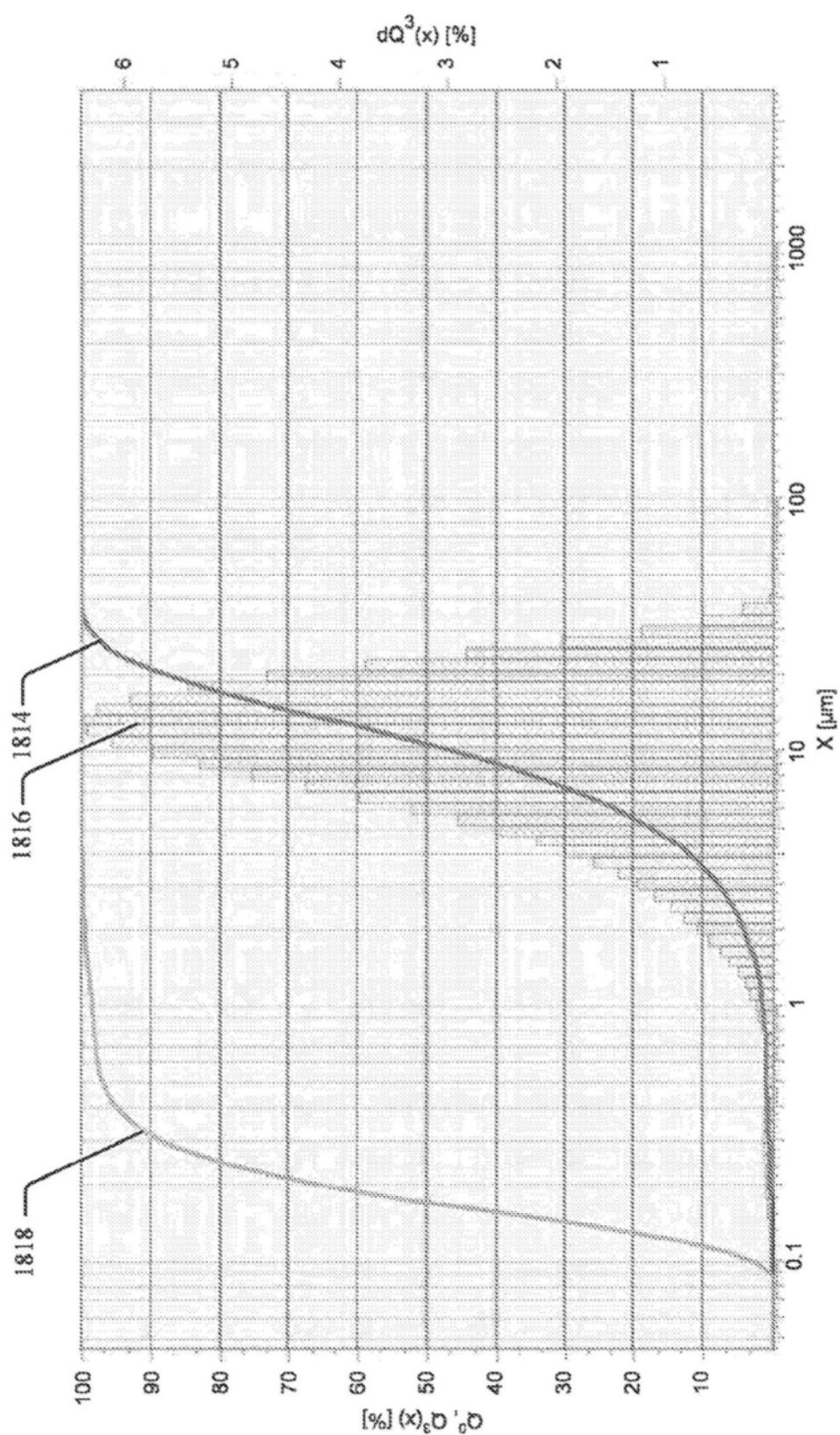


图18Q

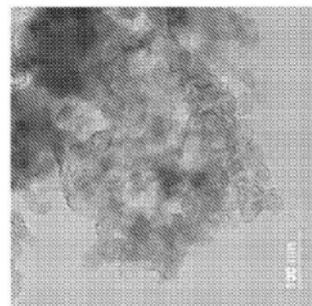


图18R

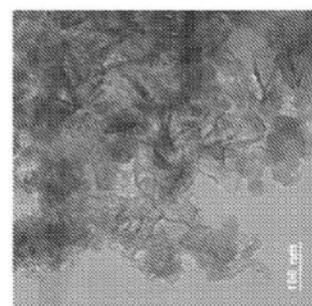


图18S

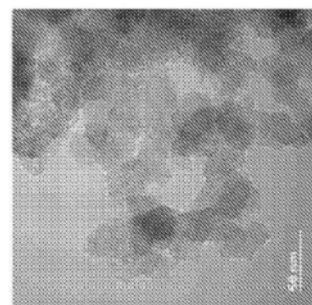


图18T

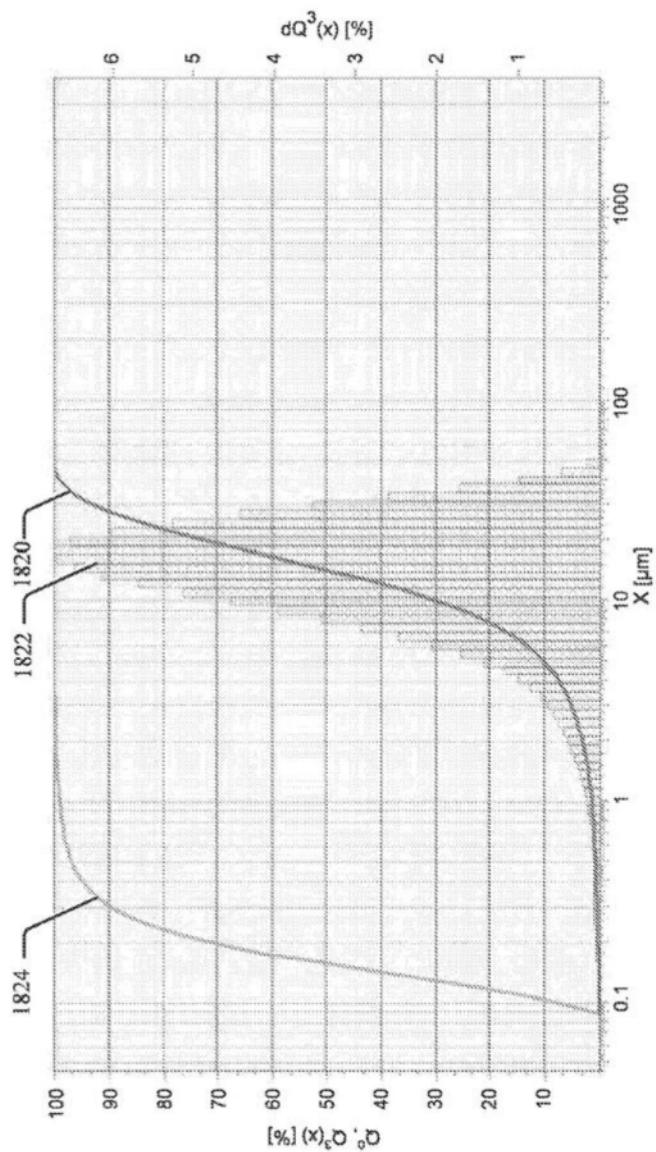


图18U

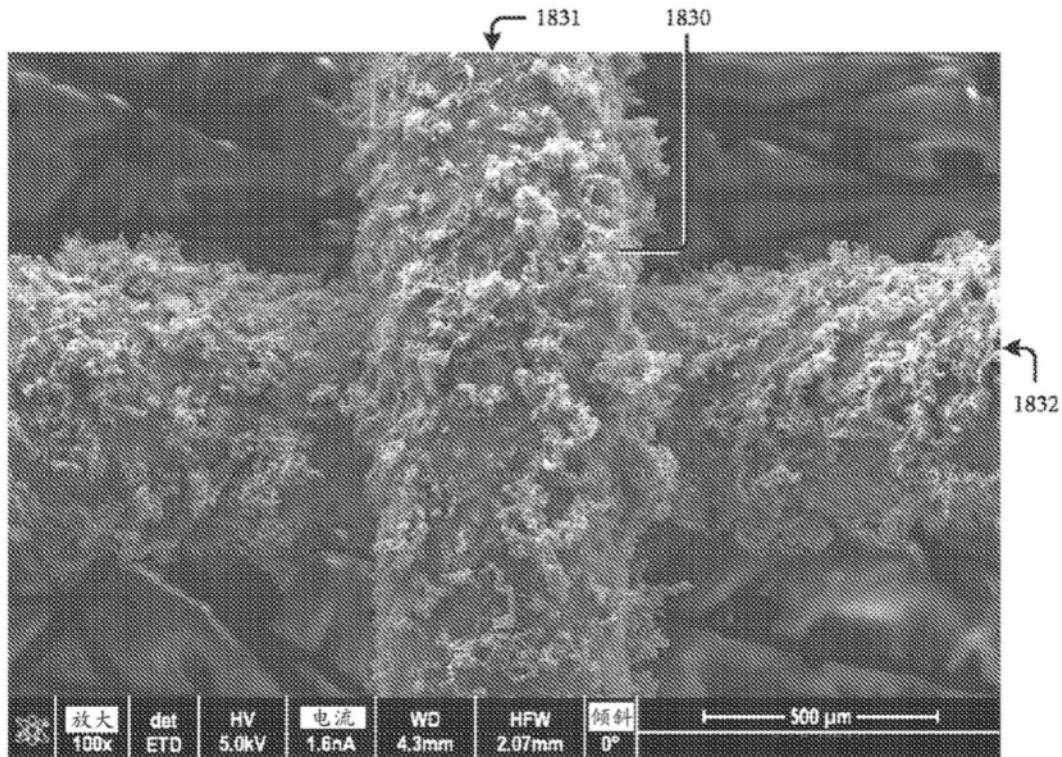


图18V

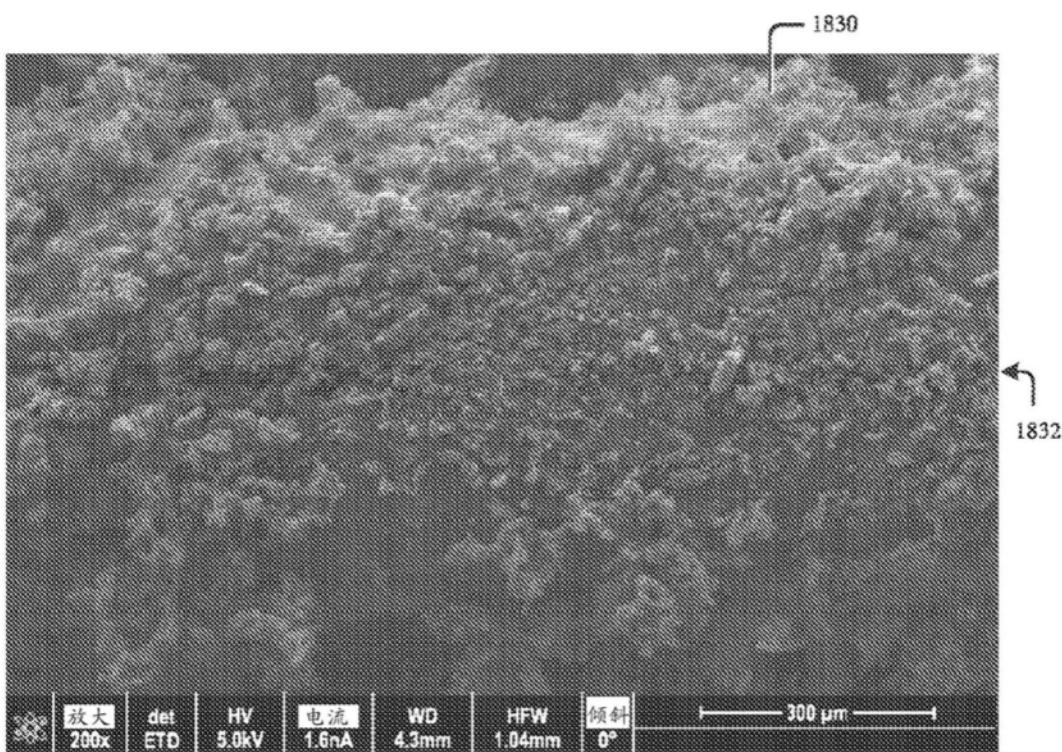


图18W

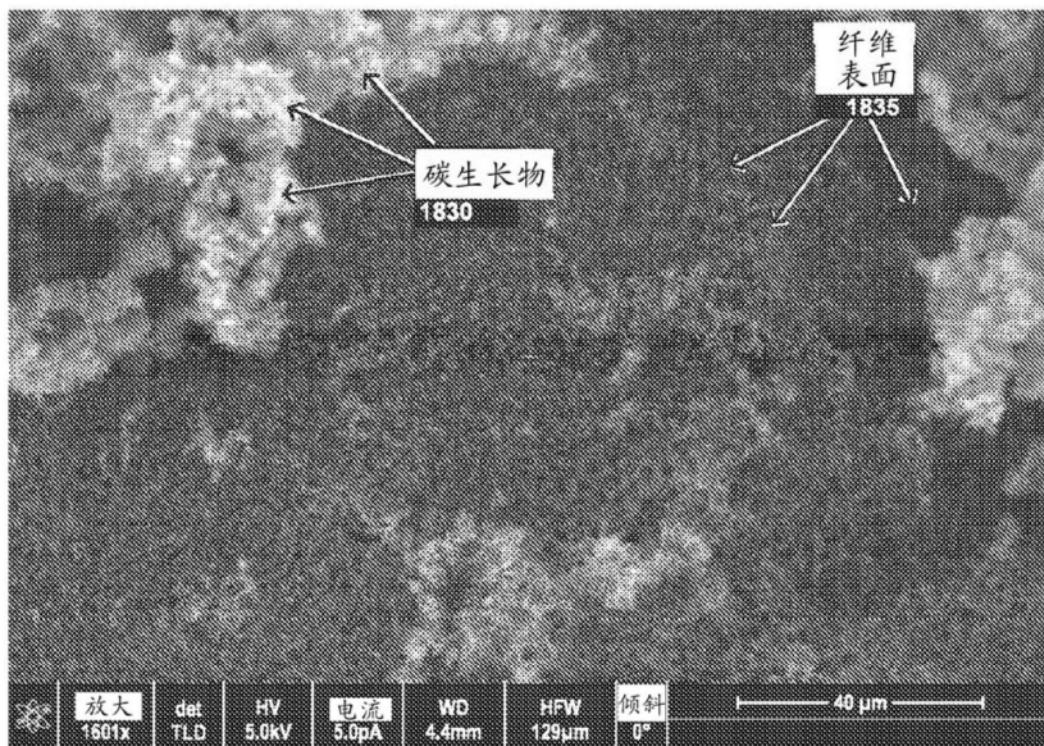


图18X

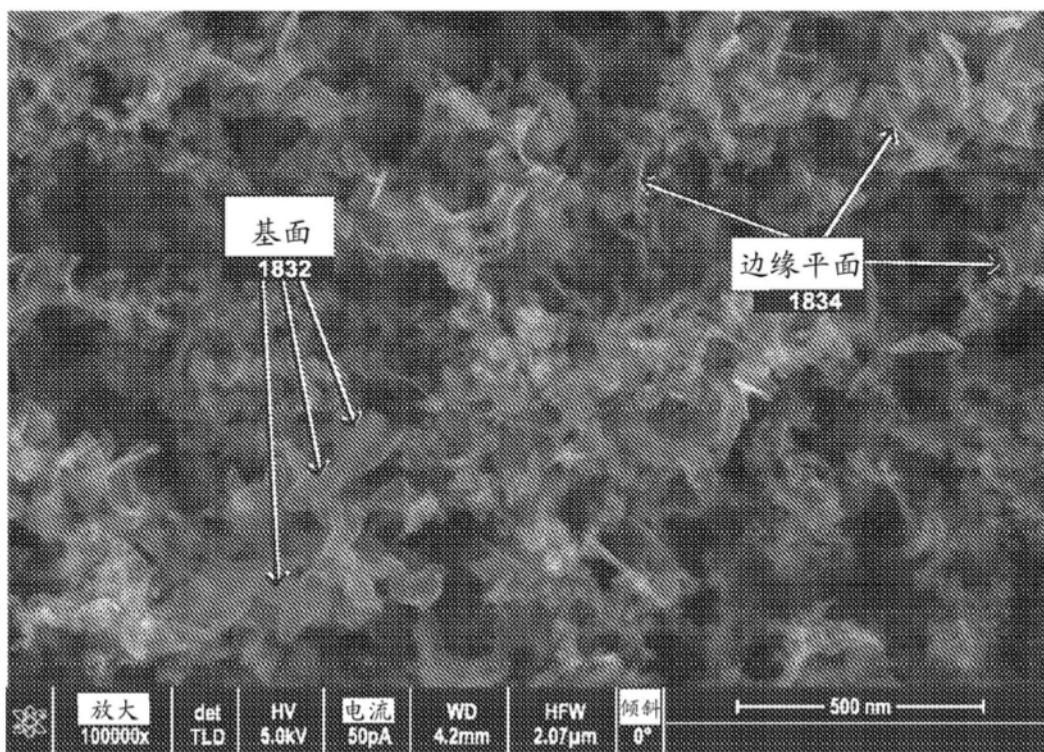


图18Y