



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113227739 B

(45) 授权公告日 2024. 03. 08

(21) 申请号 201980083635.3

斯特凡·贝尔利

(22) 申请日 2019.12.16

(74) 专利代理机构 北京英赛嘉华知识产权代理
有限责任公司 11204

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113227739 A

专利代理师 王达佐 王艳春

(43) 申请公布日 2021.08.06

(51) Int.Cl.

G01L 3/10 (2006.01)

(30) 优先权数据

102018009834.7 2018.12.14 DE

(56) 对比文件

FR 2700846 A1, 1994.07.29

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.06.15

CN 102308117 A, 2012.01.04

CN 108351262 A, 2018.07.31

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2019/085298 2019.12.16

Kathrin Krüger. High-frequency

magnetoelastic measurements on Fe-Co-Hf-
N/Ti-N multilayer coatings.《Journal of
Magnetism and Magnetic Materials》.2013,第
343卷(第31期),第42-48页.

(87) PCT国际申请的公布数据

W02020/120795 DE 2020.06.18

审查员 李文娟

(73) 专利权人 卡尔斯鲁厄技术研究所
地址 德国卡尔斯鲁厄

(72) 发明人 克劳斯·西曼 哈拉尔德·莱斯特

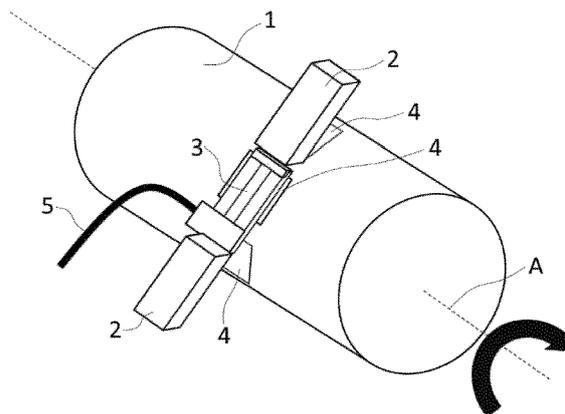
权利要求书3页 说明书19页 附图18页

(54) 发明名称

用于确定扭矩传递装置的扭矩的传感器设备和方法

(57) 摘要

本发明涉及一种传感器设备,包括:至少一个铁磁元件,在操作状态下可布置在扭矩传递装置上;以及测量装置,具有至少一个测量元件。每个测量元件均配置为测量至少一个铁磁元件的铁磁谐振频率。测量装置配置为基于测量的铁磁谐振频率的偏移确定扭矩传递装置的扭矩。本发明还涉及一种用于确定扭矩传递装置的扭矩的方法。



1. 一种传感器设备,包括:

至少一个铁磁元件(4),在操作状态下能够布置在扭矩传递装置(1)上,并且具有至少一个铁磁层(4A);以及

测量装置,包括至少一个测量元件(3),其中,每个测量元件(3)均配置为测量所述至少一个铁磁元件(4)的铁磁谐振频率,

其中,所述测量装置配置为基于所测量的铁磁谐振频率的偏移,确定所述扭矩传递装置(1)的扭矩。

2. 根据权利要求1所述的传感器设备,其中,所述至少一个铁磁元件(4)至少具有第一铁磁层(41)和第二铁磁层(42),以及

其中,所述至少一个铁磁元件(4)具有至少一个绝缘非导电的分隔层(40T),所述分隔层(40T)布置在所述第一铁磁层(41)与所述第二铁磁层(42)之间,并且配置成使所述第一铁磁层(41)和所述第二铁磁层(42)彼此脱离磁联接。

3. 根据权利要求1或2所述的传感器设备,其中,所述至少一个铁磁层(4A)中的每个的厚度分别为至多500 μm ;和/或

其中,相应的至少一个铁磁层(4A)的厚度和/或所述至少一个铁磁元件(4)的厚度恒定。

4. 根据权利要求1至2中任一项所述的传感器设备,其中,所述至少一个铁磁元件(4)具有在所述操作状态下布置在所述至少一个铁磁层(4A)与所述扭矩传递装置(1)之间的至少一个中间层(4B),

其中,所述至少一个中间层(4B)配置为在所述操作状态下使所述至少一个铁磁层(4A)和所述扭矩传递装置(1)脱离磁联接,以及,

其中,所述至少一个中间层(4B)的厚度为至多500 μm 。

5. 根据权利要求1至2中任一项所述的传感器设备,其中,所述至少一个铁磁元件(4)具有至少一个基板(4C),所述至少一个基板(4C)在所述操作状态下布置在所述至少一个铁磁层(4A)与所述扭矩传递装置(1)之间。

6. 根据权利要求1至2中任一项所述的传感器设备,其中,所述至少一个铁磁元件(4)能够在所述操作状态下通过胶粘、焊接、压制、化学反应和/或门锁连接至所述扭矩传递装置(1),以便将由来自所述扭矩传递装置(1)的扭矩引起的机械张力传递至所述至少一个铁磁元件(4),以及,

其中,所述测量装置配置为基于所测量的铁磁谐振频率的偏移,确定所述扭矩传递装置(1)的扭矩,其中,考虑由所述扭矩传递装置(1)和所述至少一个铁磁元件(4)的连接导致的机械张力的不完全传递,以及,其中,所述测量装置配置为在校准步骤中确定由所述扭矩传递装置(1)和所述至少一个铁磁元件(4)的连接导致的所述机械张力的不完全传递。

7. 根据权利要求1至2中任一项所述的传感器设备,其中,至少一个测量元件(3)配置为通过频率扫描来测量或确定所述至少一个铁磁元件(4)的铁磁谐振频率;和/或

其中,在所述操作状态下,至少一个测量元件(3)与至少一个铁磁元件(4)之间的最小距离的值为至多1500 μm ;和/或

其中,在测量至少一个铁磁元件(4)的铁磁谐振频率期间,所述至少一个测量元件(3)的表面与所述至少一个铁磁元件(4)之间的测量角的值为至少0°;和/或

其中,所述扭矩传递装置(1)设计为轴。

8.根据权利要求1至2中任一项所述的传感器设备,其中,所述至少一个测量元件(3)设计为高频三板带线,以及

其中,所述高频三板带线配置为以限定的方式进行引导的电磁高频波的反射模式进行操作,以及

其中,所述高频三板带线配置为接收或测量所述反射模式中的至少一个反射信号,用于测量所述铁磁谐振频率,其中,所述至少一个反射信号是在固定的测量频率下能够确定的或能够测量的。

9.根据权利要求1至2中任一项所述的传感器设备,其中,所述至少一个测量元件(3)在所述操作状态下沿着测量平面布置,其中,所述测量平面设计成与所述扭矩传递装置(1)的表面相切;或

其中,所述至少一个测量元件(3)在所述操作状态下相对于所述扭矩传递装置(1)的旋转轴线,沿着圆周方向至少部分地围绕所述扭矩传递装置(1)。

10.根据权利要求1至2中任一项所述的传感器设备,其中,所述至少一个铁磁元件(4)设计为至少一个圆周铁磁元件(4),其中,所述至少一个圆周铁磁元件(4)在所述操作状态下相对于所述扭矩传递装置(1)的旋转轴线沿着圆周方向完全围绕所述扭矩传递装置(1);或

其中,所述至少一个铁磁元件(4)设置成至少两个其中,至少两个所述铁磁元件(4)相对于所述扭矩传递装置(1)的旋转轴线沿圆周方向布置在所述扭矩传递装置上,其中:

-至少两个所述铁磁元件(4)中的至少一个设计成为平面的,并且在所述操作状态中定向为平行于所述扭矩传递装置(1)的表面的切向平面;和/或

-至少两个所述铁磁元件(4)中的至少一个设计为部分圆周铁磁元件(4),并且在所述操作状态下,相对于所述扭矩传递装置(1)的旋转轴线沿着圆周方向至少部分地围绕所述扭矩传递装置(1)。

11.根据权利要求1至2中任一项所述的传感器设备,其中,所述至少一个铁磁元件(4)具有磁各向异性,和/或

其中,所述测量装置还包括至少一个磁场元件(2),其中,所述至少一个磁场元件(2)配置成在所述操作状态下产生磁场,以便在所述至少一个铁磁元件(4)中产生或影响磁各向异性。

12.一种用于确定扭矩传递装置(1)的扭矩的方法,包括:

在所述扭矩传递装置(1)上布置至少一个铁磁元件(4),其包括生成至少一个铁磁层(4A);

测量所述至少一个铁磁元件(4)的铁磁谐振频率;以及

基于所测量的铁磁谐振频率的偏移,确定所述扭矩传递装置(1)的扭矩。

13.根据权利要求12所述的方法,其中,布置所述至少一个铁磁元件(4)包括将所述至少一个铁磁元件(4)胶粘、焊接、压制、化学反应和/或门锁至所述扭矩传递装置(1),以及

其中,确定所述扭矩传递装置(1)的扭矩包括:考虑由所述扭矩传递装置(1)和所述至少一个铁磁元件(4)之间的连接导致的机械张力的不完全传递,以及,其中,所述方法还包括:确定由所述扭矩传递装置(1)和所述至少一个铁磁元件(4)之间的连接导致的所述机械

张力的不完全传递。

14. 根据权利要求12至13中任一项所述的方法,其中,生成所述至少一个铁磁层(4A)还至少包括:

生成第一铁磁层(41),

在所述第一铁磁层(41)上生成第一绝缘非导电分隔层(40T),以及

在所述第一绝缘非导电分隔层(40T)上生成第二铁磁层(42)。

15. 根据权利要求14所述的方法,其中,所述方法还包括:

生成基板(4C);

在所述基板(4C)上生成中间层(4B),

其中,在所述中间层(4B)上生成所述至少一个铁磁层(4A)所述中间层(4B)配置为在操作状态下使所述至少一个铁磁层(4A)和所述扭矩传递装置(1)脱离磁性联接。

16. 根据权利要求12至13中任一项所述的方法,其中,所述方法还包括:

在外部静态磁场中对所述至少一个铁磁元件(4)进行退火,以产生所述至少一个铁磁元件(4)的磁各向异性。

用于确定扭矩传递装置的扭矩的传感器设备和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于确定扭矩传递装置的扭矩的传感器设备和方法,特别地,扭矩传递装置是负载轴。

[0002] 本发明来自机械工程领域(例如车辆技术、航空航天技术),特别是来自用于确定扭矩的测量技术领域。特别地,经受交变负载的旋转件的直接电接触不良或不能直接电接触,使得必须实时地进行对该旋转件的转矩进行非接触测量。

背景技术

[0003] Berthold等人(“Non-contact strain measurements based on inverse magnetostriction”,Sensors and Actuators A 158(2010)224-230)描述了一种基于混频方法测量磁致伸缩反应的测量技术。为此,使用具有两个频率的磁场,磁性材料的存在产生测量信号的FFT频谱的新峰值,这对于非线性磁化曲线是特定的。由于磁化曲线可通过机械张力改变,因而峰值的幅度可表现出对材料张力的测量的特性依赖性。Berthold等人(“Non-contact strain measurements based on inverse magnetostriction”,Sensors and Actuators A 158(2010)224-230)的内容在此作为说明书的一部分完整地包括在本文中。

[0004] US 2014/159710A1描述了一种非接触式检测装置,该非接触式检测装置包括第一磁环、第二磁环、第一磁传感器、第二磁传感器和控制器。这两个磁环各自附接至扭转轴的两端。当扭转轴转动时,控制器通过两个磁传感器检测两个磁环的磁场。基于检测到的磁场,控制器同时计算施加至扭转轴的扭转扭矩和扭转轴的旋转角度。US2014/159710A1的内容全文作为说明书的部分包括于本文中。

[0005] W02016/162028A1描述了一种用于利用反磁致伸缩效应非接触式测量在轴线上延伸的机器元件上的力矩的组件和方法。机器元件具有永久磁化,该永久磁化至少设计在机器元件的轴向部分内,并且平行于径向对齐的直线对齐。该永久磁化优选地恰好具有两个磁极,这两个磁极相对于轴线直径彼此相对地布置。该组件还包括至少一个磁场传感器,该磁场传感器设计成至少测量由永久磁化和力矩引起的磁场的轴向分量或由永久磁化和力矩引起的磁场变化的轴向分量。因此,W02016/162028A1的内容全部作为说明书的一部分包括于本文中。

发明内容

[0006] 因此,本发明的一个目的是提供一种传感器设备和方法,该传感器设备和方法用于以效率提高和测量值的可靠性来确定扭矩传递装置的扭矩。

[0007] 该目的通过根据独立权利要求所述的用于确定扭矩传递装置的扭矩的传感器设备和方法来实现。优选实施方式是从属权利要求的主题。

[0008] 一方面涉及一种传感器设备,该传感器设备包括至少一个铁磁元件和测量装置,铁磁元件能够在操作状态下布置在扭矩传递装置上,特别是布置驱动轴上,测量装置包括

至少一个测量元件,特别是至少一个测量头,其中每个测量元件均配置为测量至少一个铁磁元件的铁磁谐振频率,其中测量装置配置为基于所测量的铁磁谐振频率和/或所测量的铁磁谐振频率中的偏移来确定扭矩传递装置的扭矩。

[0009] 在本发明的上下文中,已经特别认识到的是,基于所测量的铁磁谐振频率或所测量的谐振频率的偏移,用于确定所施加的扭矩的特别有效且廉价的方法是可能的,该方法通过所产生的扭转力来改变该至少一个铁磁元件的磁各向异性场。

[0010] 在本说明书的上下文中,将操作状态理解为以下状态:在该状态中,该至少一个铁磁元件布置在扭矩传递装置上,并且其中该至少一个测量元件布置成测量至少一个铁磁元件的铁磁谐振频率。

[0011] 在这里,特别地,该至少一个铁磁元件可包括至少一种铁磁材料,其中该至少一个铁磁元件优选地设计为至少一个软磁铁磁元件。在本文中,软磁铁应当理解为使得该至少一个软磁铁磁元件具有小于1200A/m、优选小于1000A/m和/或大于0A/m、优选大于300A/m的矫顽磁场强度。以这种方式,可最小化基于磁矩的进动阻尼的高频损耗,因而可保证铁磁谐振频率的可靠测量。

[0012] 在这里,特别地,可选择矫顽场强度小于各向异性场强度或磁各向异性场的单轴各向异性场强度的软磁铁磁元件。矫顽场强度可具有一个值,该值优选地最大为各向异性场强度的2/3,更优选地,最大为各向异性场强度的1/3和/或优选地最大为各向异性场强度的至少1/5,更优选地,最大为各向异性场强度的至少1/4。因而,可选择在例如3000A/m的各向异性场强下具有小于1000A/m的矫顽场强度的至少一个软磁铁磁元件。

[0013] 特别地,所述至少一个铁磁元件可设计为至少一个铁磁磁致伸缩元件。在这里,磁致伸缩材料可通过改变其磁化强度而对所施加的机械张力起反应,特别是根据维拉里(Villari)效应。

[0014] 另外,特别地,可将至少一个永磁体和/或至少一个电磁体集成到所述至少一个铁磁元件中。另外,特别地,可将至少一个永磁体和/或至少一个电磁体集成到扭矩传递装置中。特别地,通过将至少一个永磁体集成到扭矩传递装置中,可避免扭矩传递装置中的电源装置。以这种方式,可稳定该至少一个铁磁元件的各向异性性和/或可改变测量装置的测量频率。

[0015] 这里,所述至少一个铁磁元件还可布置在扭矩传递装置上,使得避免所述扭矩传递装置的不平衡。换言之,所述至少一个铁磁元件可布置在所述扭矩传递装置上,使得在所述至少一个铁磁元件布置在所述扭矩传递装置上之前,扭矩传递装置的旋转轴线基本上对应于在所述至少一个铁磁元件布置在所述扭矩传递装置上之后的扭矩传递装置的旋转轴线。另外,所述至少一个铁磁元件可相对于所述扭矩传递装置的旋转轴线至少部分地基本上轴向对称地布置。这使得扭矩传递装置的旋转轴线能够处于稳定位置。

[0016] 该测量装置包括至少一个测量元件,每个测量元件均配置为测量至少一个铁磁元件的铁磁谐振频率,该测量装置配置为基于所测量的铁磁谐振频率的偏移来确定扭矩传递装置的扭矩。这里,测量装置和/或至少一个测量元件可配置成例如执行基于带状线的铁磁谐振(FMR)测量技术和/或矢量网络分析器(VNA) FMR测量技术和/或脉冲感应微波磁力计(PIMM) FMR测量技术。

[0017] 这里,使用正方形铁磁元件作为示例来解释关于基于所测量的铁磁谐振频率的偏

移来确定扭矩传递装置的扭矩的理论背景,所述正方形铁磁元件布置在示例性圆柱形轴上。为此,特别参考图8,图8示例性地示出了下面使用的变量。方形铁磁元件具有边长a。轴绕其轴线旋转角度 Φ 引起轴变形,由此方形铁磁元件由剪切角 γ 剪切。由此,方形铁磁元件的第一对角线 d_1 被拉伸,而第二对角线 d_2 被压缩:

$$[0018] \quad d_1 = a \sqrt{1 + \frac{1}{\cos^2(\gamma)} + 2 \tan(\gamma)} \quad (1)$$

$$[0019] \quad d_2 = a \sqrt{1 + \frac{1}{\cos^2(\gamma)} - 2 \tan(\gamma)} \quad (2)$$

[0020] 这导致相应的变形:

$$[0021] \quad \varepsilon_1 = \frac{d_1 - a\sqrt{2}}{a\sqrt{2}} = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2\cos^2(\gamma)} + \tan(\gamma)} - 1 \quad (3)$$

$$[0022] \quad \varepsilon_2 = \frac{d_2 - a\sqrt{2}}{a\sqrt{2}} = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2\cos^2(\gamma)} - \tan(\gamma)} - 1 \quad (4)$$

[0023] 另外,可基于角度 Φ 、轴的半径r和轴的长度L来确定剪切角 γ :

$$[0024] \quad \gamma = \frac{r}{L} \varphi \quad (5)$$

[0025] 角度 Φ 由扭矩 M_t 、轴的长度L、剪切模量G和惯性矩J得到:

$$[0026] \quad \varphi = \frac{M_t L}{GJ} \quad (6)$$

[0027] 在这里,惯性矩J可由下式表示:

$$[0028] \quad J = \frac{1}{2} \pi r^4 \quad (7)$$

[0029] 将方程(6)和(7)插入方程(5)中,得到剪切角度 γ :

$$[0030] \quad \gamma = \frac{2M_t}{\pi G r^3} \quad (8)$$

[0031] 根据胡克定律和方程(3)、(4)和(8),以下公式得到了沿对角线 d_1 之一的正方形铁磁元件表面上的机械张力 σ :

$$[0032] \quad \sigma = E \varepsilon_i = E r (1 - \nu^2) \varepsilon_i \quad (9)$$

[0033] 用Landau-Lifschitz-Gilbert公式描述了薄膜平面内具有单轴各向异性的铁磁薄膜的动力学,该薄膜暴露于高频场。特别地,这得到了用于铁磁谐振频率的众所周知的基特尔公式:

$$[0034] \quad f_{\tilde{\gamma}} = \frac{\tilde{\gamma}}{2\pi} \sqrt{(\mu_0 H_u)^2 + J_S \mu_0 H_u} \quad (10)$$

[0035] 这里, $\tilde{\gamma}$ 是旋磁常数, μ_0 是磁场常数, J_S 是饱和极化,以及 H_u 是薄膜的平面中的单轴各向异性场的量。

[0036] 当方形铁磁薄膜被加载时,特别是被施加至轴上的扭矩所产生的张力加载时,铁

磁谐振频率变得取决于所述张力。除了薄膜的平面中的单轴各向异性场 \vec{H}_u 之外,还必须考虑由张力产生的有效磁致弹性各向异性场 \vec{H}_{me} :

$$[0037] \quad \vec{H}_{u,eff} = \vec{H}_u + \vec{H}_{me} = \begin{pmatrix} 0 \\ H_u \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{3\lambda_s}{J_s} \sigma \\ -\frac{3\lambda_s}{J_s} \sigma \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{3\lambda_s}{J_s} \sigma \\ H_u - \frac{3\lambda_s}{J_s} \sigma \\ 0 \end{pmatrix} \quad (11)$$

[0038] 这里, $\vec{H}_{u,eff}$ 是膜的平面中的有双轴各向异性场, 以及 λ_s 是饱和磁致伸缩常数。因而, 基于等式(11), 得到:

$$[0039] \quad H_{u,eff} = \sqrt{\left[\frac{3\lambda_s}{J_s} \sigma \right]^2 + \left[H_u - \frac{3\lambda_s}{J_s} \sigma \right]^2} \quad (12)$$

[0040] 现在, 如果在等式(10)中用 $H_{u,eff}$ 代替 H_u , 则获得依赖张力的铁磁谐振频率:

$$[0041] \quad f_g = \frac{\tilde{\gamma}}{2\pi} \sqrt{(\mu_0 H_{u,eff})^2 + J_s \mu_0 H_{u,eff}} \quad (13)$$

[0042] 因而, 可基于铁磁谐振频率的测量或铁磁谐振频率的偏移的测量, 确定施加至轴或扭矩传输装置的扭矩。特别地, 这使得可利用单条信号线实时地确定所施加的扭矩。特别地, 显著的铁磁谐振(FMR), 即具有在FMR的1/5与1/10之间的小半宽 Δf_{FMR} 的谐振峰, 可使得测量信号能够具有更好的分辨率, 并且因而能够具有更有利的信噪比。传感器设备和/或测量设备和/或至少一个测量元件的读出电子器件的测量频率或为工业规定的频率(特别是法定的)限定了将被使用或由传感器设备和/或至少一个铁磁元件单独适配的铁磁谐振频率。因而, 特别地, 传感器设备可作为应用的函数而进行适配。

[0043] 特别地, 在铁磁谐振频率之外的低频 f 下, 至少一种铁磁的初始磁导率或原始磁导率偏移至更高或更低值的偏移可进行测量($\mu^{(f \rightarrow 0)} \approx 1 + \frac{J_s}{\mu_0 \cdot H_u}$)。以这种方式, 特别地, 可使数据采集更有效和/或更灵活。特别地, 同样通过低测量频率($f \rightarrow 0$), 散射参数 S_{11} 也取决于有效的单轴各向异性, 这又是机械张力的函数。结果, 扭矩传递装置的扭矩也可由对初始磁导率(在 $f \rightarrow 0$ 下的磁导率)的测量或对 $f \rightarrow 0$ 的散射参数 S_{11} 的测量来确定。

[0044] 特别地, 所述至少一个测量元件可配置为通过频率扫描来测量或确定所述至少一个铁磁元件的铁磁谐振频率。这里, 特别地, 可在测量频率的频率间隔上确定物理参数的参数分布, 例如散射参数 S_{11} 的参数分布, 测量频率在频率间隔的下阈值与频率间隔的上阈值之间变化。铁磁谐振频率可例如通过散射参数 S_{11} 的参数分布的最小值或通过频率相关的磁导率的虚部(Lorentz曲线形谐振峰值分布)来确定, 其可使用 S_{11} 数据来计算或评估。

[0045] 特别地, 所述至少一个铁磁元件可具有至少一个铁磁层。这里, 铁磁层可平行于扭矩传递装置的表面形成, 特别是在操作状态下。可替换地或另外地, 所述至少一个铁磁层可设计成基本上是平面的。在本说明书的上下文中, 基本上应理解为全面低的制造偏差和环

境相关偏差。

[0046] 特别地,所述至少一个铁磁元件可具有两个或更多个铁磁层,其中,特别地,多个,优选地,所述两个或更多个铁磁层中的每一个均可由与所述两个或更多个铁磁层中的另一个不同的铁磁材料形成。

[0047] 特别地,所述至少一个铁磁元件可具有两个或更多个铁磁层和至少一个绝缘非导电的分隔层,其中所述至少一个绝缘非导电的分隔层中的至少一个布置在两个或更多个铁磁层的两个相邻铁磁层之间。这里,特别地,所述至少一个绝缘非导电的分隔层中的每一个均可配置为使所述两个或更多个铁磁层中的相应的两个相邻铁磁层彼此脱离磁联接,或者防止或减少相应的相邻铁磁层之间的磁相互作用。在这里,所述至少一个绝缘非导电的分隔层可例如由非导电的或不良导电的材料形成,使得所述两个或更多个铁磁层中的相应的两个相邻铁磁层基本上彼此磁分离联接,或者防止或减少相应的相邻铁磁层之间的磁相互作用。

[0048] 特别地,两个或更多个铁磁层可至少具有第一铁磁层和第二铁磁层。特别地,第一铁磁层可至少由第一铁磁材料制成,以及第二铁磁层可至少由第二铁磁材料制成。另外,如上所述,第一铁磁层可通过至少一个绝缘非导电的分隔层与第二铁磁层分离。换言之,所述至少一个铁磁元件可具有布置在所述第一铁磁层和所述第二铁磁层之间的至少一个绝缘非导电的分隔层。特别地,所述至少一种绝缘非导电分隔层可配置成使第一铁磁层和第二铁磁层彼此去磁联接,或者防止或减少这些铁磁层之间的磁相互作用。

[0049] 特别地,由至少第一铁磁材料形成的第一铁磁层和由至少第二铁磁材料形成的第二铁磁层可具有不同的铁磁谐振频率。特别地,所述至少一个测量元件可配置为测量或确定所述两个或更多个铁磁层中的每一个的相应铁磁谐振频率。在这里,特别地,所述至少一个测量元件可配置为测量或确定所述至少一个铁磁元件的所述第一铁磁层的第一铁磁谐振频率和第二铁磁层的第二铁磁谐振频率。例如,当通过所述至少一个测量元件测量所述至少一个铁磁元件的频率相关磁导率时,可观察到两个谐振最大值。

[0050] 特别地,测量装置可配置为基于针对所述两个或更多个铁磁层中的每一个测量的铁磁谐振频率中的至少一个中的偏移,确定扭矩传递装置的扭矩。特别地,测量装置可配置为基于所测量的第一铁磁谐振频率和/或所测量的第二铁磁谐振频率的偏移来确定扭矩传递装置的扭矩。特别地,测量装置可配置为基于相应测量的铁磁谐振频率的偏移,确定对于两个或更多个铁磁层中的每一个的扭矩传递装置的相应扭矩。例如,测量装置可配置为基于所测量的第一铁磁谐振的偏移,确定扭矩传递装置的第一扭矩,以及基于所测量的第二铁磁谐振频率的偏移,确定扭矩传递装置的第二扭矩。测量装置还可配置成基于第一扭矩和第二扭矩的算术平均值来确定扭矩传递装置的扭矩,测量装置不限于这种扭矩确定。特别地,测量装置可使用任何算法来基于针对两个或更多个铁磁层中的每一个测量的铁磁谐振频率中的至少一个的偏移来确定扭矩。例如,可为两个或更多个铁磁层中的每一个确定分别确定的转矩的算术平均值或加权平均值。可替代地或另外地,测量装置可配置成基于针对两个或更多个铁磁层中的每一个所测量的铁磁谐振频率的至少子集中的移位,来应用于确定扭矩的任何算法。

[0051] 特别地,所述至少一个铁磁元件可至少具有第一铁磁层、第二铁磁层和第三铁磁层、以及至少两个绝缘非导电的分隔层。在这里,特别地,可在第一铁磁层与第二铁磁层之

间布置至少两个绝缘非导电的分隔层中的第一分隔层。另外,特别地,可在第二铁磁层与第三铁磁层之间设置至少两个绝缘非导电的分隔层中的第二分隔层。第二铁磁层优选布置在第一铁磁层与第三铁磁层之间。

[0052] 特别地,第一铁磁层可由第一铁磁材料形成,第二铁磁层可由第二铁磁材料形成,第三铁磁层可由第三铁磁材料形成,其中第一铁磁层、第二铁磁层和第三铁磁层具有不同的铁磁谐振频率。特别地,第一铁磁层具有第一铁磁谐振频率,第二铁磁层具有第二铁磁谐振频率,以及第三铁磁层具有第三铁磁谐振频率。

[0053] 特别地,第三铁磁层也可设计为多层。该多层可包括例如由第一铁磁材料制成的至少第一子层和由第二铁磁材料制成的至少第二子层,这些子层彼此直接施加或布置在另一个之上。优选地,在第一子层与第二子层之间,不布置另外的绝缘非导电的分隔层,由此第一子层和第二子层彼此不脱离磁联接,或者第一子层与第二子层之间的磁相互作用是可能的。结果,该多层具有第三铁磁谐振频率,特别地,第三铁磁谐振频率在第一铁磁层的第一铁磁谐振频率与第二铁磁层的第二铁磁谐振频率之间。然而,在这里,该多层不限于两个子层,而特别地可具有两个或更多个子层。

[0054] 然而,在这里,本公开不限于第三铁磁层设计为多层的事实。相反,该至少一个铁磁层中的每一个均可设计为多层,并且包括由不同铁磁材料制成的至少两个子层。

[0055] 特别地,所述至少一个测量元件可配置为测量或确定所述第一铁磁层的第一铁磁谐振频率、第二铁磁层的第二铁磁谐振频率、以及所述至少一个铁磁元件中的第三铁磁层的第三铁磁谐振频率。

[0056] 特别地,测量装置可配置为基于所测量的第一铁磁谐振频率和/或所测量的第二铁磁谐振频率和/或所测量的第三铁磁谐振频率的偏移,确定扭矩传递装置的扭矩频率。例如,测量装置可配置为基于所测量的第一铁磁谐振频率的偏移来确定扭矩传递装置的第一扭矩,基于所测量的第二铁磁谐振频率的偏移来确定扭矩传递装置的第二扭矩,以及基于所测量的第三铁磁谐振频率的偏移,确定扭矩传递装置的第三扭矩。测量装置还可配置成基于例如第一扭矩、第二扭矩和第三扭矩的算术平均值来确定扭矩传递装置的扭矩,然而,并不限于这种扭矩确定。

[0057] 使用具有多于一个铁磁谐振频率的至少一个铁磁元件的优点在于实时地同时测量铁磁谐振频率。特别地,通过同时测量几个铁磁谐振频率,可获得增加的测量效果,从而获得更好的分辨率。另外,可由此实现对可能的温度影响的改进补偿,例如在温暖油浴中的变速箱的情况下。另外,还可以以改进的方式检测影响扭矩测量的扭矩传递装置中的轴向力。

[0058] 特别地,该至少一个铁磁层中的每一个都可具有至多约500 μm 、优选至多约1 μm 和/或至少约50nm、优选至少约150nm的厚度。这里必须考虑到的是,特别地,取决于相应的至少一个铁磁层的材料,相应的至少一个铁磁层的较大厚度值或相应的至少一个铁磁层的较大体积可产生较强的测量信号,并提高信噪比。因而,相应的至少一个铁磁层的厚度可根据例如传感器设备的应用的效率、测量单元的测量精度和/或扭矩传递装置的磁性能和/或扭矩传递装置的环境来选择。然而,不应将这些各种参数的列表解释为限制性的。

[0059] 特别地,相应的至少一个铁磁层的厚度和/或所述至少一个铁磁元件的厚度可为基本上恒定的。这种恒定的厚度可保证可靠和可再现的测量结果。

[0060] 特别地,所述至少一个铁磁元件可具有至少一个缓冲层或至少一个中间层,该至少一个缓冲层或至少一个中间层在操作状态下布置在所述至少一个铁磁层与所述扭矩传递装置之间。在这里,所述至少一个中间层配置成在操作状态下使所述至少一个铁磁层和扭矩传递装置脱离磁联接。特别地,所述至少一个中间层可由非导电或导电性差的材料形成。这里必须考虑的是,在操作状态下,该至少一个铁磁元件的磁特性可受到扭矩传递装置的可能的磁特性的影响。例如,由铁磁材料形成的扭矩传递装置可影响和/或改变铁磁特性,特别是例如该至少一个铁磁元件的各向异性。这可能使铁磁谐振频率的测量错误或者使铁磁谐振频率的测量不可能。因而,由于该至少一个中间层,可提高测量装置的测量结果的可靠性、准确性和再现性。

[0061] 特别地,该至少一个中间层的厚度可至多约500 μm ,优选至多约5 μm 和/或至少约200nm,优选至少约750nm。然而,该至少一个中间层的厚度不限于这样的值。相反,该至少一个中间层的厚度例如可适于扭矩传递装置的磁特性。特别地,在扭矩传递装置具有铁磁特性的情况下,例如,如果扭矩传递装置设计为由铁素体钢制成的轴,则如果需要,该至少一个中间层的厚度也可选择为大于500 μm ,以便在操作状态下磁性地使所述至少一个铁磁层和扭矩传递装置脱离联接。可替代地,该至少一个中间层的厚度也可在200nm以下实现。

[0062] 特别地,所述至少一个铁磁元件可具有至少一个基板层或至少一个基板,该至少一个基板层或至少一个基板在操作状态下布置在所述至少一个铁磁层与扭矩传递装置之间。特别地,所述至少一个基板可设计成保护所述至少一个铁磁元件不受损坏,例如不受撕裂。另外,所述至少一个基板可设计成加固所述至少一个铁磁元件与扭矩传递装置之间的连接。为此,例如,可选择所述至少一个基板的材料,使得与扭矩传递装置的简单连接成为可能。因而,通过匹配所述至少一个基板和所述扭矩传递装置的材料,可实现所述至少一个铁磁元件在扭矩传递装置上的牢固配合。

[0063] 可替代地或另外地,该至少一个基板可具有表面结构,例如表面粗糙化和/或表面图案化,以便增加至少一个基板的表面的总面积。在操作状态下,所述至少一个基板的表面的总面积的这种增加能够实现所述至少一个基板与所述至少一个中间层和/或所述至少一个铁磁层在背离所述扭矩传递装置的一侧上的牢固连接。另外,在操作状态下,在面对扭矩传递装置的一侧上的至少一个基板的表面的总面积的这种增加能够实现该至少一个基板与扭矩传递装置的牢固连接。

[0064] 另外,特别地,所述至少一个基板可设计为载体层和/或作为载板。在这里,特别地,所述至少一个基板可设计成保护所述至少一个铁磁元件或所述至少一个铁磁层在其传输期间和/或在所述至少一个铁磁元件在所述扭矩传递装置上的布置过程期间免受损坏和/或变形,或者减少这种损坏和/或变形。所述至少一个基底的厚度可为优选至多约1mm,更优选至多约500 μm 和/或优选至少约1 μm ,更优选至少约10 μm 。

[0065] 所述至少一个中间层和/或所述至少一个基底可特别地配置成传递扭矩传递装置的扭矩和/或机械张力,优选基本上完全地传递至所述至少一个铁磁层。

[0066] 特别地,所述至少一个铁磁元件可通过胶合在操作状态下连接至扭矩传递装置,以便将由扭矩引起的机械张力从扭矩传递装置传递至该至少一个铁磁元件。为此,可使用合适的粘合剂,例如双组分粘合剂。在本文中,合适的粘合剂应理解为适于将所述至少一个铁磁元件、特别是所述至少一个铁磁元件的材料粘合到扭矩传递装置的粘合剂,特别是粘

合到扭矩传递装置的材料。粘合剂优选地设计成基本上不影响或改变所述至少一个铁磁元件的磁特性,特别是所述至少一个铁磁元件的磁各向异性场。

[0067] 特别地,该至少一个铁磁元件可通过焊接或材料连接在操作状态下可连接至扭矩传递装置,以便将扭矩引起的机械张力从扭矩传递装置传递至该至少一个铁磁元件。特别地,焊接可在焊接填充材料或不焊接填充材料的情况下进行。例如,所述至少一个铁磁元件可通过超声波焊接连接至处于操作状态的扭矩传递装置。焊接可优选地在外部静磁场中进行,使得铁磁元件平面中的单轴磁各向异性场可保持不变,或者以受控的方式进行调整或产生。

[0068] 特别地,所述至少一个铁磁元件可通过按压在操作状态下可连接至所述扭矩传递装置,以便将由扭矩引起的机械张力从所述扭矩传递装置传递至所述至少一个铁磁元件。

[0069] 特别地,所述至少一个铁磁元件可通过化学反应连接至处于操作状态的扭矩传递装置,以便将由扭矩引起的机械张力从扭矩传递装置传递至所述至少一个铁磁元件。特别地,所述至少一个铁磁元件可设计成使得在操作状态下布置在所述扭矩传递装置上的所述至少一个铁磁元件的一侧与所述扭矩传递装置发生化学反应,例如通过形成离子键和/或共价键。

[0070] 特别地,所述至少一个铁磁元件可通过闩锁或强制锁定而在操作状态下连接至所述扭矩传递装置,以便将由扭矩引起的机械张力从所述扭矩传递装置传递至所述至少一个铁磁元件。在这里,所述至少一个铁磁元件可具有至少一个闩锁元件,所述至少一个闩锁元件配置成在操作状态下与所述扭矩传递装置的至少一个相应的闭锁元件接合或闩锁。

[0071] 特别地,测量装置可配置为基于所测量的铁磁谐振频率的偏移,确定扭矩传递装置的扭矩,考虑由扭矩引起的机械张力经由扭矩传递装置和至少一个铁磁元件的连接的不完全传递。特别地,扭矩传递装置和至少一个铁磁元件的连接可至少部分地吸收和/或至少部分地偏转机械张力。方程(12)可优选地通过至少两个校正参数来扩展:

$$[0072] \quad H_{u,eff} = \sqrt{\left[\frac{3\lambda_s}{J_s}(\sigma + \alpha)\beta \right]^2 + \left[H_u - \frac{3\lambda_s}{J_s}(\sigma + \alpha)\beta \right]^2} \quad (14)$$

[0073] 参数 α 代表由连接引起的至少一个铁磁元件的预张力,以及参数 β 代表吸收或阻尼因子。在图15中示例性地示出了这种校正。

[0074] 在所述至少一个铁磁元件包括至少一个中间层和/或至少一个基板的情况下,预张力 α 和/或阻尼因子 β 的值可适于考虑通过所述至少一个基板与所述至少一个中间层和/或所述至少一个铁磁层之间、和/或所述至少一个中间层与所述至少一个铁磁层之间的连接的扭矩的不完全传递。

[0075] 测量装置可配置成在至少一个校准步骤中确定或指定机械张力通过扭矩传递装置与至少一个铁磁元件之间的连接的不完全传递校准。特别地,预张力 α 和/或阻尼因子 β 的值可由测量装置规定和/或可基于至少一个校准步骤规定和/或可由用户预先确定。

[0076] 特别地,在操作状态下,至少一个测量元件与至少一个铁磁元件之间的最小距离的值可为至多约1500 μm ,优选至多约500 μm ,进一步优选至多约300 μm ,最优选至多约150 μm 。

[0077] 特别地,在测量至少一个铁磁元件的铁磁谐振频率的过程中,所述至少一个测量元件的表面与所述至少一个铁磁元件之间的测量角的值可至少约0°,优选至少约12°且至

多约 28° ，优选至多约 16° 。在这里，当扭矩施加至扭矩传递装置时，铁磁元件的至少一个区域可更接近测量装置或测量装置的HF测量头（特别是三板带线，如下面进一步描述的），由此在该测量角度范围内，HF场线更容易联接至至少一个铁磁元件中。由于朝向测量头的HF场密度（以及因此吸收的或反射的响应信号）随着测量头和铁磁元件之间的距离并且随着有利的测量角度变小而增加，因此这可优选地引起测量信号的强度增加。这可能引起测量信号强度的增加，特别是在扭矩传递装置上的扭矩测量，所述扭矩传递装置不连续地旋转接近所述扭矩传递装置的旋转轴线。

[0078] 特别地，扭矩传递装置可设计成轴。扭矩传递装置可优选地基本上设计成气缸的形式和/或基本上相对于扭矩传递装置的旋转轴线轴向对称。

[0079] 特别地，所述至少一个测量元件中的至少一个测量元件可设计为高频三板带线，特别地，铁磁谐振频率的测量基于高频三板带线的失谐。优选地，所述至少一个测量元件中的至少一个测量元件可设计为高频三板带线，以及所述至少一个测量元件中的另一个测量元件可设计为不同于所述高频三板带线的测量元件。所述至少一个测量元件可优选地包括至少两个基本上不同的测量元件。特别地，高频三板带状线可设计用于约50欧姆的阻抗。另外，高频三板带线可特别地在以限定的方式引导的电磁高频波的反射模式下操作。在这里，阻抗或高频三板带线的失谐是由在高频三板带线前出现的不同电磁波幅度比的部分或几乎完全的吸收引起的。特别地，高频三板带线可配置成在反射模式中接收或测量至少一个反射信号，用于测量铁磁谐振频率，其中，特别地，以固定的测量频率确定或测量至少一个反射信号。固定测量频率可特别接近于铁磁谐振频率，例如铁磁谐振频率的至少0.8倍，优选铁磁谐振频率的至少0.9倍和/或最大为铁磁谐振频率的1.5倍，最大优选为1.1倍铁磁谐振频率。特别地，固定测量频率可处于低频，例如最大额铁磁谐振频率的0.25倍，优选最大为铁磁谐振频率的0.1倍，更优选最大为铁磁谐振频率的0.05倍。

[0080] 相反，在传统的带状线中，铁磁层必须直接集成到带状线中，以便测量铁磁层的HF特性。这些测量不是无接触的，因为铁磁层和其上布置有铁磁层的基板必须布置在信号线与带状线的地之间，以便执行与频率有关的物理量的测量，例如与频率有关的磁导率的测量。

[0081] 在这里，所述至少一个铁磁元件和所述至少一个测量元件可设计成使得至少一个测量元件的固有频率设高于至少一个铁磁元件的谐振频率。特别地，至少一个测量元件的固有频率取决于至少一个测量元件的尺寸或长度。由此，特别地，可避免或减小所述至少一个测量元件或所述至少一个测量头的几何在确定扭矩传递装置的扭矩时的效果。

[0082] 特别地，所述至少一个测量元件可在操作状态下基本上沿着测量平面布置，所述测量平面基本上与所述扭矩传递装置的表面相切。然而，在这里，该至少一个测量元件不限于这种形状，而是可具有其它形状。例如，所述至少一个测量元件可为大致板状的和/或大致U形的和/或大致至少部分环形的。特别地，在操作状态下，该至少一个测量元件可例如基本上沿着相对于扭矩传递装置的旋转轴线的圆周方向至少部分地围绕扭矩传递装置，例如在至少 45° ，优选地至少 90° 和/或最大 360° ，优选地最大 270° 的角度范围内。可替代地，在操作状态下，所述至少一个测量元件可围绕扭矩传递装置，例如，基本上沿着相对于扭矩传递装置的旋转轴线的圆周方向完全地围绕，例如基本上为套状。

[0083] 特别地，所述至少一个铁磁元件可设计为至少一个一种圆周铁磁元件，其中，在操

作状态下,所述至少一个圆周铁磁元件沿着相对于所述扭矩传递装置的旋转轴线的圆周方向基本上完全围绕扭矩传递装置。在这里,所述至少一个圆周铁磁元件和所述至少一个测量元件可布置成使得当扭矩传递装置加载有扭矩时,使得可连续测量至少一个圆周铁磁元件的铁磁谐振频率。

[0084] 例如,所述至少一个铁磁元件可为基本上板状的和/或基本上U形/V形和/或基本上至少部分环形和/或基本上套筒状。

[0085] 特别地,所述至少一个铁磁元件可包括至少两个铁磁元件,所述至少两个铁磁元件相对于扭矩传递装置的旋转轴线沿圆周布置在扭矩传递装置上。换言之,所述至少一个铁磁元件可优选地包括至少两个铁磁元件,所述至少两个铁磁元件布置在所述扭矩传递装置上,使得当所述扭矩传递装置旋转约其旋转轴线时,所述至少两个铁磁元件顺序地或一个接一个地移动通过或旋转通过所述旋转轴线与所述至少一个测量元件之间。

[0086] 特别地,至少两个铁磁元件中的至少一个可设计成基本上是平面的或平坦的,并且在操作状态下,可定向成基本上平行于扭矩传递装置的表面的切向平面。特别地,所述至少一个平面或平面铁磁元件可布置在扭矩传递装置的凹部中。特别地,该至少一个平面或平坦铁磁元件可至少部分地在扭矩传递装置上形成突起。

[0087] 特别地,至少两个铁磁元件中的至少一个可设计成部分圆周铁磁元件,以及在操作状态下,沿着相对于扭矩传递装置的旋转轴线的圆周方向至少部分地围绕扭矩传递装置。例如,至少一个铁磁元件中的至少一个可基本上设计成圆柱形外壳的形式和/或部分环和/或半环的形式。

[0088] 特别地,所述至少一个铁磁元件中的至少两个铁磁元件可各自设计为圆周铁磁元件,以及在操作状态下,沿着相对于所述扭矩传递装置的旋转轴线的圆周方向完全围绕所述扭矩传递装置。所述至少两个圆周铁磁元件可设计成彼此平行,其中,特别地,至少两个平行的圆周铁磁元件可相对于扭矩传递装置的旋转轴线沿轴向方向间隔开。

[0089] 特别地,所述至少一个铁磁元件可具有磁各向异性。特别地,所述至少一个铁磁元件的磁各向异性或优选方向可通过在外部静态磁场中对所述至少一个铁磁元件进行退火来产生。特别地,退火可包括对至少一个铁磁元件的热处理,例如在高温和/或接近至少一个铁磁元件和/或至少一个铁磁层的材料的熔点。

[0090] 特别地,该测量装置还可包括至少一个磁场元件,该至少一个磁场元件配置成在操作状态下产生磁场,以便在该至少一个铁磁元件中产生或影响磁各向异性。在这里,所述至少一个磁场元件可具有至少一个永磁体和/或至少一个电磁体。特别地,所述至少一个磁场元件可配置成在所述至少一个铁磁元件的平面中产生磁各向异性,特别是在所述至少一个铁磁元件的铁磁谐振频率的测量期间。特别地,由至少一个磁场元件产生的磁场可具有至多50mT、优选地至多10mT、特别优选地至多5mT的磁通量密度。

[0091] 一个方面涉及一种用于确定扭矩传递装置的扭矩的方法,包括:在扭矩传递装置上布置至少一个铁磁元件;测量所述至少一个铁磁元件的铁磁谐振频率;以及基于所测量的铁磁谐振频率的偏移来确定所述扭矩传递装置的扭矩。

[0092] 特别地,该方法可包括根据传感器设备的上述特征的任何组合的特征。

[0093] 特别地,布置所述至少一个铁磁元件可包括将所述至少一个铁磁元件胶粘、焊接、压制、化学反应和/或门锁至所述扭矩传递装置。

[0094] 特别地,确定扭矩传递装置的扭矩可包括考虑通过扭矩传递装置和至少一个铁磁元件之间的连接的机械张力的不完全传递。特别地,该方法可还包括,确定机械张力的不完全传递,或者通过扭矩传递装置与至少一个铁磁元件之间的连接确定机械张力的不完全传递的物理参数。物理参数可包括例如由连接引起的至少一个铁磁元件的预张力 α 和吸收或阻尼因子 β ,如特别地在等式(14)中所述。

[0095] 特别地,该方法可包括生成至少一个铁磁层。特别地,可通过沉积至少一个铁磁层的材料,特别是通过溅射,优选通过磁控管溅射来生成至少一个铁磁层。

[0096] 特别地,生成至少一个铁磁层可至少还包括:生成第一铁磁层,在第一铁磁层上生成第一绝缘非导电分隔层,以及在第一绝缘非导电分隔层上生成第二铁磁层。特别地,测量所述至少一个铁磁元件的铁磁谐振频率可至少还包括:测量或确定所述第一铁磁层的第一铁磁谐振频率,以及测量或确定所述第二铁磁层的第二铁磁谐振频率。特别地,确定扭矩传递装置的扭矩可至少包括:基于所测量的第一铁磁谐振频率和/或所测量的第二铁磁谐振频率的偏移,确定扭矩传递装置的扭矩。

[0097] 特别地,该方法可还包括:生成基底和在基板上生成中间层;在中间层上生成至少一个铁磁层的铁磁层,中间层配置成在传感器设备的操作状态下使该至少一个铁磁层和扭矩传递装置脱离磁性联接。

[0098] 特别地,所述至少一个铁磁层和/或中间层和/或基板可直接施加至所述扭矩传递装置。

[0099] 特别地,该方法还可包括在外部静态磁场中对所述至少一个铁磁元件进行退火(参见上文),以便生成所述至少一个铁磁元件的磁各向异性。特别地,通过指定外部静态磁场,可由此设置该至少一个铁磁元件的期望磁各向异性。

[0100] 另外,本文描述了两个示例性铁磁元件,每个铁磁元件均都通过示例性生产方法制造。

[0101] 示例1

[0102] 作为第一示例的部分,描述了示例性铁磁元件和该示例性铁磁元件的示例性制造方法。

[0103] 为此,特别地,提供抛光的碳化钨-钴(WC-Co)硬质金属基板。这里的WC-Co基板具有重量占10.5%的钴,尺寸为12.7mm×12.7mm×0.4mm(长度×宽度×厚度)。

[0104] 通过非反应性RF磁控管溅射,在0.2Pa的纯氩气氛中将氧化硅中间层施加至WC-Co基板。通过300W功率,使用6英寸SiO₂溅射靶施加氧化硅中间层。结果,厚度约为3 μ m的氧化硅中间层施加至WC-Co基板上,氧化硅中间层的化学组成为约1:2(Si:O)。在本文中,约指包括高达15%的偏差。

[0105] 在氩气/氮气(Ar/N₂)气氛中,在0.2Pa下,通过反应RF磁控管溅射,将软磁性铁磁铁-钴-钆-氮(Fe-Co-Hf-N)层施加至中间层上。将Ar/N₂的气体流量比保持在100sccm/3sccm。通过250W功率,使用6英寸Fe₃₇Co₄₆Hf₁₇溅射靶施加Fe-Co-Hf-N层。因而,在WC-Co基板上施加厚度为约200nm的Fe-Co-Hf-N层,Fe-Co-Hf-N层具有约32:45:11:12(Fe:Co:Hf:N)的化学组成。在本文中,约指在任何情况下均包括高达25%的偏差。

[0106] 在已经施加硅中间层和Fe-Co-Hf-N层之后,在400°C下,50mT的静态磁场中将铁磁元件退火1小时(参见上文)。在这里,退火在压力 $p < 10^{-7}$ 毫巴的真空中进行,退火生成铁磁层

的单轴磁各向异性。

[0107] 退火的铁磁元件也可连接至扭矩传递装置,例如粘合到轴上。

[0108] 示例2

[0109] 作为第二示例的部分,描述了另一示例性铁磁元件和用于该示例性铁磁元件的另一示例性制造方法。

[0110] 为此,特别地,设置提供硅(Si(100))基板。Si基板的尺寸为 $9.9\text{mm} \times 9.9\text{mm} \times 0.4\text{mm}$ (长度 \times 宽度 \times 厚度)。Si基板进一步热氧化,并且具有 $1\mu\text{m}$ 的热氧化硅中间层。

[0111] 铁磁铁-钴-锆-氮(Fe-Co-Zr-N)层在氩气/氮(Ar/N_2)气氛中在 0.2Pa 下通过反应RF磁控管溅射施加至中间层。 Ar/N_2 的气体流量比保持在 $100\text{sccm}/3\text{sccm}$ 。通过 250W 功率,使用6英寸 $\text{Fe}_{37}\text{Co}_{46}\text{Zr}_{17}$ 溅射靶施加Fe-Co-Zr-N层。因而,在中间层上施加厚度为约 788nm 的Fe-Co-Zr-N层。Fe-Co-Hf-N层具有约 $40:37:11:12$ (Fe:Co:Zr:N)的化学组成。在本文中,约指在任何情况下均包括高达25%的偏差。

[0112] 在已经施加Fe-Co-Zr-N层之后,铁磁元件在 25400°C 下,在 50mT 的静态磁场中持续1小时。在这里,退火在压力 $p < 10^{-7}$ 毫巴的真空中进行,退火生成铁磁层的单轴磁各向异性。

[0113] 退火的铁磁元件也可连接至扭矩传递装置,例如粘合到轴上。

附图说明

[0114] 下面基于附图中所示的示例性实施方式进一步描述本发明。在这里,不能将示例性实施方式解释为限制性的。在附图中:

[0115] 图1是处于操作状态的第一示例性传感器设备的立体图;

[0116] 图2是图1的传感器设备的剖视图;

[0117] 图3是处于操作状态的第二示例性传感器设备的立体图;

[0118] 图4是图3的传感器设备的剖视图;

[0119] 图5是处于操作状态的第三示例性传感器设备的剖视图;

[0120] 图6是图5的传感器设备的侧视图;

[0121] 图7是示例性铁磁元件的立体剖视图;

[0122] 图8是扭矩传递装置的支撑和布置在其上的铁磁元件的示意图;

[0123] 图9是示例2中生产的铁磁元件的铁磁谐振频率的六个测量系列;

[0124] 图10是图9所示的测量系列的铁磁截止谐振频率的图形表示;

[0125] 图11是作为测量位置中的测量元件与铁磁元件之间的距离的函数的铁磁谐振频率的多个测量系列的图形表示;

[0126] 图12是作为测量位置中测量元件与铁磁元件之间的测量角度的函数的铁磁谐振频率的多个测量系列的图形表示;

[0127] 图13A和图13B是用于确定铁磁谐振频率的示例性实验测量装置和示例性传感器设备的特写视图;

[0128] 图14A和图14B示出了如示例1中所生产的铁磁元件与如示例2中制备的铁磁元件的铁磁谐振频率的测量系列的比较。

[0129] 图15示出了基于方程13与方程12的铁磁谐振频率的理论值和基于方程13与方程14的铁磁谐振频率的理论值的比较;

- [0130] 图16示出了轴上的示例性传感器设备的示意性表示；
- [0131] 图17示出了根据图16所示的示例性传感器设备的铁磁谐振频率的测量系列的屏幕截图；
- [0132] 图18A至图18D是示例性铁磁元件的立体剖视图。

具体实施方式

- [0133] 图1示出了处于操作状态的第一示例性传感器设备的立体图。
- [0134] 在这里,扭矩传递装置1设计为圆柱形轴,扭矩传递装置1能够旋转约旋转轴线A以传递扭矩。
- [0135] 六个铁磁元件4布置在扭矩传递装置1上,其中由于立体图,三个铁磁元件4被扭矩传递装置隐藏。六个铁磁元件4成对布置,铁磁元件4成对布置,每对铁磁元件均相对于扭矩传递装置1的旋转轴线A相对布置。特别地,铁磁元件4围绕旋转轴线A以彼此相等的距离沿圆周方向布置。以这种方式,可避免扭矩传递装置1中关于旋转轴线A的旋转运动形成不平衡。
- [0136] 六个铁磁元件4中的每一个均优选地包括至少一个铁磁材料,特别是软磁铁磁材料。
- [0137] 铁磁元件4中的每一个均形成为基本上正方形,或者特别地,铁磁元件4在垂直于相对于旋转轴A的径向方向的相应平面中具有基本上正方形的横截面区域。每个铁磁元件4均可设计成基本上平的或平面的或板状的。特别地,扭矩传递装置1在扭矩传递装置1的圆周表面上具有相应的凹部,一个铁磁元件4容纳在相应凹部中的每个中。
- [0138] 通过向扭矩传递装置1施加扭矩,铁磁元件4受到机械张力或剪切力。换言之,铁磁元件4通过对扭矩传递装置1施加扭矩而进行预张紧。结果,沿着铁磁元件4的平面的磁各向异性或磁各向异性场被干扰或改变,结果铁磁元件4的铁磁谐振频率偏移。
- [0139] 铁磁元件4的铁磁谐振频率的这种偏移由测量装置的测量元件3测量。特别地,测量元件3布置在扭矩传递装置1的上方,使得当扭矩传递装置1旋转时,铁磁元件4旋转通过旋转轴线A与测量元件3之间或围绕旋转轴线A移动通过。
- [0140] 特别地,测量元件3可设计为高频三板带线。
- [0141] 测量装置的测量元件3可基于测量的铁磁谐振频率的偏移或测量的铁磁谐振频率,直接确定施加至扭矩传递装置1的扭矩,或者在铁磁谐振频率的偏移或铁磁谐振频率的偏移上转发测量的数据。特别地,测量元件3可连接至连接元件5。特别地,连接元件5可配置为发送数据和/或功率。另外,控制信号可通过连接元件5传送到测量元件3或测量装置和/或磁场元件2。
- [0142] 图1还示出了磁场元件2,磁场元件2配置成在操作状态下生成磁场,特别是在测量元件3与扭矩传递装置1之间生成磁场。在扭矩传递装置1的旋转运动期间,铁磁元件4一个接一个地旋转,特别地旋转进入测量元件3与扭矩传递装置1之间的测量位置,特别地,磁场元件2配置为在测量位置生成或影响铁磁元件4中的磁各向异性。因而,特别地,磁场元件2可在各个铁磁元件4的平面中生成或影响磁各向异性,特别是在测量各个铁磁元件4的铁磁谐振频率期间。
- [0143] 在图1中,仅部分地示出了磁场元件2,以便同样示出测量元件3。特别地,在图2中

示出了磁场元件2的剖视图。在这里,磁场元件2示例性地设计为电磁体,该电磁体具有基本上为U形的磁芯和布置在磁芯上的线圈。然而,电磁铁不限于这种设计。可替代地,磁性元件2可设计为例如永磁体。

[0144] 图2示出了图1中示出的示例性传感器设备的剖视图,该剖视图沿着垂直于旋转轴线A的截面穿过测量元件3、磁场元件2、铁磁元件4和扭矩传递装置1。在这里,更清楚地示出了铁磁元件4的成对布置和磁场元件2的形成,如上面针对图1已经描述的。特别地,示出了处于测量位置的铁磁元件4。

[0145] 图3示出了传感器设备的第二示例性实施方式的立体图。在这里,具有旋转轴线A的扭矩传递装置1、磁场元件2、连接元件5、测量元件3基本上对应于图1和图2中用相同附图标记表示的元件。

[0146] 圆周铁磁元件4布置在扭矩传递装置1上,该元件沿着相对于旋转轴线A的圆周方向完全围绕扭矩传递装置1。以这种方式,可避免扭矩传递装置1中相对于旋转轴线A的旋转运动形成不平衡。另外,特别地,圆周铁磁元件4包括至少一种铁磁材料,特别是软磁铁磁材料。

[0147] 圆周铁磁元件4沿平行于旋转轴线A的方向具有基本上恒定的直径。特别地,扭矩传递装置1可在扭矩传递装置1的圆周表面上具有相应的凹部,圆周铁磁元件4容纳在相应的凹部中。

[0148] 当将扭矩施加至扭矩传递装置1时,圆周铁磁元件4经受机械张力。由此,磁各向异性或磁各向异性场在铁磁元件4的部分中相对于旋转轴线A圆周沿着圆周铁磁元件4的表面被干扰或改变,从而使圆周铁磁元件4的铁磁谐振频率偏移。

[0149] 磁场元件2优选地配置为在操作状态下生成磁场,特别地,在测量元件3与扭矩传递装置1之间。在扭矩传递装置1的旋转运动期间,圆周铁磁元件4的部分至少部分地旋转通过测量元件3与扭矩传递装置1之间的测量位置,磁场元件2配置为生成或影响位于测量位置的圆周铁磁元件4的相应部分中的磁各向异性。因而,磁场元件2可生成或影响圆周铁磁元件4的相应部分的磁各向异性,特别是在测量圆周铁磁元件4的铁磁谐振频率期间。

[0150] 如图1所示,磁场元件2在图3中仅部分地示出,以便同样示出测量元件3。图4示出了磁场元件2的剖视图。在这里,磁场元件2设计为例如电磁体,该电磁体具有基本上为U形的磁芯和布置在磁芯上的线圈。然而,电磁铁不限于这种设计。可替代地,磁性元件2可设计为例如永磁体。

[0151] 图4示出了图3所示的示例性传感器设备沿着垂直于穿过测量元件3、磁场元件2、圆周铁磁元件4和扭矩传递装置1的旋转轴线A的剖视图。在这里,更清楚地示出了圆周铁磁元件4的圆周布置和磁场元件2的设计,如上面针对图3已经描述的。特别地,图中示出了随着扭矩传递装置1的每个旋转运动接近旋转轴线A,圆周铁磁元件4的部分布置在测量位置。

[0152] 图5示出了传感器设备的第三示例性实施方式的剖视图。在这里,具有旋转轴线A的扭矩传递装置1、圆周铁磁元件4和连接元件5基本上对应于在图3和图4中用相同的附图标记表示的元件。

[0153] 通过向扭矩传递装置1施加扭矩,圆周铁磁元件4受到机械张力。结果,磁各向异性或磁各向异性场在铁磁元件4的部分中相对于旋转轴线A圆周沿着圆周铁磁元件4的表面被干扰或改变,从而使圆周铁磁元件4的铁磁谐振频率偏移。

[0154] 圆周铁磁元件4的铁磁谐振频率的这种偏移由测量装置的测量元件3测量。测量元件3优选地布置在扭矩传递装置1的上方,使得在扭矩传递装置1的旋转运动时,圆周铁磁元件4的部分至少部分地旋转通过旋转轴线A与测量元件3之间,或围绕旋转轴线A在圆周方向上移动通过。

[0155] 另外,测量元件3设计为圆周测量元件3,并且配置成至少部分地相对于旋转轴线A沿着圆周方向围绕扭矩传递装置1。特别地,圆周测量元件3沿着圆周方向围绕扭矩传递装置1至约50%的程度。然而,圆周测量元件3不限于约50%,而是扭矩传递装置1沿圆周方向围绕的程度可基本上小于或大于50%。另外,圆周测量元件3配置成使得在操作状态下,圆周测量元件3与圆周铁磁元件4之间相对于旋转轴线A的径向距离基本恒定。

[0156] 圆周测量元件3可设计成例如高频三板带线,特别是弯曲的高频三板带线。

[0157] 测量装置的圆周测量元件3可直接基于铁磁谐振频率中的测量偏移或者基于测量的铁磁谐振频率,确定施加至扭矩传递装置1的扭矩,或基于铁磁谐振频率或铁磁谐振频率中的偏移,转发测量数据。在这里,测量元件3可连接至连接元件5。连接元件5可优选地配置为发送数据和/或功率。另外,控制信号可通过连接元件5传送到测量元件3或测量装置。

[0158] 由于测量元件3设计成圆周测量元件3,因而很难或不可能通过磁场元件2生成外部磁场。铁磁谐振频率或铁磁谐振频率的偏移可由圆周测量元件3例如基于由圆周铁磁元件4中施加的扭矩生成的形状各向异性来测量。圆周铁磁元件4可优选地具有沿着平行于旋转轴线A的方向测量的小宽度。特别地,圆周铁磁元件4的宽度的值可比圆周测量元件3的宽度小,该圆周测量元件3的宽度沿着平行于旋转轴线A的方向测量。例如,圆周铁磁元件4的宽度的最大值可为圆周测量元件3的宽度值的90%,优选最大为80%,更优选最大为50%和/或为至少10%,优选为至少20%。

[0159] 图6示出了图5所示的示例性实施方式的侧视图,其中特别示出了如上针对图5所述的圆周铁磁元件4和圆周测量元件3的相对设计。

[0160] 图7示出了示例性铁磁元件4的立体剖视图。所示的铁磁元件4基本上是平面的或平坦的,这种几何形状不是限制性的。相反,铁磁元件4可具有不同的形状,例如弯曲的形状。

[0161] 特别地,图中示出铁磁元件4为具有正方形基底的立方体。

[0162] 铁磁元件4具有铁磁层4A。铁磁层4A在铁磁元件4的平面中或平行于铁磁元件4的平面具有磁各向异性或磁各向异性场。在这里,铁磁元件4的平面是至少平行于铁磁层4A的平面。可替代地或另外地,可配置铁磁层4A,使得可通过外部磁场在铁磁元件4的平面中或与铁磁元件4的平面平行地生成磁各向异性或磁各向异性场。

[0163] 铁磁层4A包括至少一种铁磁材料,优选至少一种软磁铁磁材料。特别地,该至少一种铁磁材料可包括基于Fe-Co-Hf-N、Fe-Co-Zr-N、FeCo-Ta-N、Fe-Co-B和/或Fe-Co-B-Si的材料。另外,作为合金添加剂的高磁致伸缩稀土元素(例如Tb、Dy、Sm)可增加铁磁层4A或至少一个铁磁元素4的铁磁谐振的阻尼。

[0164] 铁磁元件4还具有布置在铁磁层4A与基板4C和/或扭矩传递装置1之间的中间层4B。中间层4B配置成将铁磁层4A与基板4C和/或扭矩传递装置1隔离和/或磁性分离。中间层4B优选地具有沿着铁磁元件4的平面与铁磁层4A基本上相同的尺寸或大小,这能够实现均匀的磁性分离。然而,中间层4B不限于这样的尺寸,而是可例如具有至少部分大于铁磁层4A

的尺寸,由此可避免或减小沿着铁磁层4A的边缘的磁性边缘效应。

[0165] 另外,中间层4B可配置成将铁磁层4A与基板4C和/或扭矩传递装置1化学地和/或物理地隔离。这样,例如,可避免或减少铁磁层4A与基板4C和/或扭矩传递装置1之间的化学反应和/或扩散过程。另外,特别地,中间层4B可配置为用作铁磁层4A与基板4C之间的粘附促进剂。特别地,中间层4B可包括 Si_3N_4 和/或AlN和/或具有高比电阻的层材料(例如TiN和/或Ti-Al-N和/或TaN)。

[0166] 铁磁元件4还具有基板4C,其布置在铁磁层4A与扭矩传递装置1之间,特别是中间层4B与扭矩传递装置1之间。如上所述,特别地,基板4C可设计为载体板。特别地,基板4C可包括玻璃或氧化硅、硅、金属、塑料和/或复合材料。

[0167] 如果需要,基板4C可在其制造过程中设计为铁磁元件4的基层,其中,中间层4B和/或铁磁层4A(如果需要)施加至基板4C。

[0168] 另外,基板4C可在面对铁磁层4A的侧部上具有与背离铁磁层4A的侧部上不同的化学成分。例如,基板4C可由硅形成,面向铁磁层4A的侧部具有氧化硅层。氧化硅层可优选通过基板4C的热氧化来制造,其中氧化硅层可实现与中间层4B相同的功能。因此,根据所使用的基板4C,可省去使用或设置单独的中间层4B。

[0169] 图8示出了扭矩传递装置的支撑和布置在其上的铁磁元件的示意图。特别地,参考上面的描述,特别是关于等式(1)至(12),其中更详细地解释了支撑的理论背景。

[0170] 图9示出了示例2中生产的铁磁元件的铁磁谐振频率的六个测量系列,每个测量系列均由施加至扭矩传递装置的不同扭矩确定。铁磁谐振频率可由测量装置的 S_{11} 参数分布(S_{11} 的最小值)或通过频率相关磁导率的虚部(Lorentz曲线形状的谐振峰轮廓)来确定,其可使用 S_{11} 数据来计算或评估。特别地,可看出的是,随着所施加的扭矩的增加,引起铁磁参考频率的偏移。

[0171] 图10示出了图9所示的测量系列的铁磁截止谐振频率的图形表示。在这里,可看出的是,从所施加的扭矩约20Nm向前,铁磁截止谐振频率随着施加的扭矩的增加而基本线性增加。

[0172] 图11示出了作为测量位置的测量元件与铁磁元件之间的距离的函数的散射参数 S_{11} 的多个测量系列的图形表示。在这里,测量的铁磁谐振频率的信号强度随着距离的减小而增大。

[0173] 图12示出了作为测量位置的测量元件与铁磁元件之间的测量角度的函数的铁磁谐振频率的多个测量系列的图形表示。在这里,可特别地看到,在 12° 与 16° 之间的测量角处实现所测量的铁磁谐振的最大或最佳信号强度。

[0174] 图13A和图13B示出了用于确定铁磁谐振频率的示例性实验测量装置、以及示例性传感器设备的特写视图。具有示例性传感器设备的扭矩传递装置1或轴一端通过夹爪固定,而轴的另一端可旋转地支承在端件上。通过杠杆将扭矩施加至轴上,所施加的扭矩使得铁磁元件4被支撑。测量元件3,在这种情况下是高频三板带线(参见图13B),用于借助于VNA(矢量网络分析器)测量或确定铁磁谐振频率或铁磁谐振频率的偏移。特别地,图13B所示的测量元件3可在从50MHz到5GHz的频率范围内使用。测量元件3的几何尺寸,例如图13B所示的高频三板带状线,特别取决于其阻抗。对于来自图13B的高频三板带状线,该阻抗特别地设置为50欧姆。这导致接地板与高频三板带状线的信号线之间的距离为0.7mm,其中高频三

板带状线的长度为10mm。

[0175] 图14示出了铁磁谐振频率的测量系列的比较。在图14A中,示出了示例1中生产的铁磁元件的施加扭矩为0Nm、20Nm、40Nm、60Nm、80Nm和100Nm的测量系列。在图14B中,示出了如示例2中生产的铁磁元件的施加扭矩为0Nm、20Nm、40Nm、60Nm、80Nm和100Nm的测量系列。与图14A中所示的测量系列相比,在实例2中生成的铁磁元件的测量系列明显更平滑或具有更好的信噪比,并且表现出增加的信号强度。特别地,这归因于示例2中生成的铁磁元件的较大厚度,并因此归因于其较大的磁体积。

[0176] 图15示出了基于等式13与等式12(铁磁谐振频率不考虑通过铁磁元件和扭矩传递装置之间的连接的扭矩的不完全传递)的铁磁谐振频率的理论值与基于等式13与等式14(铁磁谐振频率考虑通过铁磁元件和扭矩传递装置之间的连接的扭矩的不完全传递)。通过示例1和示例2中生成的10个铁磁元素的铁磁谐振频率的测量值的比较表明,根据等式(13)和等式(14)的理论铁磁谐振频率比根据等式(13)和等式(12)的理论铁磁谐振频率更好地反映了测量值。

[0177] 图16示出了轴上的示例性传感器设备的示意性图示。特别地,图16示出了与轴的旋转轴线A线性平行布置的多个铁磁元件4。在这里,铁磁元件4可彼此以相同或不同的距离布置。以这种方式,例如,传感器设备可沿着轴移动,以便能够测量多个铁磁元件4上的铁磁谐振频率。特别地,多个传感器设备由此可附加地或替代地布置在轴上,以便确定或测量多个铁磁元件4中的铁磁谐振频率。以这种方式,例如,通过比较测量值,可增加确定的扭矩和/或可确定和/或识别可能有故障的铁磁元件4和/或可能有故障的测量元件3。

[0178] 图17示出了根据图16所示的示例性传感器设备的铁磁谐振频率的测量系列的屏幕截图。

[0179] 图18A示出了示例性铁磁元件40的立体剖视图。图中示意地示出了铁磁元件40基本上是平面的或平坦的,这种几何形状不是限制性的。相反,铁磁元件40可具有不同的形状,例如弯曲的形状。

[0180] 在这里,特别地,铁磁元件40具有两个或更多个铁磁层,该两个或更多个铁磁层在图18A中共同显示为元件40A,并且在图18B至图18D中进一步描述。该两个或更多个铁磁层可各自具有在铁磁元件40的平面内或平行于铁磁元件40的平面的磁各向异性或磁各向异性场。在这里,铁磁元件40的平面至少是平行于该两个或更多个铁磁层的平面。可替代地或另外地,该两个或更多个铁磁层可配置为使得可通过外部磁场在铁磁元件40的平面中或与铁磁元件40的平面平行地生成磁各向异性或磁各向异性场。

[0181] 铁磁元件40还可具有中间层40B,中间层40B布置在两个或更多个铁磁层与基板40C和/或扭矩传递装置1之间。中间层40B配置成将两个或更多个铁磁层40A与基板40C和/或扭矩传递装置1隔离和/或磁性分离。特别地,中间层40B可具有中间层4B的特征的任何组合。中间层40B以及中间层4B是可选的,但是优选不能布置在例如不能与两个或更多个铁磁层磁性相互作用的扭矩传递装置1中。

[0182] 铁磁元件40还具有基板40C,该基板40C布置在两个或更多个铁磁层与扭矩传递装置1之间,特别是在中间层40B与扭矩传递装置1之间。在这种情况下,特别地,基板40C可具有基板4C的特征的任何组合。

[0183] 图18B示出了包括两个铁磁层41、42的铁磁元件40的示例性元件40A的立体剖视

图。

[0184] 在这里,特别地,元件40A具有至少第一铁磁层41。特别地,第一铁磁层41可由至少第一铁磁材料形成。特别地,元件40A还具有至少一个第二铁磁层42。特别地,第二铁磁层42可由至少一种第二铁磁材料形成。

[0185] 另外,第一铁磁层41通过至少一个绝缘非导电的分隔层40T与第二铁磁层42分离。特别地,该绝缘非导电分隔层40T设计为使第一铁磁层41和第二铁磁层42脱离磁性连接,或者防止或减少第一铁磁层41和第二铁磁层42之间的磁性相互作用。特别地,第一铁磁层41因而具有第一铁磁谐振频率,以及第二铁磁层42具有第二铁磁谐振频率,其可由至少一个测量元件3来测量或确定。

[0186] 图18C示出了铁磁元件40的另一示例性元件40A的立体剖视图,元件40A包括三个铁磁层41、42、43。

[0187] 特别地,元件40A至少具有第一铁磁层41、第二铁磁层42和第三铁磁层43、以及至少两个绝缘非导电的分隔层40T。在这里,特别地,在第一铁磁层41与第二铁磁层42之间设置该至少两个绝缘非导电的分隔层40T中的第一个。另外,特别地,该至少两个绝缘非导电的分隔层40T中的第二个布置在第二铁磁层42与第三铁磁层43之间。特别地,第二铁磁层42布置在第一铁磁层41与第三铁磁层43之间。然而,这种两个或更多个铁磁层,在这种情况下是三个铁磁层的情况下,不应认为铁磁层的顺序是限制性的。相反,可设置两个或两个以上铁磁层的任何顺序,且可例如基于两个或两个以上铁磁层的相应材料来设置所述顺序。

[0188] 特别地,第一铁磁层41由至少第一铁磁材料形成。特别地,第二铁磁层42由至少一种第二铁磁材料形成。结果,第一铁磁层41具有第一铁磁谐振频率,以及第二铁磁层42具有第二铁磁谐振频率。

[0189] 特别地,第三铁磁层43设计为多层。在这里,该多层包括至少由第一铁磁材料制成的第一子层41A和至少由第二铁磁材料制成的第二子层42A,这些自称彼此直接施加或布置在彼此之上。在这里,在第一子层41A与第二子层42A之间不设置另外的绝缘非导电分隔层40T,其结果是第一子层41A和第二子层42A彼此不脱离磁性联接,或者第一子层41A与第二子层42A之间的磁相互作用是可能的。结果,该多层具有在第一铁磁层41的第一铁磁谐振频率与第二铁磁层42的第二铁磁谐振频率之间的第三铁磁谐振频率。

[0190] 该至少两个子层41A、42A的顺序在这里仅作为例子示出。特别地,可自由地选择至少两个子层41A、42A的任何顺序,例如考虑第一铁磁层41和第二铁磁层42。另外,该多层可例如具有两个或更多个子层,特别是多于两个子层。

[0191] 特别地,第一铁磁层41具有第一铁磁谐振频率,第二铁磁层42具有第二铁磁谐振频率,以及第三铁磁层43具有第三铁磁谐振频率,其可由至少一个测量元件3来测量或确定。

[0192] 图18D示出了铁磁元件40的另一示例性元件40A的立体剖视图,元件40A包括三个铁磁层41、4、43。

[0193] 特别地,元件40A至少具有第一铁磁层41、第二铁磁层42和第三铁磁层43、以及至少两个绝缘非导电的分隔层40T。在这里,特别地,在第一铁磁层41与第二铁磁层42之间设置至少两个绝缘非导电的分隔层40T中的第一个。另外,特别地,所述至少两个绝缘非导电的分隔层40T中的第二个布置在第二铁磁层42与第三铁磁层43之间。特别地,第二铁磁层42

布置在第一铁磁层41与第三铁磁层43之间。

[0194] 在这里,特别地,第一铁磁层41由至少第一铁磁材料形成。特别地,第二铁磁层42由至少一种第二铁磁材料形成。特别地,第三铁磁层43由至少一种第三铁磁材料形成。特别地,第一铁磁层41具有第一铁磁谐振频率,第二铁磁层42具有第二铁磁谐振频率,以及第三铁磁层43具有第三铁磁谐振频率,这些铁磁谐振频率可由至少一个测量元件4来测量或确定。

[0195] 在说明书和附图中讨论和说明的示例性实施方式不应被解释为限制性的。相反,传感器设备和/或方法可具有说明书中提到的和附图中示出的特征的任何组合。

[0196] 附图标记的说明

[0197]	1	扭矩传递装置
[0198]	2	磁场元件
[0199]	3	测量元件
[0200]	4	铁磁元件
[0201]	4A	铁磁层
[0202]	40A	元件
[0203]	41	第一铁磁层
[0204]	42	第二铁磁层
[0205]	43	第三铁磁层
[0206]	4B、40B	中间层
[0207]	4C、40C	基板
[0208]	40T	绝缘非导电分隔层
[0209]	41A、42A	子层
[0210]	5	连接元件
[0211]	A	扭矩传递装置的旋转轴线

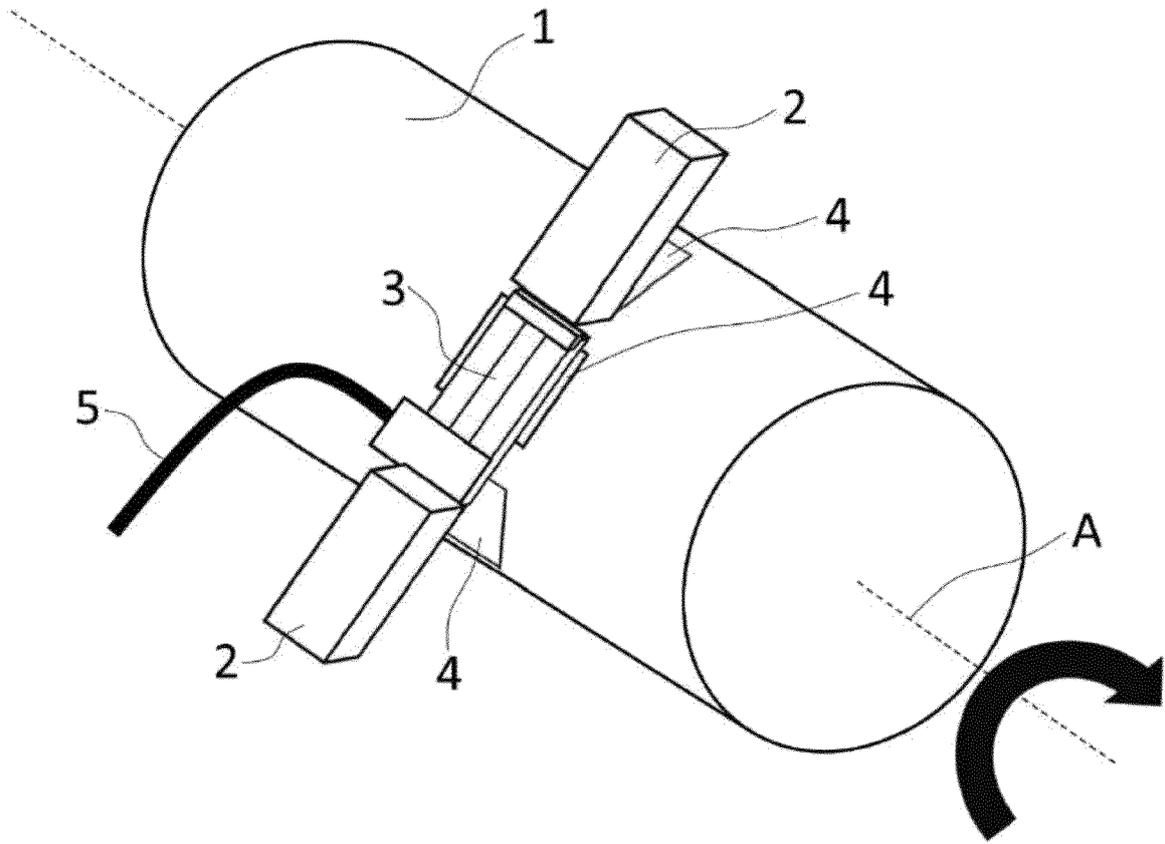


图1

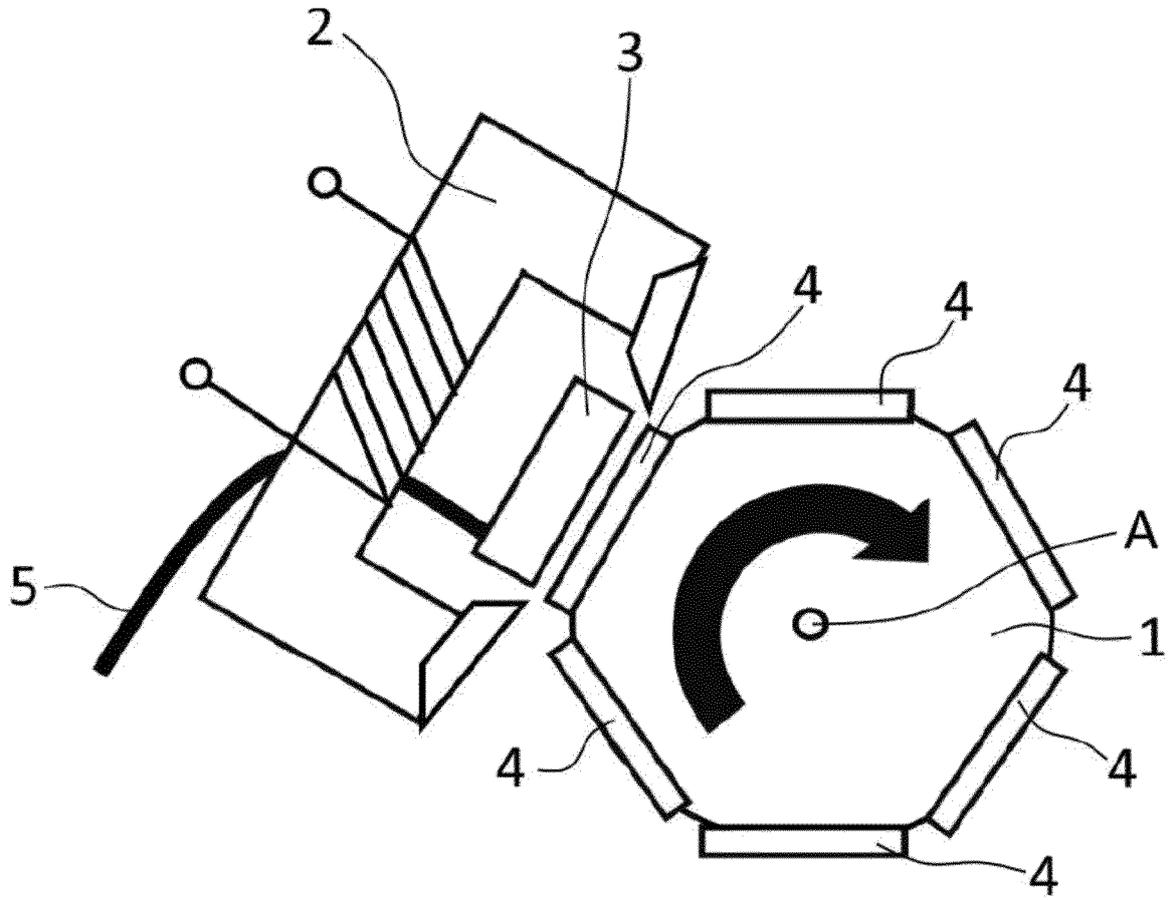


图2

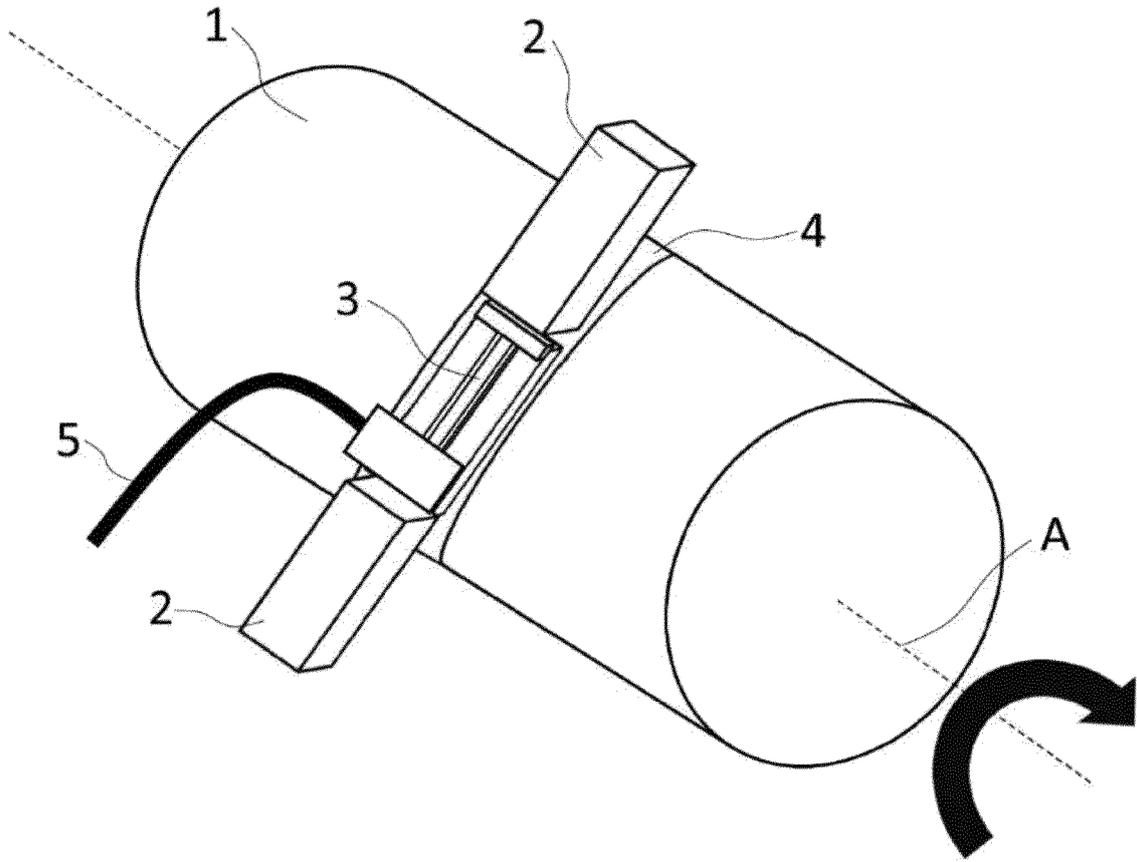


图3

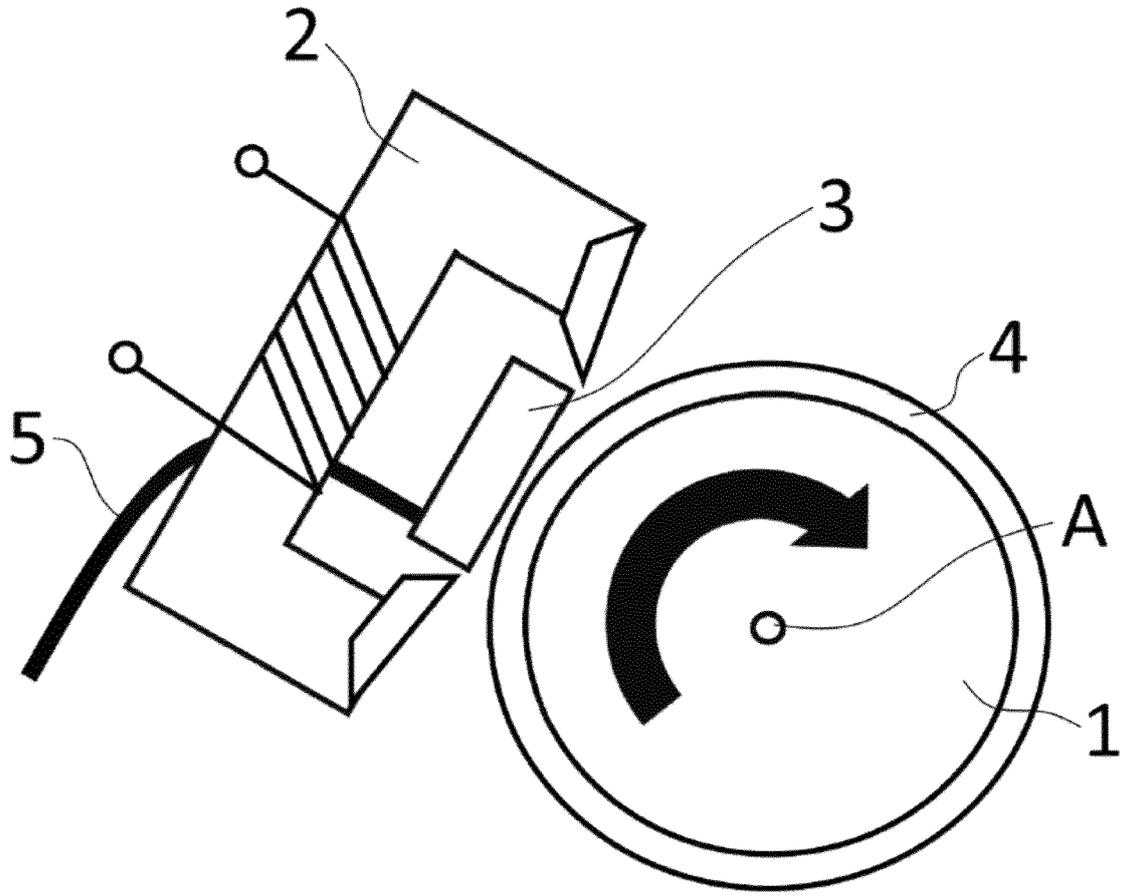


图4

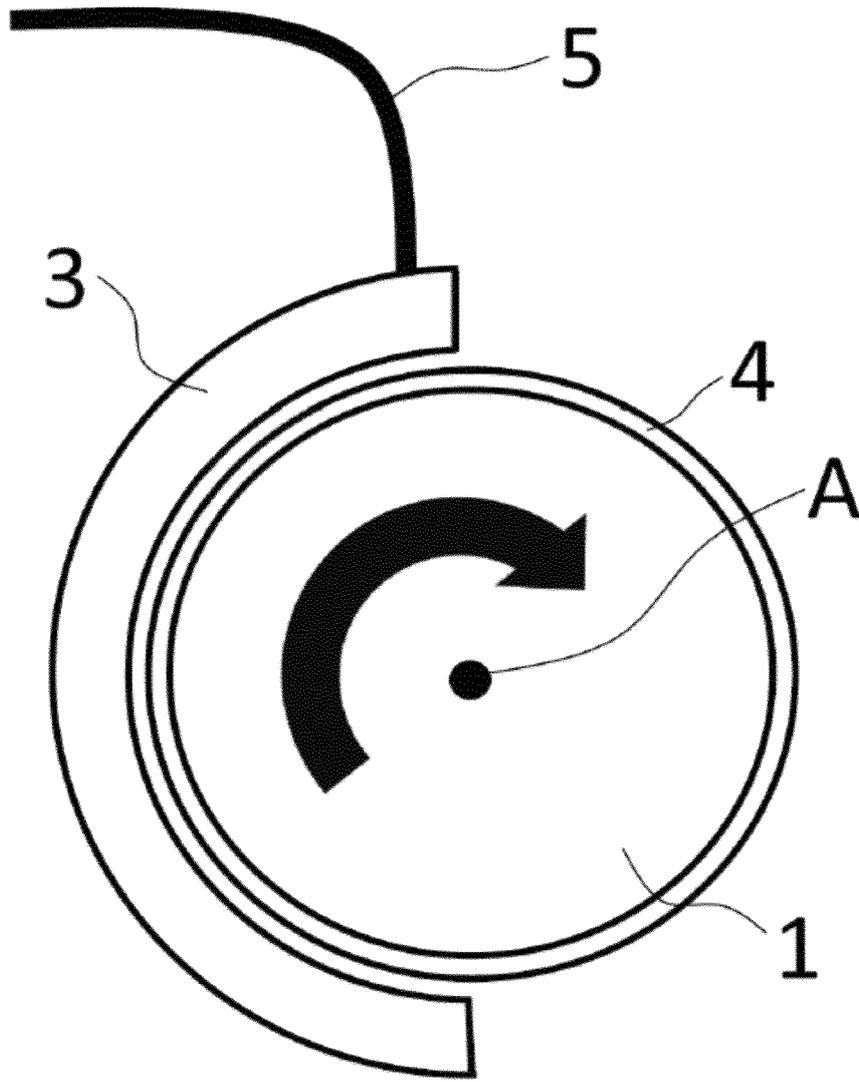


图5

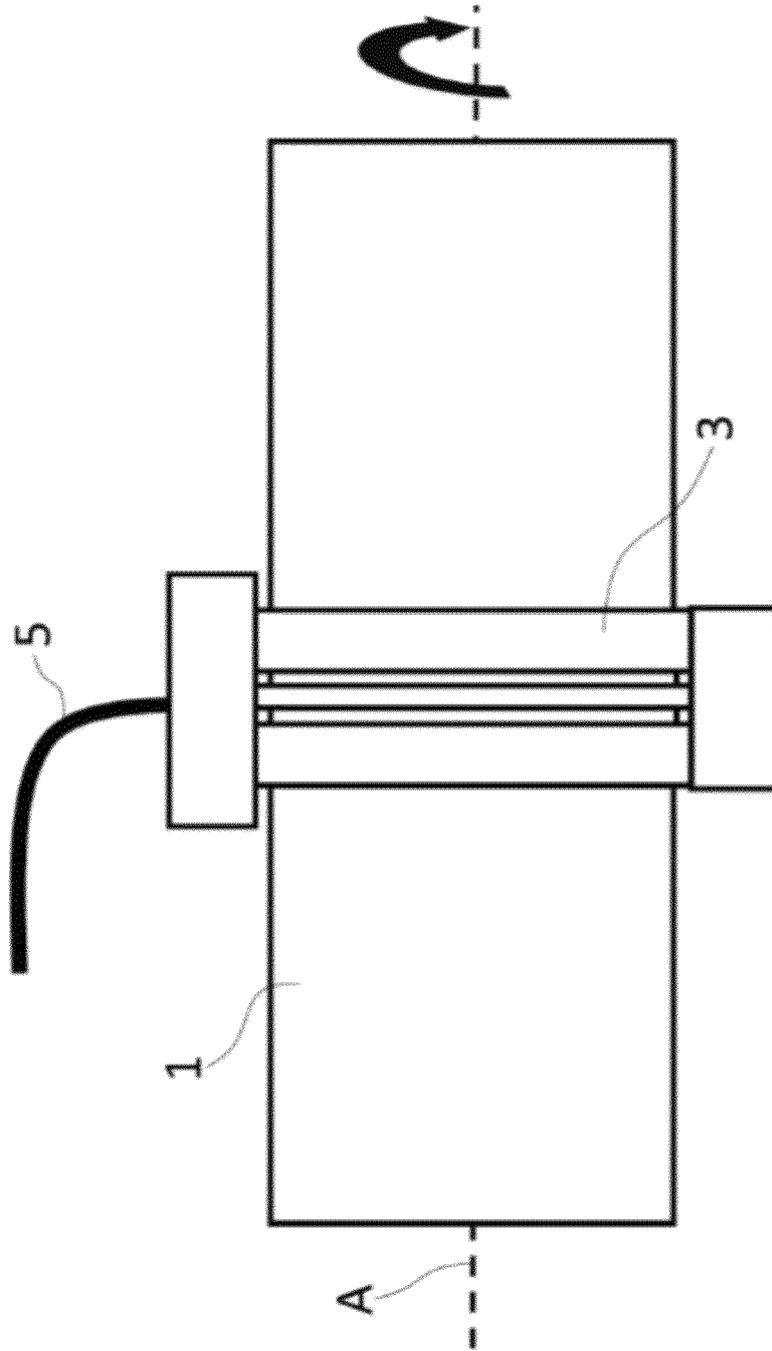


图6

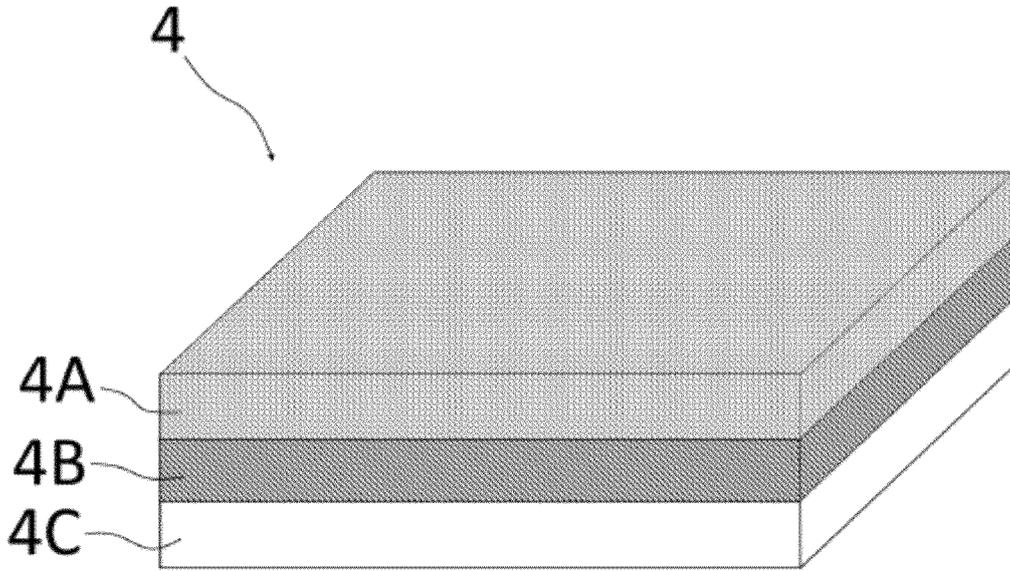


图7

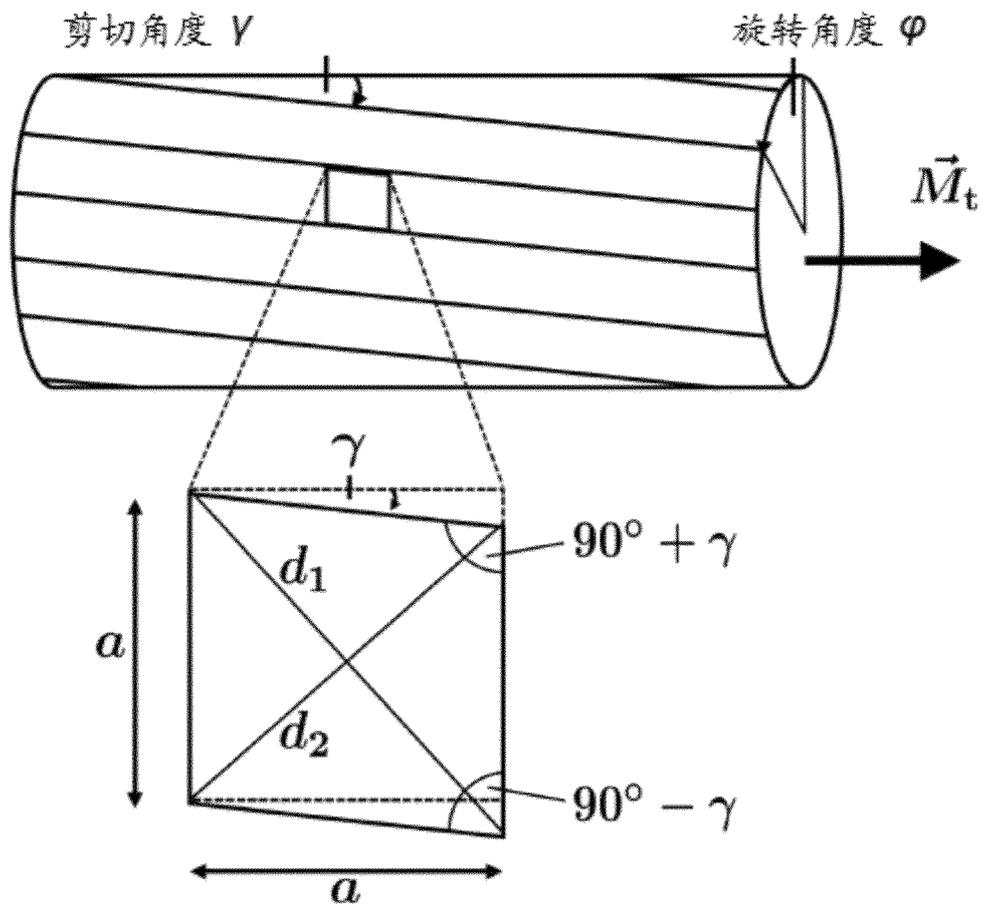


图8

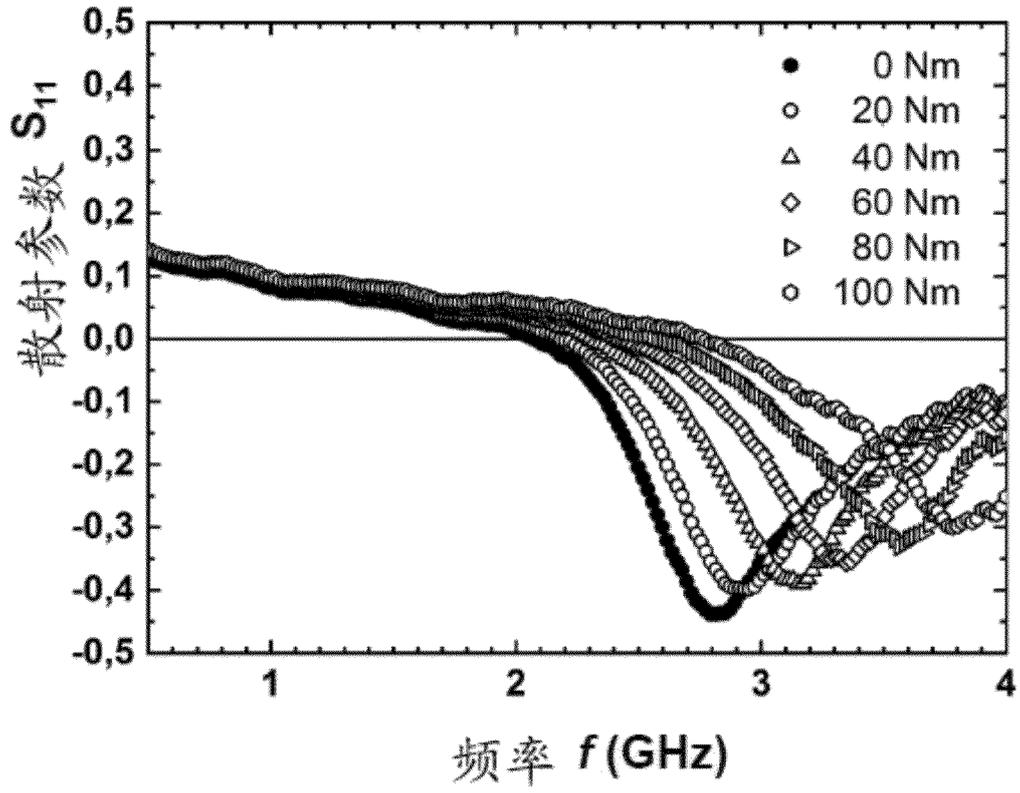


图9

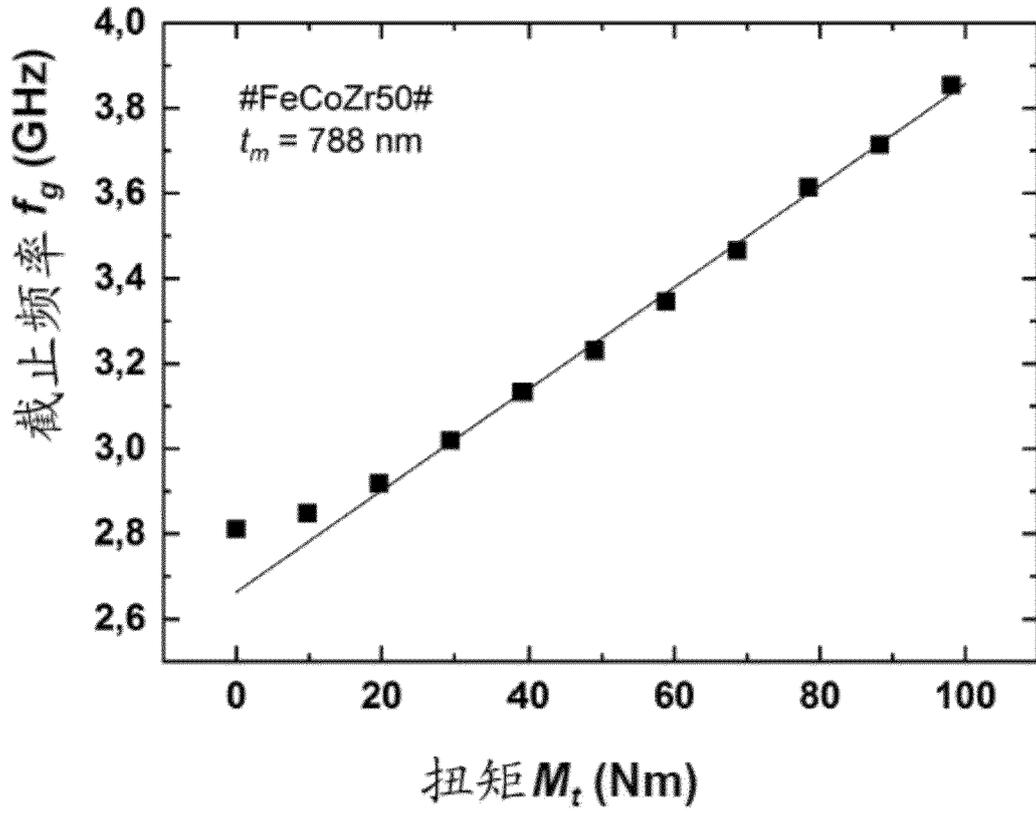


图10

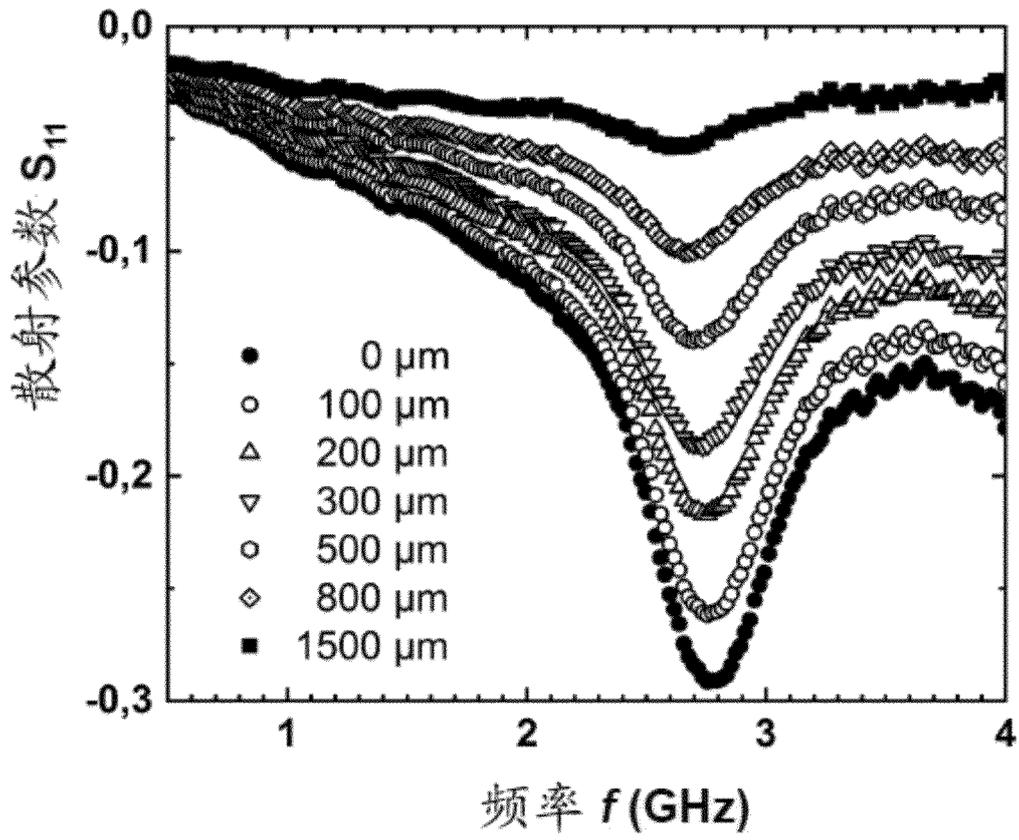


图11

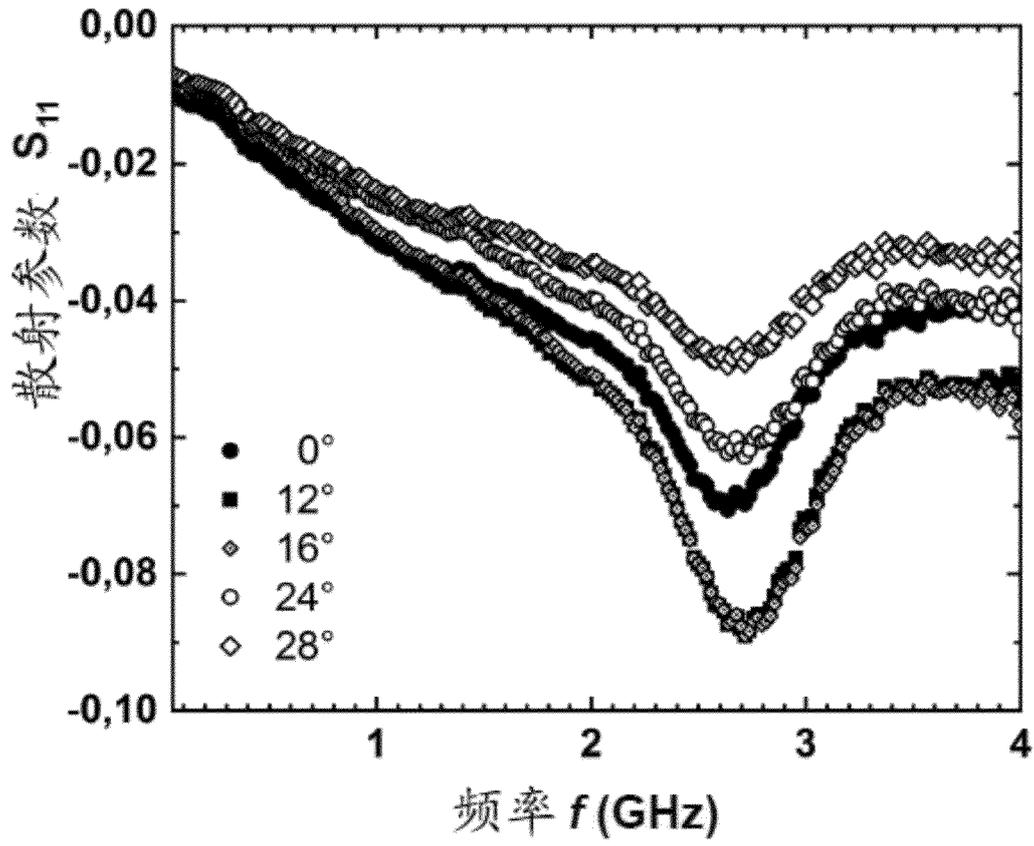


图12

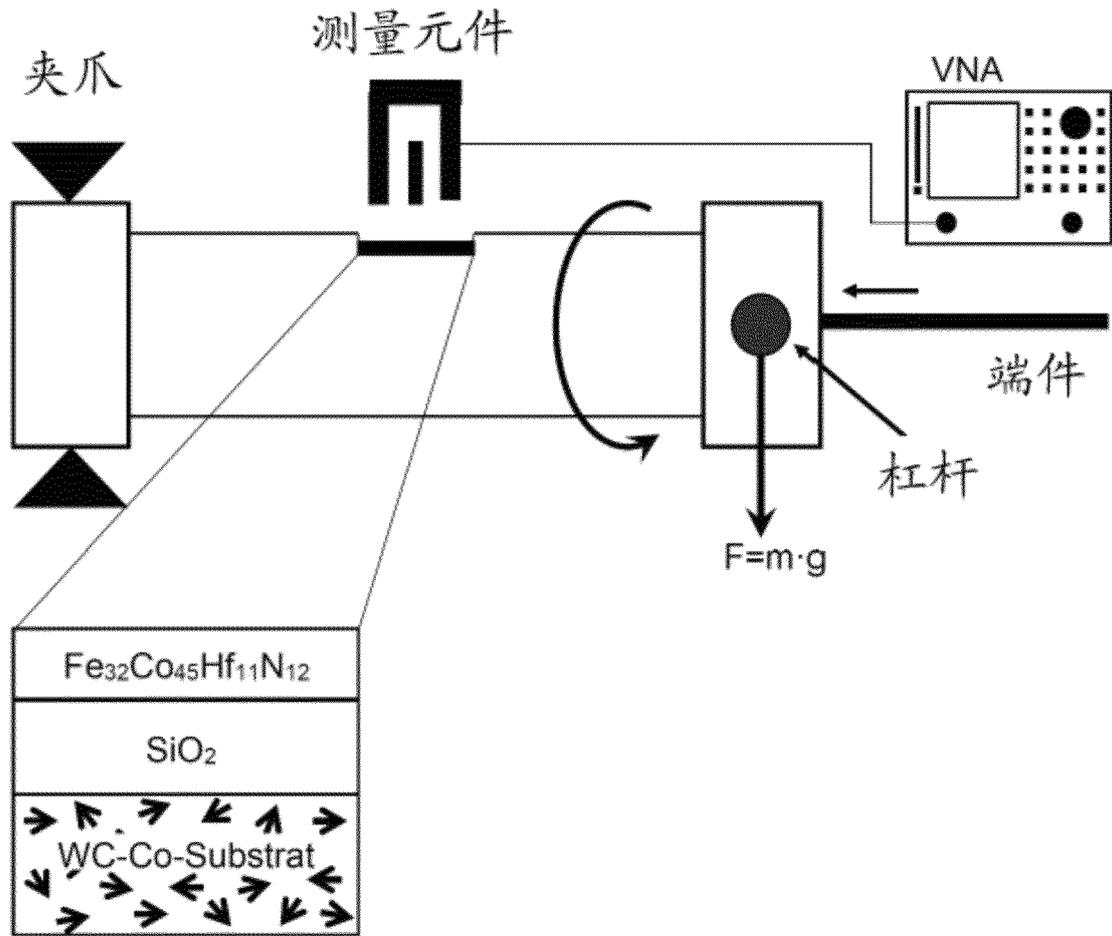


图13A

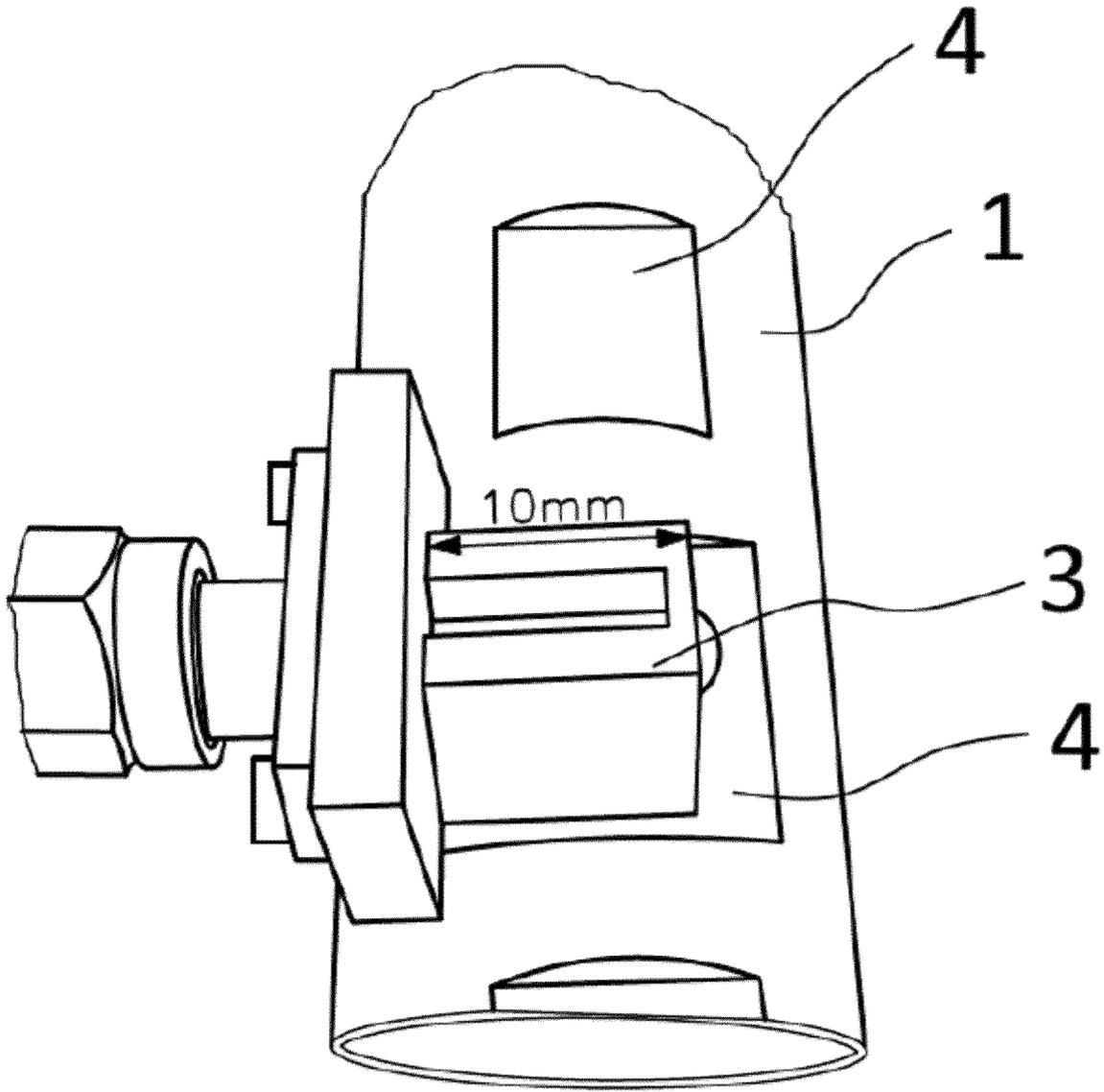


图13B

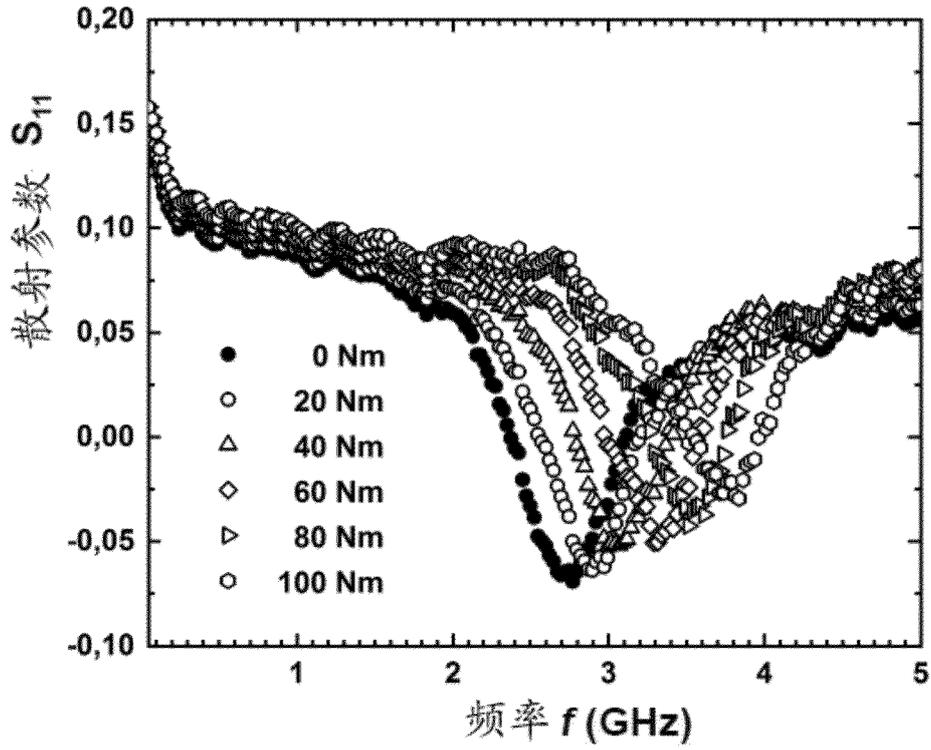


图14A

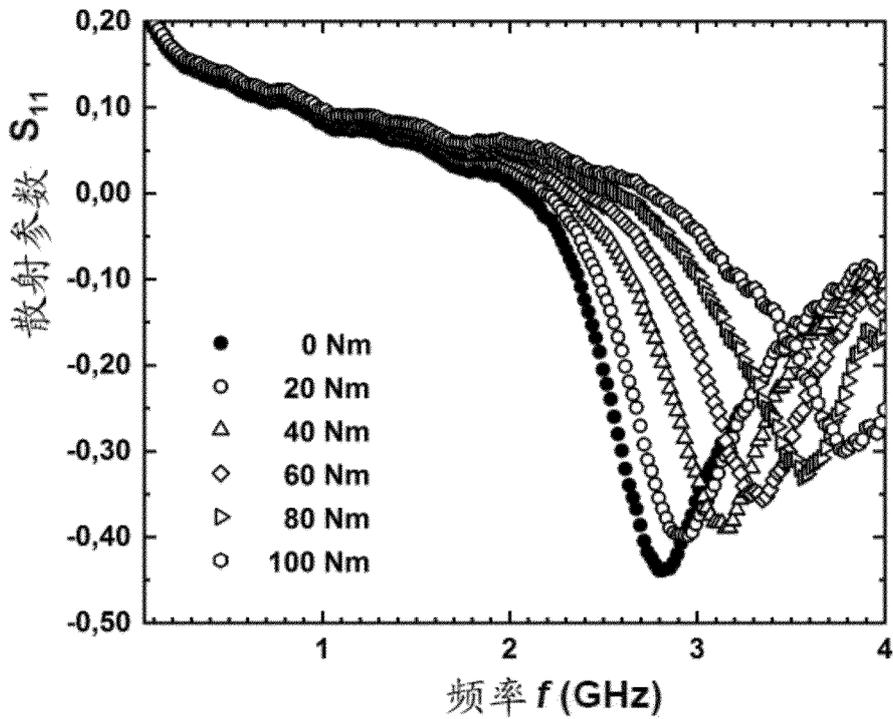


图14B

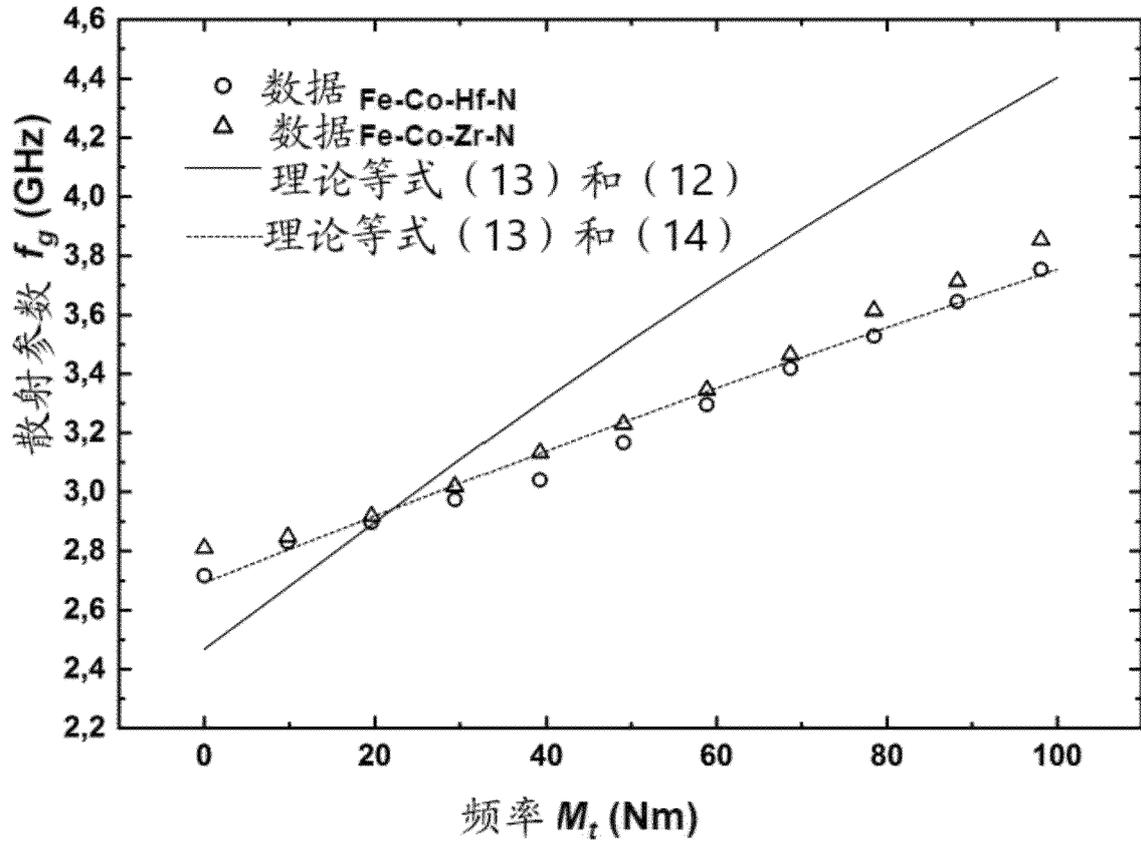


图15

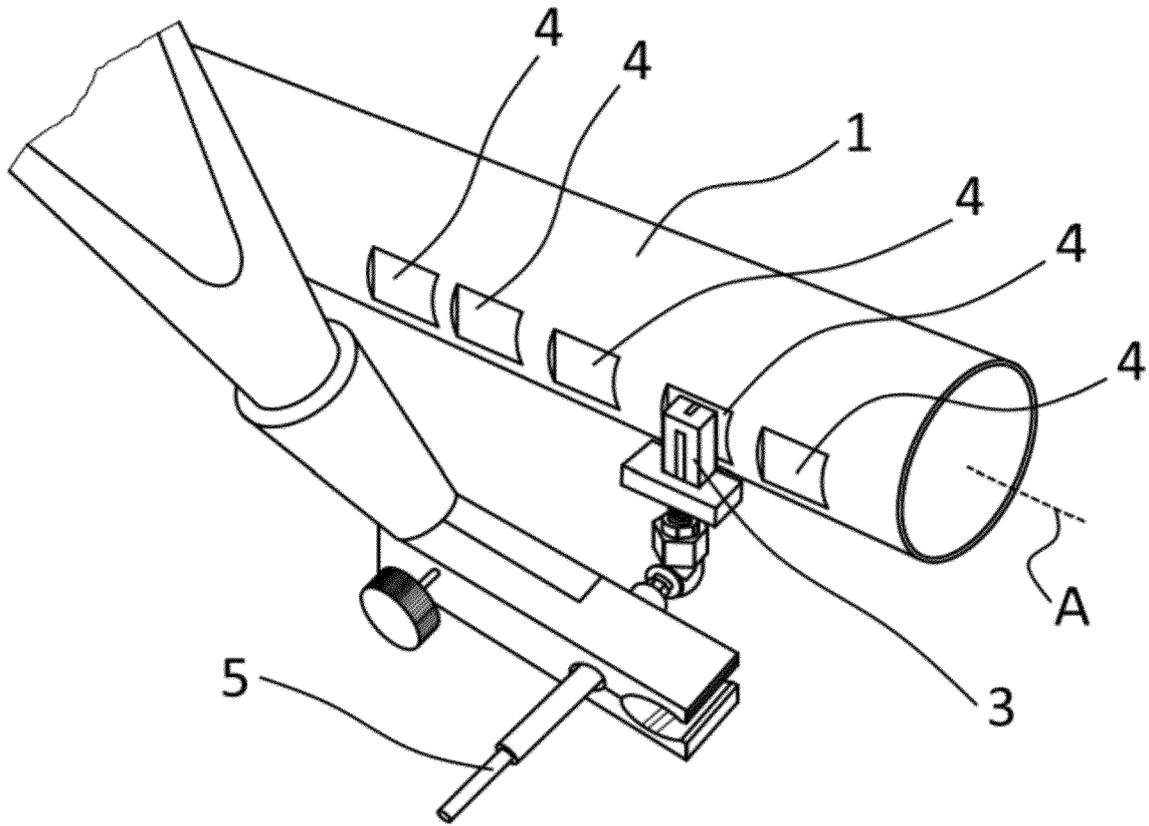


图16



图17

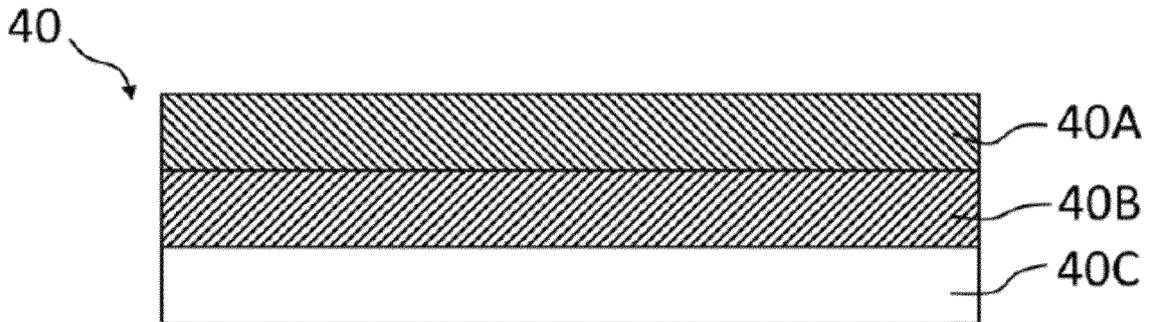


图18A

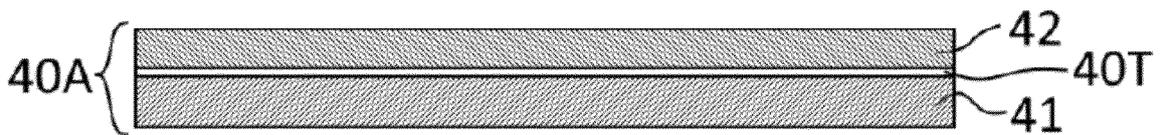


图18B

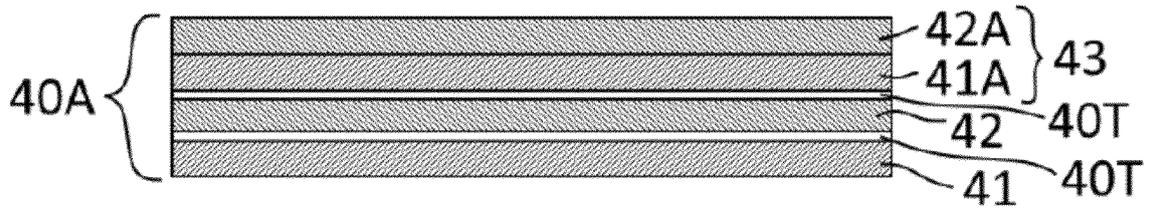


图18C

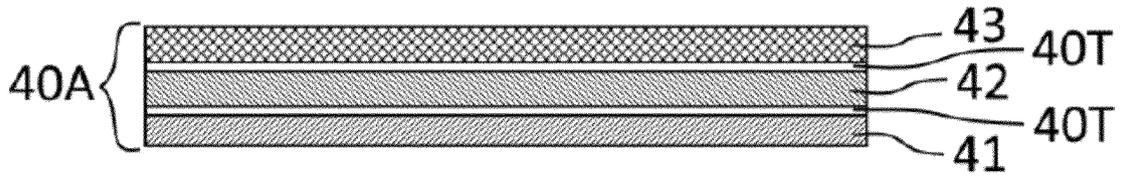


图18D