



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 120188022 A

(43) 申请公布日 2025. 06. 20

(21) 申请号 202380077601.X

(22) 申请日 2023.11.06

(30) 优先权数据

2022-178452 2022.11.07 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2025.05.07

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2023/039929 2023.11.06

(87) PCT国际申请的公布数据

W02024/101321 JA 2024.05.16

(71) 申请人 日本精工株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 小杉大智 岩濑骏介 相川文明

丸山泰右

(74) 专利代理机构 北京奉思知识产权代理有限公司 11464

专利代理师 邵佳元 李涵

(51) Int.Cl.

G01M 13/04 (2019.01)

G01N 27/02 (2006.01)

G01N 27/04 (2006.01)

G01N 27/22 (2006.01)

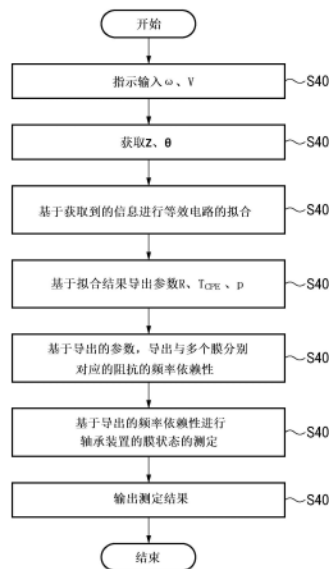
权利要求书1页 说明书10页 附图10页

(54) 发明名称

膜状态测定方法、膜状态测定装置及程序

(57) 摘要

在由润滑剂润滑的第一部件与第二部件之间的膜状态测定方法中,通过对第一部件和所述第二部件施加规定的电压来测定阻抗,基于与形成于第一部件与第二部件之间的多个层分别对应的等效电路对测定出的阻抗进行拟合,由此导出第一部件与第二部件之间的多个层各自的阻抗,基于导出的阻抗来测定第一部件与第二部件之间的膜状态。



1. 一种膜状态测定方法,其特征在于,是由润滑剂润滑的第一部件与第二部件之间的膜状态的测定方法,具有:

测定工序,通过对所述第一部件和所述第二部件施加规定的电压来测定阻抗;

导出工序,基于与形成于所述第一部件与所述第二部件之间的多个层分别对应的等效电路,对在所述测定工序中测定出的阻抗进行拟合,由此导出所述第一部件与所述第二部件之间的多个所述层各自的阻抗;以及

测定工序,基于在所述导出工序中导出的阻抗,测定所述第一部件与所述第二部件之间的膜状态。

2. 根据权利要求1所述的膜状态测定方法,其特征在于,

所述等效电路由所述第一部件与第二部件之间的、与所述润滑剂和形成于所述第一部件及第二部件中的至少一者的覆膜分别对应的准电容构成。

3. 根据权利要求1所述的膜状态测定方法,其特征在于,

所述等效电路是将电阻电路和CPE电路的并联电路串联连接两个而成的电路,

两个所述并联电路中的一者与所述第一部件和第二部件之间的所述润滑剂对应,两个所述并联电路中的另一者与随着所述第一部件和所述第二部件进行动作而形成于所述第一部件和第二部件中的至少一者的覆膜对应。

4. 根据权利要求3所述的膜状态测定方法,其特征在于,

在所述测定工序中,诊断有无形成于所述第一部件和所述第二部件中的至少一者的表面的覆膜作为所述膜状态。

5. 根据权利要求1所述的膜状态测定方法,其特征在于,

所述第一部件和所述第二部件设置于轴承装置,

所述第一部件为滚动体,

所述第二部件为内圈或外圈。

6. 一种膜状态测定装置,其特征在于,是由润滑剂润滑的第一部件与第二部件之间的膜状态的测定装置,具有:

测定单元,所述测定单元通过对所述第一部件和所述第二部件施加规定的电压来测定阻抗;

导出单元,所述导出单元基于与形成于所述第一部件与所述第二部件之间的多个层分别对应的等效电路,对由所述测定单元测定出的阻抗进行拟合,由此导出所述第一部件与所述第二部件之间的多个所述层各自的阻抗;以及

测定单元,所述测定单元基于由所述导出单元导出的阻抗,测定所述第一部件与所述第二部件之间的膜状态。

7. 一种程序,其特征在于,用于使计算机执行以下工序:

测定工序,通过对由润滑剂润滑的第一部件和第二部件施加规定的电压来测定阻抗;

导出工序,基于与形成于所述第一部件与所述第二部件之间的多个层分别对应的等效电路,对在所述测定工序中测定出的阻抗进行拟合,由此导出所述第一部件与所述第二部件之间的多个所述层各自的阻抗;以及

测定工序,基于在所述导出工序中导出的阻抗,测定所述第一部件与所述第二部件之间的膜状态。

## 膜状态测定方法、膜状态测定装置及程序

### 技术领域

[0001] 本发明涉及膜状态测定方法、膜状态测定装置及程序。

### 背景技术

[0002] 以往,在轴承装置、滑动装置等机械装置中,使用润滑剂(例如润滑油、润滑脂)在部件之间的接触面设置期望的覆膜来润滑动作的结构广泛普及。另外,也使用通过在部件的表面预先进行覆膜来保护部件之间的接触区域这样的结构。对于这样的机械装置,通过定期地进行膜状态的监视,从而提前检测损伤、磨损来抑制旋转部件的故障等的产生。

[0003] 在使用润滑剂的机械装置中,为了诊断该膜状态,要求适当地检测内部的状态。例如,在专利文献1中,示出了如下结构:以利用两个滚动轴承支承旋转轴的结构为对象,在与旋转圈、滚动体非接触的状态下判定滚动轴承的覆膜的状态。

[0004] 现有技术文献

[0005] 专利文献

[0006] 专利文献1:日本特开2007-239779号公报

### 发明内容

[0007] 发明欲解决的技术问题

[0008] 例如,在轴承装置中进行旋转动作的情况下,膜状态根据该旋转的过程而变化。更具体而言,在部件之间包含润滑剂和形成于部件表面的覆膜,它们的状态随着旋转的经过而变化。在这样的部件之间,能够将在润滑剂周围构成的多个层结构捕捉为膜状态。并且,寻求通过测定它们来适当地测定多个膜的状态变化的方法。然而,在专利文献1的方法中,无法掌握这样的膜状态的变化。

[0009] 鉴于上述课题,本发明的目的在于提供一种能够测定被润滑的部件之间的多个膜的状态变化的方法。

[0010] 用于解决问题的技术手段

[0011] 为了解决上述问题,本发明具有以下的构成。即,一种膜状态测定方法,其特征在于,

[0012] 是由润滑剂润滑的第一部件与第二部件之间的膜状态测定方法,具有:

[0013] 测定工序,通过对所述第一部件和所述第二部件施加规定的电压来测定阻抗;

[0014] 导出工序,基于与形成于所述第一部件与所述第二部件之间的多个层分别对应的等效电路,对在所述测定工序中测定出的阻抗进行拟合,由此导出所述第一部件与所述第二部件之间的多个所述层各自的阻抗;以及

[0015] 测定工序,基于在所述导出工序中导出的阻抗,测定所述第一部件与所述第二部件之间的膜状态。

[0016] 另外,本发明的另一方式具有以下的构成。即,一种膜状态测定装置,其特征在于,

[0017] 是由润滑剂润滑的第一部件与第二部件之间的膜状态测定装置,具有:

[0018] 测定单元,所述测定单元通过对所述第一部件和所述第二部件施加规定的电压来测定阻抗;

[0019] 导出单元,所述导出单元基于与形成于所述第一部件与所述第二部件之间的多个层分别对应的等效电路,对由所述测定单元测定出的阻抗进行拟合,由此导出所述第一部件与所述第二部件之间的多个所述层各自的阻抗;以及

[0020] 测定单元,所述测定单元基于由所述导出单元导出的阻抗,测定所述第一部件与所述第二部件之间的膜状态。

[0021] 另外,本发明的另一方式具有以下的构成。即,一种程序,其特征在于,用于使计算机执行以下工序:

[0022] 测定工序,通过对由润滑剂润滑的第一部件和第二部件施加规定的电压来测定阻抗;

[0023] 导出工序,基于与形成于所述第一部件与所述第二部件之间的多个层分别对应的等效电路,对在所述测定工序中测定出的阻抗进行拟合,由此导出所述第一部件与所述第二部件之间的多个所述层各自的阻抗;以及

[0024] 测定工序,基于在所述导出工序中导出的阻抗,测定所述第一部件与所述第二部件之间的膜状态。

[0025] 发明效果

[0026] 根据本发明,能够测定被润滑的部件之间的多个膜的状态变化。

## 附图说明

[0027] 图1是用于说明本发明的一实施方式的滚动轴承内的润滑剂周围的概略图。

[0028] 图2A是用于说明本发明的一实施方式的滚动轴承内的润滑剂周围的等效电路的示意图。

[0029] 图2B是用于说明本发明的一实施方式的滚动轴承的等效电路的概略图。

[0030] 图3是示出本发明的一个实施方式的测定装置的构成例的概略图。

[0031] 图4是本发明的一个实施方式的膜状态测定处理的流程图。

[0032] 图5是示出本发明的一个实施方式的测定结果的例子的图表。

[0033] 图6A是用于说明本发明的一实施方式的滚动轴承内的润滑剂周围的状态变化的概略图。

[0034] 图6B是用于说明本发明的一实施方式的滚动轴承内的润滑剂周围的状态变化的概略图。

[0035] 图6C是用于说明本发明的一实施方式的滚动轴承内的润滑剂周围的状态变化的概略图。

[0036] 图7A是表示本发明的一实施方式的测定结果的例子的图表。

[0037] 图7B是表示本发明的一实施方式的测定结果的例子的图表。

[0038] 图7C是表示本发明的一实施方式的测定结果的例子的图表。

[0039] 图7D是表示本发明的一实施方式的测定结果的例子的图表。

## 具体实施方式

[0040] 以下,参照附图等对用于实施本发明的方式进行说明。此外,以下说明的实施方式用于说明本发明的一个实施方式,并不意图限定地解释本发明,另外,在各实施方式中说明的全部结构并不限于为了解决本发明的课题而必须的结构。另外,在各附图中,对于相同的构成要素,通过标注相同的附图标记来表示对应关系。

[0041] <第一实施方式>

[0042] 以下,对本发明的第一实施方式进行说明。另外,在本实施方式中,以一边利用润滑剂进行润滑一边进行滚动动作的滚动轴承为例进行说明。例如,作为能够应用本发明的诊断方法的滚动轴承的种类,可列举深沟球轴承、角接触球轴承、圆锥滚子轴承、圆柱滚子轴承、自动调心滚子轴承等。但是,并不限于此,只要是通过润滑剂进行部件之间的接触位置的润滑而动作的机械装置,就能够应用本实施方式。

[0043] [润滑状态]

[0044] 首先,对本实施方式的润滑剂的润滑状态进行说明。作为本实施方式中的润滑剂,包含润滑油、润滑脂等,但没有特别限定。另外,在本实施方式中,示出了伴随着滚动轴承的旋转动作而在部件表面形成覆膜的例子,但覆膜并不限于由润滑剂的主成分引起的覆膜。例如,也可以应用于增稠剂、树脂保持剂成分的转移膜、氧化覆膜、添加油制剂的边界覆膜、添加极压剂的磷酸铁覆膜等。

[0045] 图1是表示在作为测定对象的滚动轴承100中利用润滑剂进行润滑的位置(部件之间的接触区域周围)的示意结构的图。滚动轴承100构成为包括滚珠等滚动体101和形成滚动面的外圈及内圈。在此,以外圈102为例进行说明。在滚动体101与外圈102之间填充润滑剂103,进行部件之间的润滑。另外,由于滚动轴承100进行旋转,从而在各部件的表面形成覆膜104。覆膜104a表示形成于滚动体101的表面的膜,覆膜104b表示形成于外圈102的表面(滚动面)的膜。

[0046] 实际上,在滚动体101的表面及外圈102的表面分别存在凹凸(粗糙度),但在此,在滚动体101的表面集中示出凹凸作为合成表面粗糙度。

[0047] 覆膜104的状态根据滚动轴承100的动作而变化。在本实施方式中,规定针对它们的等效电路,测定润滑状态、即作为部件之间的多个层而构成的膜状态的变化。另外,在以下的说明中,将用于测定的电源作为交流电源进行说明。

[0048] 图2是表示滚动轴承100内的润滑剂103周围的电气等效的电路的图。电路E具有由润滑剂103构成的电容器C与其周边的要素引起的电阻R并联连接的结构。此处的周边的要素可列举构成滚动轴承100的滚动体(滚子、滚珠等)、内圈、外圈等。另外,用Z表示电路E的阻抗。在此,施加于电路E的交流电压V、流过电路E的电流I以及电路E整体的复阻抗Z由以下的式(1)~(3)表示。

$$[0049] \quad V = |V| \exp(j\omega t) \cdots (1)$$

$$[0050] \quad I = |I| \exp(j(\omega t - \theta)) \cdots (2)$$

$$[0051] \quad Z = V/I = |V/I| \exp(j\theta) = |Z| \exp(j\theta) \cdots (3)$$

[0052] j:虚数

[0053]  $\omega$ :电压的角频率

[0054] t:时间

[0055]  $\theta$ :相位角(电压与电流的相位的偏移)

[0056] 在本实施方式中,应用电化学阻抗分光法(EIS)进行测定。电化学阻抗分光法是区别地捕捉溶液、电极/溶液界面的阻抗行为的方法,其是公知的方法,因此在此省略详细的说明。

[0057] 如图1所示,在接触区域周围,润滑剂103和覆膜104(包括覆膜104a、104b)是多层结构,这能够视为润滑剂103和覆膜104串联连接的电路。图2B表示相对于润滑剂103和覆膜104在电气上等价的电路。在本实施方式中,设想滚动体以及外圈的表面粗糙度,代替图2A所示的电容器C而使用CPE(Constant Phase Element;准电容)。在此,将润滑剂103周围的电阻表示为R1,将CPE表示为CPE1。同样地,将覆膜104周围的电阻表示为R2,将CPE表示为CPE2。

[0058] CPE是一并具有由电极表面的凹凸、不均匀性引起的电容器和电阻的要素的电路元件。在CPE中,时间常数不确定为一个。CPE的阻抗由以下的式(4)表示。CPE在 $p=1$ 的情况下,成为基于CPE常数 $T_{CPE}$ 的电容器,在 $p=0$ 的情况下,成为电阻值为 $1/T_{CPE}$ 的电阻。另外,R-CPE并联电路表示压扁的半圆,其压扁情况依赖于 $p$ 。

[0059] [数1]

$$[0060] \quad Z_{CPE} = \frac{1}{(j2\pi f)^p T_{CPE}} \cdots (4)$$

[0061]  $Z_{CPE}$ :阻抗

[0062]  $j$ :虚数

[0063]  $\pi$ :圆周率

[0064]  $f$ :频率

[0065]  $T_{CPE}$ :CPE常数

[0066]  $p$ :CPE指数

[0067] 在本实施方式中,基于图2B所示的等效电路,通过应用电化学阻抗分光法(EIS),从而将滚动轴承100的接触区域中的膜状态、即润滑剂与覆膜分离来进行判定。

[0068] [装置结构]

[0069] 图3是表示能够应用本实施方式的膜状态测定方法的系统1的整体结构的一例的概略结构图。在图3中,使用本实施方式的膜状态测定方法的系统1表示测定装置10、LCR仪表20及作为测定对象的轴承装置30。另外,图3所示的结构是一例,可以根据测定对象等而使用不同的结构。

[0070] 轴承装置30构成为包括两个滚动轴承。在图3的例子中,示出了两个球轴承31a、31b的例子。球轴承31a、31b设置于旋转轴40的周围,构成为能够使旋转轴40旋转。在球轴承31a、31b的内部,通过规定的润滑方式,减轻各滚动轴承内的摩擦。润滑方式没有特别限定,例如使用润滑脂润滑、油润滑等,向各滚动轴承内部供给。对于润滑剂的种类也没有特别限定。

[0071] 球轴承31a、31b分别构成为包括外圈、作为滚动体的多个滚珠以及内圈。对球轴承31a、31b为相同结构的情况进行说明。在图3的例子中,将各滚动轴承的内圈作为滚动圈,将外圈作为固定圈进行说明,但也可以是相反的结构。此外,在本实施方式中,示出了轴承装置30构成为包括两个球轴承的例子,但即使是由一个滚动轴承构成的轴承装置也同样能够

应用。另外,构成为对轴承装置30加载规定方向的载荷(径向载荷、轴向载荷)。

[0072] 马达50是驱动用的马达,经由旋转带等对旋转轴40供给旋转的动力。加热器60用于将作为测定对象的轴承装置30的周围的温度保持为规定的温度。LCR仪表20与轴承装置30、旋转轴40电连接,此时,LCR仪表20也作为针对轴承装置30的交流电源发挥功能。

[0073] 测定装置10作为能够执行本实施方式的膜状态测定方法的测定装置进行动作。测定装置10在测定时,将交流电源的角频率 $\omega$ 及交流电压 $V$ 作为输入而对LCR仪表20进行指示,作为对此的输出而从LCR仪表20获取轴承装置30的阻抗 $|Z|$ ( $|Z|$ 表示 $Z$ 的绝对值)及相位角 $\theta$ 。然后,测定装置10使用这些值来进行轴承装置30中的润滑剂的膜状态的监视。关于膜状态测定方法的详细内容将后述。

[0074] 测定装置10例如可以通过构成为包括未图示的控制装置、存储装置以及输出装置在内的信息处理装置来实现。控制装置可以由CPU(Central Processing Unit:中央处理器)、MPU(Micro Processing Unit:微处理器)、DSP(Digital Single Processor:数位讯号处理器)或专用电路等构成。存储装置由HDD(Hard Disk Drive:硬盘驱动器)、ROM(Read Only Memory:只读存储器)、RAM(Random Access Memory:随机存取存储器)等易失性以及非易失性的存储介质构成,能够根据来自控制装置的指示进行各种信息的输入输出。输出装置由扬声器、灯或液晶显示器等显示设备等构成,根据来自控制装置的指示,进行向作业者的输出。输出装置的输出方法没有特别限定,例如可以是基于画面输出的视觉输出,也可以是基于声音的听觉输出。另外,输出装置可以是具备通信功能的网络接口,也可以通过经由网络(未图示)向外部装置(未图示)发送数据来进行输出动作。这里的输出内容例如在基于测定结果进行了膜状态的测定的情况下,并不限于检测到异常时的输出,也可以包括表示轴承装置30正常的含义的输出。

[0075] [处理流程]

[0076] 图3是本实施方式的膜状态测定处理的流程图。本处理由测定装置10执行,例如,可以通过测定装置10所具备的控制装置(未图示)从存储装置(未图示)读取用于实现本实施方式的处理的程序并执行来实现。此外,以下的处理中的拟合、参数的导出可以构成为使用通用软件的功能来实现其一部分。

[0077] 在S401中,测定装置10对LCR仪表20进行控制,以使用LCR仪表20所具备的交流电源(未图示)将角频率 $\omega$ 的交流电压 $V$ 的电力提供给轴承装置30(即,球轴承31a、31b)。由此,对各滚动轴承内的润滑剂施加角频率 $\omega$ 的交流电压 $V$ 。

[0078] 在S402中,测定装置10从LCR仪表20获取阻抗 $|Z|$ 和相位角 $\theta$ 作为针对在S401中指示的输入的输入。即,LCR仪表20将阻抗 $|Z|$ 和相位角 $\theta$ 作为轴承装置30对作为输入的角频率 $\omega$ 的交流电压 $V$ 的测定结果并输出到测定装置10。

[0079] 在S403中,测定装置10基于在S402中获取的阻抗 $|Z|$ 以及相位角 $\theta$ 、在S401中指示的角频率 $\omega$ 的交流电压 $V$ 的信息,进行向基于图2B所示的等效电路的式子的拟合(应用)。

[0080] 在S404中,测定装置10能够根据S403的拟合的结果,确定与图2B所示的等效电路对应的式(4)中的各参数。这里确定的参数为 $R$ 、 $T_{CPE}$ (CPE常数)、 $p$ (CPE指数)。此时,导出与能够视为串联连接的润滑剂103和覆膜104分别对应的上述参数。

[0081] 在S405中,测定装置10使用在S404中导出的各参数,导出与润滑剂103以及覆膜104分别对应的阻抗 $Z$ 的频率依赖性。关于阻抗 $Z$ 的频率依赖性的例子,使用图7A~图7D等在

后文说明。

[0082] 在S406中,测定装置10基于在S405中导出的阻抗Z的频率依赖性的结果,进行针对润滑剂103以及覆膜104的膜状态的测定。此处的测定内容没有特别限定,例如可以确定上述的覆膜的形成的有无、其状态。进而,也可以通过本专利申请人的日本专利第6729633号公报中记载的方法,导出润滑油膜厚度h、金属接触比例 $\alpha$ 。而且,也可以构成为,对润滑油膜厚度h、金属接触比例 $\alpha$ 设定规定的阈值,通过与该阈值的比较来诊断正常或异常。另外,也可以构成为预先设定与异常的紧急度对应的多个阈值,通过与这些阈值的比较来诊断紧急度。另外,也可以构成为:针对润滑剂103、覆膜104各自的状态预先设定阈值、评价基准,通过与它们的比较来进行基于膜状态的诊断。

[0083] 在S407中,测定装置10对用户输出在S406中得到的测定结果。此处的输出方法并无特别限定,例如可为将判断为异常的参数、项目显示在画面上,或利用语音进行通知的结构。然后,结束本处理流程。

[0084] [试验]

[0085] 以下,对使用上述的膜状态测定方法进行的试验的结果进行说明。试验的条件如下。

[0086] (试验条件)

[0087] 使用轴承:深沟球轴承(编号:608)

[0088] 温度(外圈):150°C

[0089] 旋转速度:6000[ $\text{min}^{-1}$ ]

[0090] 轴向载荷:32[N]

[0091] 径向载荷:0[N]

[0092] 最大接触压力:1.0[GPa]

[0093] 交流频率:20Hz ~ 1000000[Hz]

[0094] 交流电压:0.2V

[0095] (使用润滑剂)

[0096] 基础油:聚 $\alpha$ 烯烃油(PAO)

[0097] 封入量:1[mg]

[0098] 运动粘度:130[ $\text{mm}^2/\text{s}$ ](40°C下)

[0099] 相对介电常数:2.1

[0100] (试验结果)

[0101] 图5表示在上述试验条件下得到的试验结果。在此,将3个图表对应起来示出。在各图表中,横轴表示时间[分钟],表示从轴承装置开始旋转起的时间经过。上述图表表示试验中的温度(线501)和转矩(线502)的值。中间的图表表示基于导出的阻抗的结果导出的润滑剂周围的润滑油膜厚度h。另外,下方的图表示出基于导出的阻抗的结果而导出的、表示部件之间的接触比例的金属接触比例 $\alpha$ ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )。需要说明的是,在此,未考虑覆膜的影响,示出通过测定得到的阻抗Z全部由油膜引起的润滑油膜厚度及金属接触比例。

[0102] 另外,虚线521表示阻抗|Z|增加的时刻,虚线522表示轴承装置的旋转停止的时刻。另外,虚线523表示理论油膜厚度 $h_{\text{theory}}$ 。理论油膜厚度 $h_{\text{theory}}$ 作为一例,表示使用公知的Hamrock&Dowson公式算出的值。

[0103] 在本实施方式中,作为润滑剂周围的状态变化,以三个状态为例进行说明。图6A~图6C是表示润滑剂周围的3个膜状态的示意构成的概略图。图6A表示在滚动轴承600内的滚动体601以及外圈602的表面未形成覆膜的状态(以下,称为“状态A”)。在该状态A下,在滚动体601与外圈602之间存在润滑剂603。在滚动体601的表面及外圈602的表面分别存在凹凸(粗糙度),但与图1同样,在此,在滚动体101的表面集中示出凹凸。

[0104] 图6B表示在滚动轴承600内的滚动体601以及外圈602各自的表面形成有覆膜604a、604b的状态(以下,称为“状态B”)。图6C表示在滚动轴承600内的滚动体601及外圈602各自的表面形成有覆膜604a、604b且覆膜604a与覆膜604b接触的状态(以下,称为“状态C”)。

[0105] 将与图5的绘图511对应的测定结果示于图7A。图7A是横轴表示频率[Hz]的对数、纵轴表示相位角 $\theta$ [°]的半对数图表。绘图511位于轴承装置开始旋转而阻抗 $|Z|$ 增加的时刻(虚线521)之前。此外,以下所示的图7A~图7D中的绘图701、711、721、731的信息通过上述的图4所示的流程图的S401、S402的工序的动作来确定。

[0106] 在图7A中,绘图701表示实际的测定结果。线702表示基于作为绘图701而得到的结果,仅与由润滑剂的层引起的电路结构(即,由图2B的电阻R1和CPE1构成的并联电路)拟合而得到的推定结果。线703表示基于作为绘图701而得到的结果,仅与由覆膜的层引起的电路结构(即,由图2B的电阻R2和CPE2构成的并联电路)拟合而得到的推定结果。线703、704作为图4所示的S404、S405的结果而得到。

[0107] 参照图7A,表示测定结果的绘图701大致与线702一致,仅得到由一个并联电路引起的一个峰值。由此,在图5的绘图511的时刻,几乎没有由覆膜的层引起的电路结构(即,由图2B的电阻R2和CPE2构成的并联电路)的影响,润滑剂周围的状态被推定为相当于仅由润滑剂的层引起的电路结构(即,由图2B的电阻R1和CPE1构成的并联电路)的图6A所示的状态A。即,成为未形成覆膜604的状态。

[0108] 将与图5的绘图512对应的测定结果示于图7B。图7B是横轴表示频率[Hz]的对数、纵轴表示相位角 $\theta$ [°]的半对数图表。绘图512位于轴承装置开始旋转而阻抗 $|Z|$ 增加的时刻(虚线521)之后。

[0109] 在图7B中,绘图711表示实际的测定结果。线712表示基于作为绘图711而得到的结果,仅与由润滑剂的层引起的电路结构(即,由图2B的电阻R1和CPE1构成的并联电路)拟合而得到的推定结果。线713表示基于作为绘图711而得到的结果,仅与由覆膜的层引起的电路结构(即,由图2B的电阻R2和CPE2构成的并联电路)拟合而得到的推定结果。线712、713作为图4所示的S404、S405的结果而得到。

[0110] 参照图7B,与图7A所示的测定结果相比,峰值向左侧移动,但与图7A同样地,仅得到一个峰值,在图5的绘图512的时刻,几乎没有由覆膜的层引起的电路结构(即,由图2B的电阻R2和CPE2构成的并联电路)的影响。即,推定润滑剂周围的状态相当于仅由润滑剂的层引起的电路结构(即,由图2B的电阻R1和CPE1构成的并联电路)的图6A所示的状态A。即,与绘图511同样地,成为未形成覆膜604的状态。

[0111] 将与图5的绘图513对应的测定结果示于图7C。图7C是横轴表示频率[Hz]的对数、纵轴表示相位角 $\theta$ [°]的半对数图表。绘图513是从轴承装置开始旋转而阻抗 $|Z|$ 增加的时刻(虚线521)起经过了一定的时间的时刻,位于绘图512之后。

[0112] 在图7C中,绘图721表示实际的测定结果。线722表示基于作为绘图721而得到的结果,仅与由润滑剂的层引起的电路结构(即,由图2B的电阻R1和CPE1构成的并联电路)拟合而得到的推定结果。线723表示基于作为绘图721而得到的结果,仅与由覆膜的层引起的电路结构(即,由图2B的电阻R2和CPE2构成的并联电路)拟合而得到的推定结果。线722、723作为图4所示的S404、S405的结果而得到。

[0113] 参照图7C,绘图721表示具有由两个并联电路引起的两个峰值的曲线。由此可以看出,在图5的绘图513的时刻点,产生了由覆膜的层引起的电路结构(即,由图2B的电阻R2和CPE2构成的并联电路)和由润滑剂的层引起的电路结构(即,由图2B的电阻R1和CPE1构成的并联电路)双方的影响。因此,推定为相当于图6B所示的状态B。即,成为形成有覆膜604的状态B。

[0114] 将与图5的绘图514对应的测定结果示于图7D。图7D是横轴表示频率[Hz]的对数、纵轴表示相位角 $\theta$ [°]的半对数图表。绘图514位于轴承装置停止旋转的时刻(虚线522)之后。

[0115] 在图7D中,绘图721表示实际的测定结果。线722表示仅基于由润滑剂的层引起的电路结构(即,由图2B的电阻R1和CPE1构成的并联电路)进行拟合而得到的推定结果。线723表示仅基于由覆膜的层引起的电路结构(即,由图2B的电阻R2和CPE2构成的并联电路)进行拟合而得到的推定结果。

[0116] 参照图7D,表示测定结果的绘图721与线723一致,仅得到由一个并联电路引起的一个峰值。由此,在图5的绘图514的时间点,推定为相当于由润滑剂的层引起的电路结构(即,由图2B的电阻R1和CPE1构成的并联电路)与由覆膜的层引起的电路结构(即,由图2B的电阻R2和CPE2构成的并联电路)接触的图6C所示的状态C。需要说明的是,在状态C下,轴承装置的旋转停止,因此在部件的表面形成的覆膜彼此接触,仅覆膜的峰值不存在。即,在没有覆膜的状态下金属彼此接触的情况下,阻抗 $|Z|$ 大致为0,但在形成有覆膜的情况下,在旋转停止的情况下也表现出作为R-CPE的并联电路的举动。

[0117] 如上所述,根据本实施方式的结构,能够判定润滑剂周围的膜状态,更具体而言,能够判定有无覆膜。此外,可以基于上述检测结果来估计润滑剂、覆膜的厚度。关于润滑剂、覆膜的厚度,如上所述,能够通过使用基于分光阻抗法的测定参数( $\omega$ 、 $V$ 、 $Z$ 、 $\theta$ )并应用于公知的方法来导出。

[0118] <其他实施方式>

[0119] 在上述的实施方式中,列举了滚动轴承为例,但并不限于此,对于由润滑剂形成层结构的其他装置也同样能够应用。

[0120] 另外,在上述的实施方式中,作为向轴承装置施加的电压,以交流电压为例进行了说明。但是,并不限于此,例如也可以是规定的脉冲、矩形电压。

[0121] 另外,在本发明中,也能够通过使用网络或者存储介质等向系统或者装置供给用于实现上述的一个以上的实施方式的功能的程序、应用程序,该系统或者装置的计算机中的一个以上的处理器读取并执行程序的处理来实现。

[0122] 另外,也可以通过实现一个以上的功能的电路(例如,ASIC(Application Specific Integrated Circuit:专用集成电路)、FPGA(Field Programmable Gate Array:现场可编程门阵列))来实现。

[0123] 这样,本发明并不限定于上述的实施方式,将实施方式的各结构相互组合、本领域技术人员基于说明书的记载以及公知的技术进行变更、应用也是本发明的预定内容,包含在要求保护的范围内。

[0124] 如上所述,在本说明书中公开了以下事项。

[0125] (1) 一种膜状态测定方法,是被润滑剂(例如,103)润滑的第一部件(例如,101)与第二部件(例如,102)之间的膜状态测定方法,其特征在于,

[0126] 具有:测定工序(例如,S401、S402),通过对所述第一部件和所述第二部件施加规定的电压来测定阻抗;

[0127] 导出工序(例如,S403、S404、S405),通过基于与在所述第一部件与所述第二部件之间形成的多个层(例如,103、104)分别对应的等效电路(例如,图2B)对在所述测定工序中测定出的阻抗进行拟合,来导出所述第一部件与所述第二部件之间的多个所述层各自的阻抗;以及

[0128] 测定工序(例如,S406),基于在所述导出工序中导出的阻抗来测定所述第一部件与所述第二部件之间的膜状态。

[0129] 根据该结构,能够测定被润滑的部件之间的多个膜的状态变化。

[0130] (2) 根据(1)所述的膜状态测定方法,其特征在于,

[0131] 所述等效电路由所述第一部件与第二部件之间的、与所述润滑剂和形成于所述第一部件及第二部件中的至少一者的覆膜分别对应的准电容(例如CPE1、CPE2)构成。

[0132] 根据该结构,能够以部件之间的润滑剂和部件表面的覆膜为对象,考虑部件表面的表面粗糙度来测定膜状态。

[0133] (3) 根据(1)所述的膜状态测定方法,其特征在于,

[0134] 所述等效电路是将电阻电路和CPE电路的并联电路串联连接两个而成的电路(例如,图2B),

[0135] 两个所述并联电路中的一者对应于所述第一部件与第二部件之间的所述润滑剂(例如,103),另一者对应于随着所述第一部件和所述第二部件进行动作而形成于所述第一部件和第二部件中的至少一者的覆膜(例如,104a、104b)。

[0136] 根据该结构,能够以部件之间的润滑剂和伴随部件的动作而形成的覆膜为对象来测定膜状态。

[0137] (4) 根据(3)所述的膜状态测定方法,其特征在于,

[0138] 在所述测定工序中,诊断有无形成于所述第一部件和所述第二部件中的至少一者的表面的覆膜作为所述膜状态。

[0139] 根据该结构,能够将部件之间的伴随部件的动作而形成的覆膜的有无作为膜状态进行测定。

[0140] (5) 根据(1)所述的膜状态测定方法,其特征在于,

[0141] 所述第一部件和所述第二部件设置于轴承装置(例如30),所述第一部件为滚动体,

[0142] 所述第二部件为内圈或外圈。

[0143] 根据该结构,能够以滚动装置为对象,测定其内部的滚动体与内外圈之间的膜状态。

[0144] (6) 一种膜状态测定装置,是由润滑剂(例如,103)润滑的第一部件(例如,101)与第二部件(例如,102)之间的膜状态测定装置(例如,10),其特征在于,具有:

[0145] 测定单元(例如,20),其通过对所述第一部件和所述第二部件施加规定的电压来测定阻抗;

[0146] 导出单元(例如,10),其基于与形成于所述第一部件与所述第二部件之间的多个层(例如,103、104)分别对应的等效电路,对由所述测定单元测定出的阻抗进行拟合,由此导出所述第一部件与所述第二部件之间的多个所述层各自的阻抗;以及

[0147] 测定单元(例如,10),其基于由所述导出单元导出的阻抗,测定所述第一部件与所述第二部件之间的膜状态。

[0148] 根据该结构,能够测定被润滑的部件之间的多个膜的状态变化。

[0149] (7) 一种程序,用于使计算机(例如,10)执行以下工序:

[0150] 测定工序(例如,S401、S402),通过对由润滑剂(例如,103)润滑的第一部件(例如,101)和第二部件(例如,102)施加规定的电压来测定阻抗;

[0151] 导出工序(例如,S403、S404、S405),通过基于与在所述第一部件与所述第二部件之间形成的多个层(例如,103、104)分别对应的等效电路对在所述测定工序中测定出的阻抗进行拟合,来导出所述第一部件与所述第二部件之间的多个所述层各自的阻抗;以及

[0152] 测定工序(例如,S406),基于在所述导出工序中导出的阻抗来测定所述第一部件与所述第二部件之间的膜状态。

[0153] 根据该结构,能够测定被润滑的部件之间的多个膜的状态变化。

[0154] 以上,参照附图对各种实施方式进行了说明,但本发明当然不限于该例。只要是本领域技术人员,就能够在权利要求书所记载的范畴内想到各种变更例或修正例是显而易见的,这些变更例或修正例当然也属于本发明的技术范围。另外,在不脱离发明的主旨的范围内,也可以任意地组合上述实施方式中的各构成要素。

[0155] 以上,对各种实施方式进行了说明,但本发明当然不限于该例。只要是本领域技术人员,就能够在权利要求书所记载的范畴内想到各种变更例或修正例是显而易见的,这些变更例或修正例当然也属于本发明的技术范围。另外,在不脱离发明的主旨的范围内,也可以任意地组合上述实施方式中的各构成要素。

[0156] 另外,本申请是基于2022年11月7日申请的日本专利申请(日本特愿2022-178452),其内容作为参照引用于本申请中。

[0157] 附图标记说明

[0158] 1 系统

[0159] 10 测定装置

[0160] 20 LCR仪表

[0161] 30 轴承装置

[0162] 40 旋转轴

[0163] 50 马达

[0164] 60 加热器

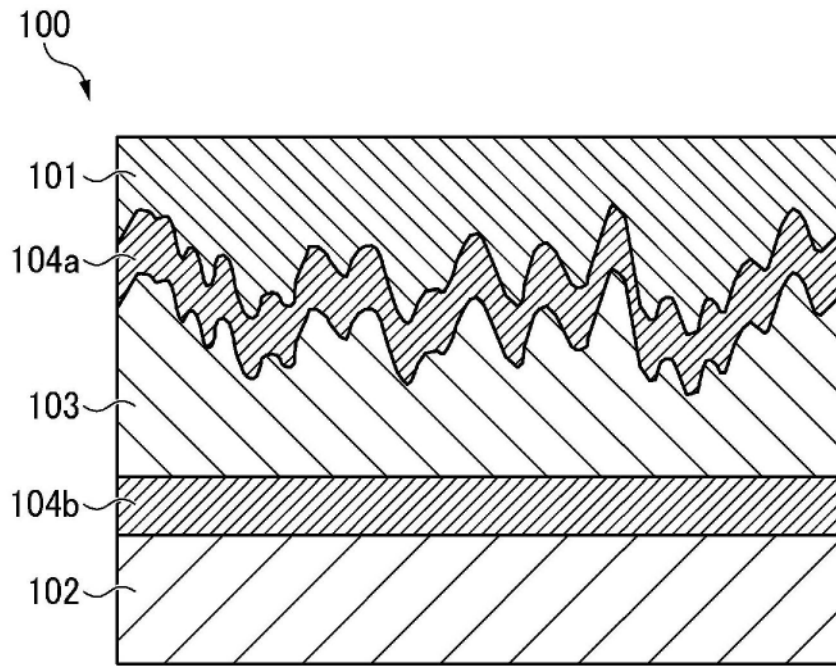


图1

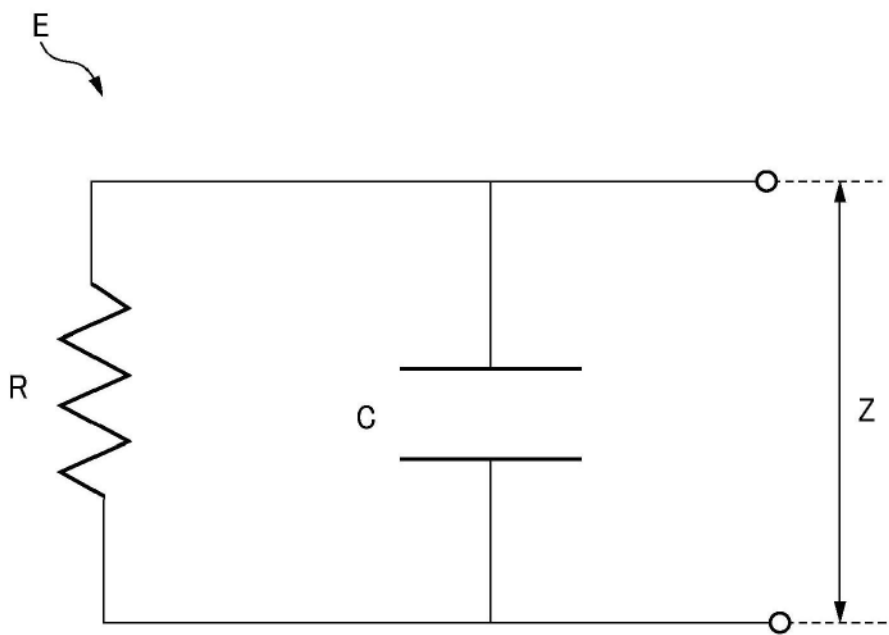


图2A

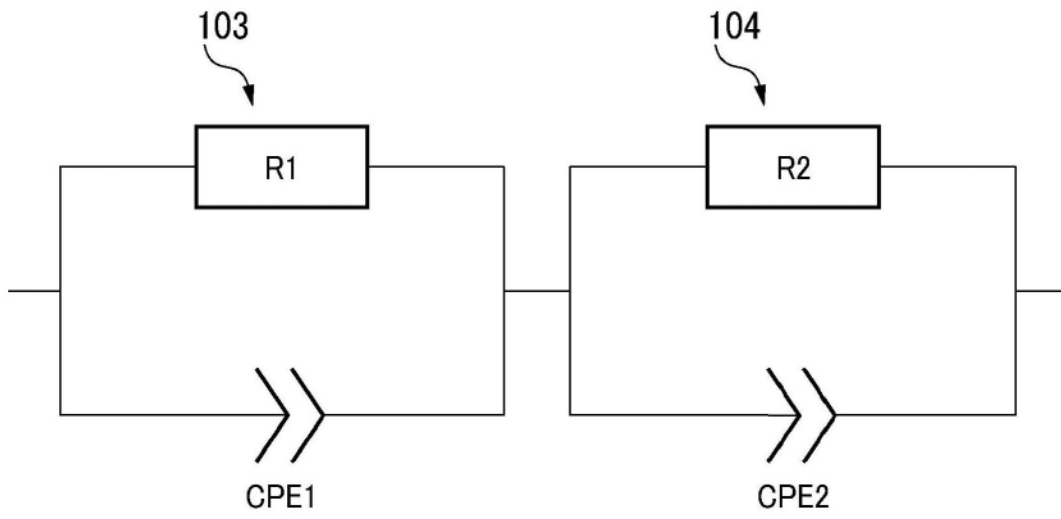


图2B

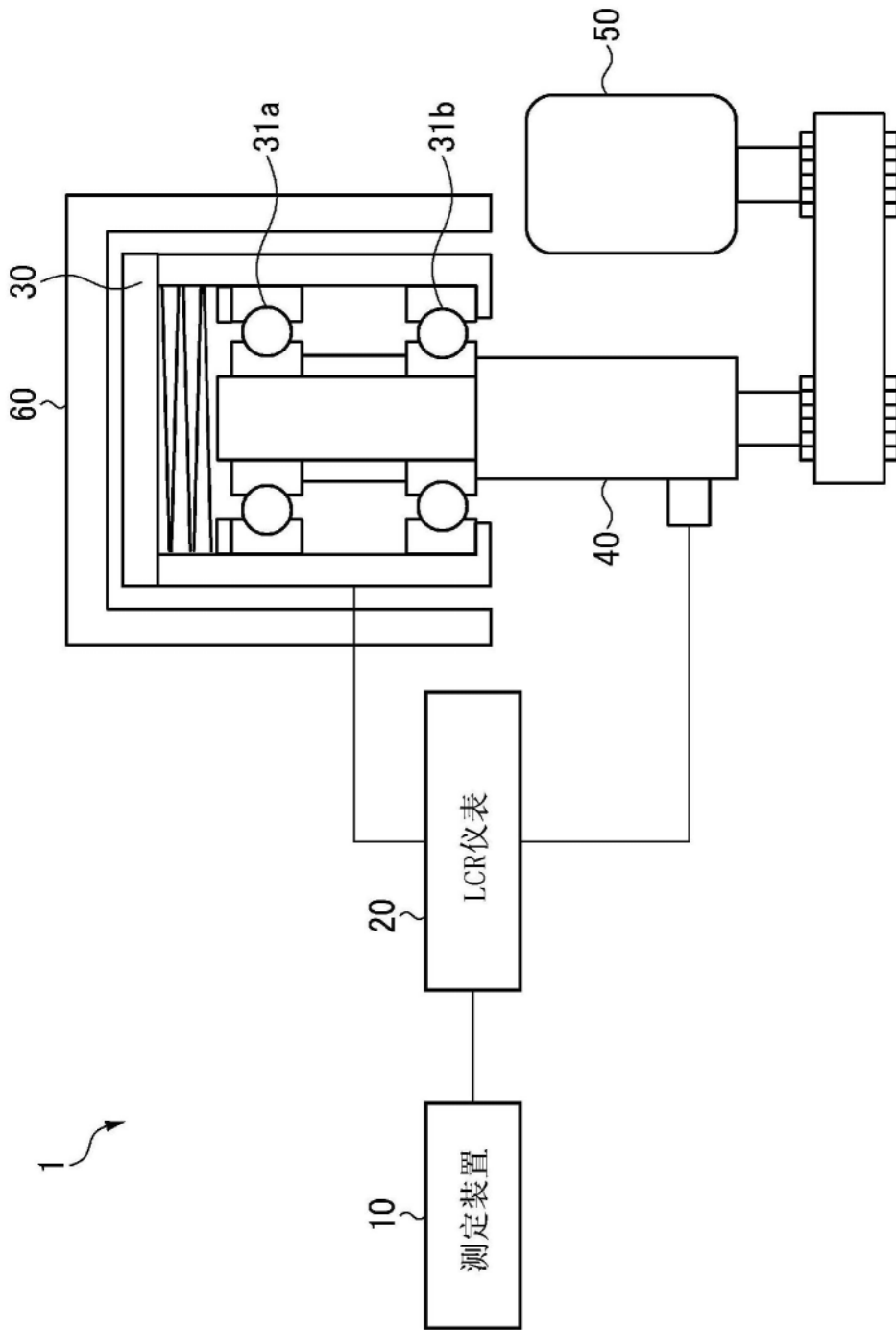


图3

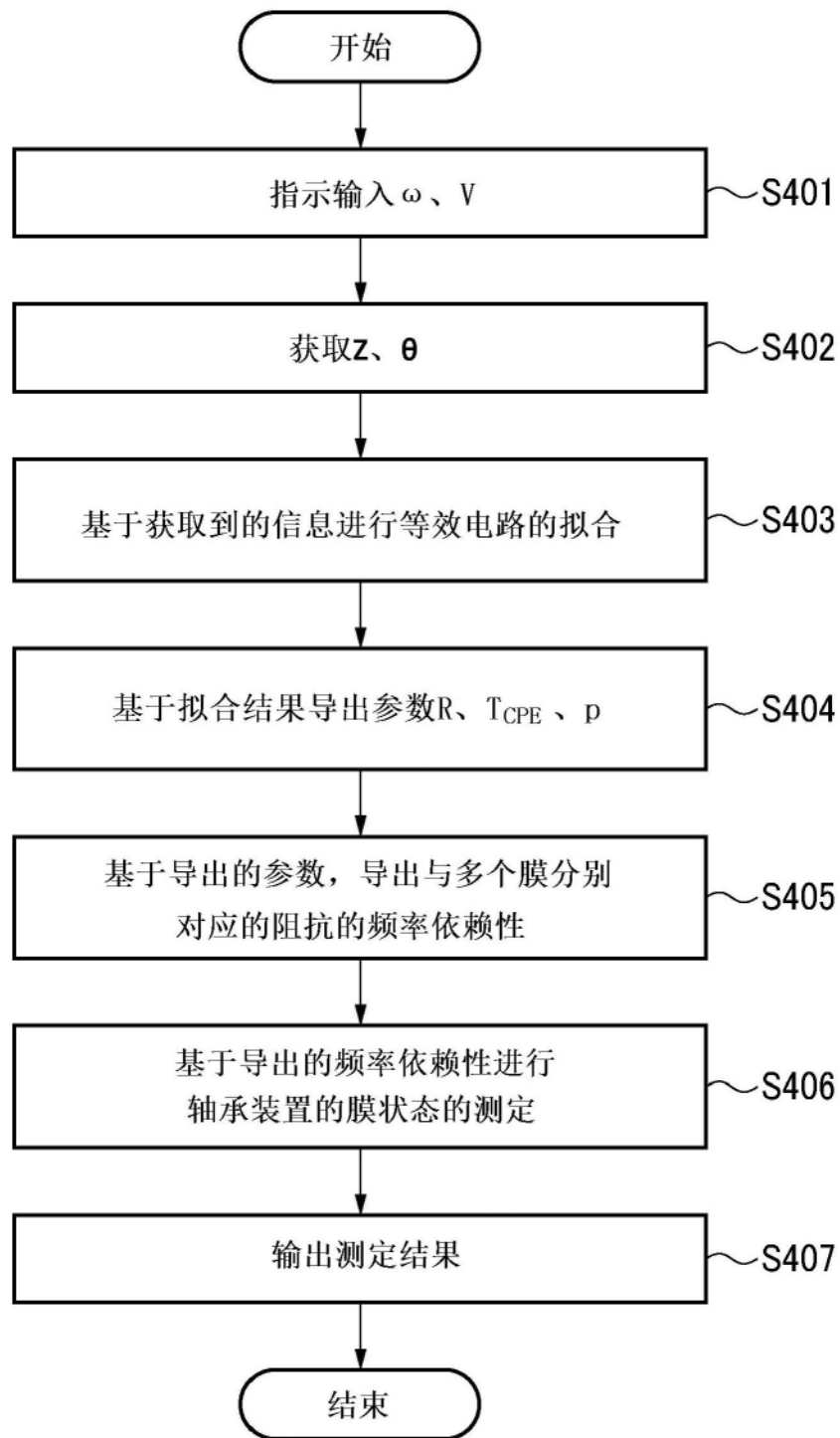


图4

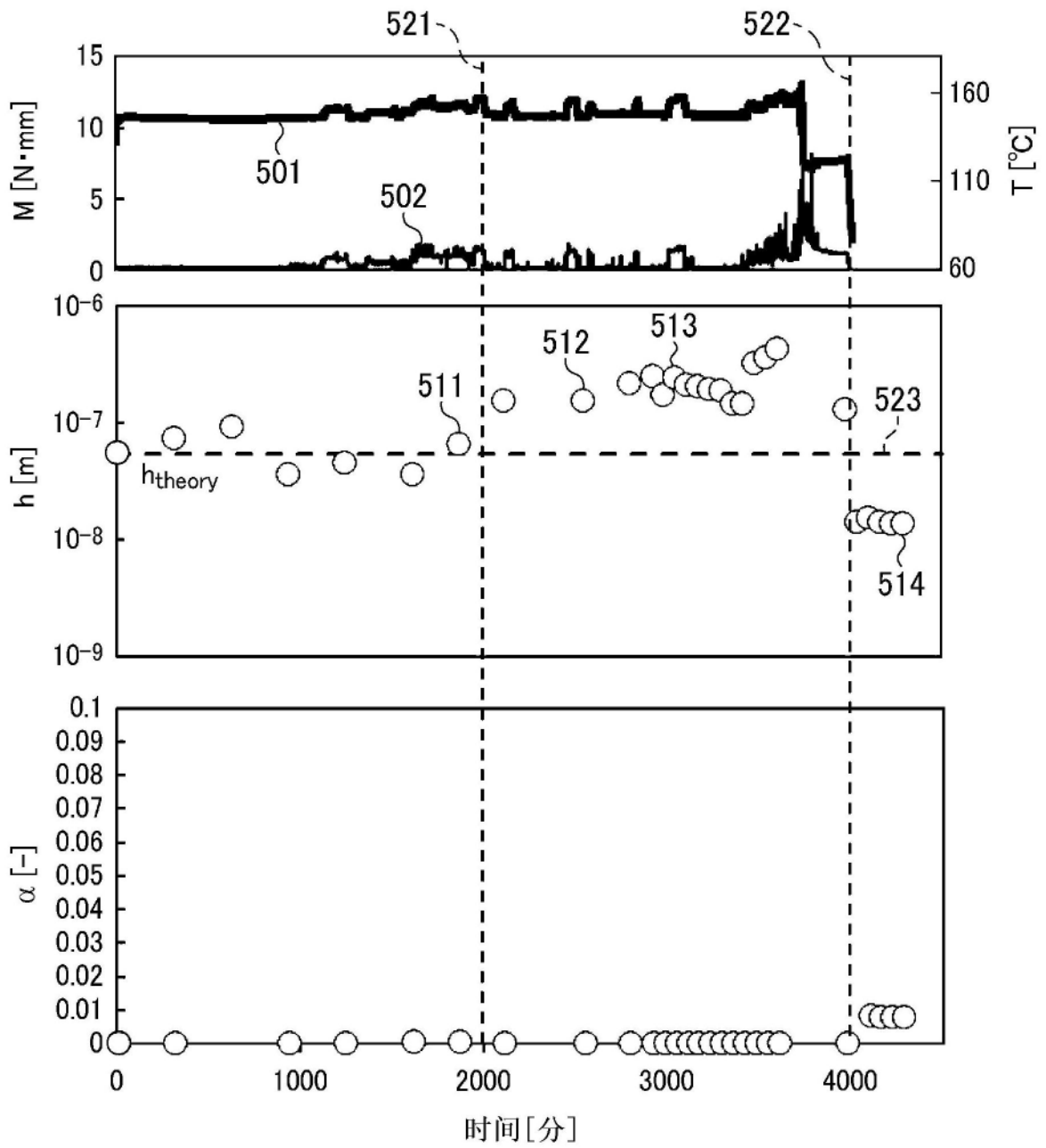


图5

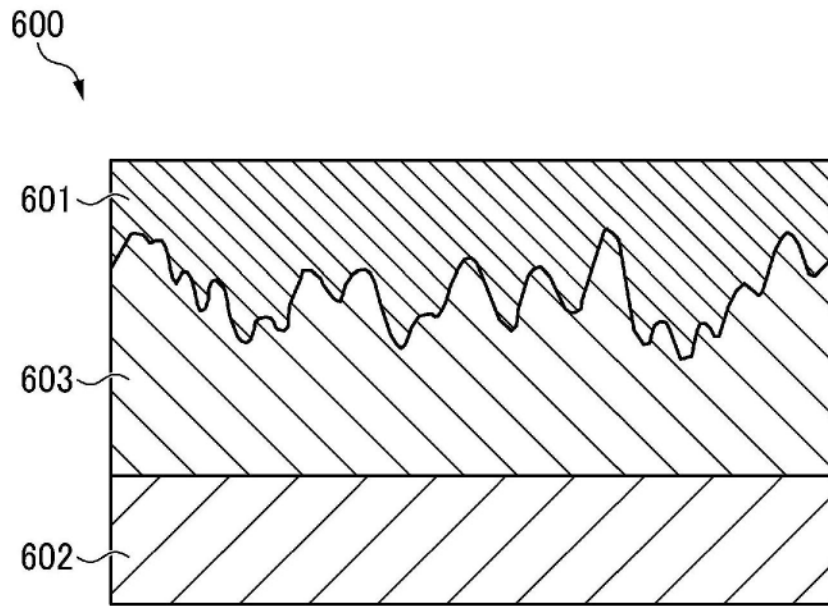


图6A

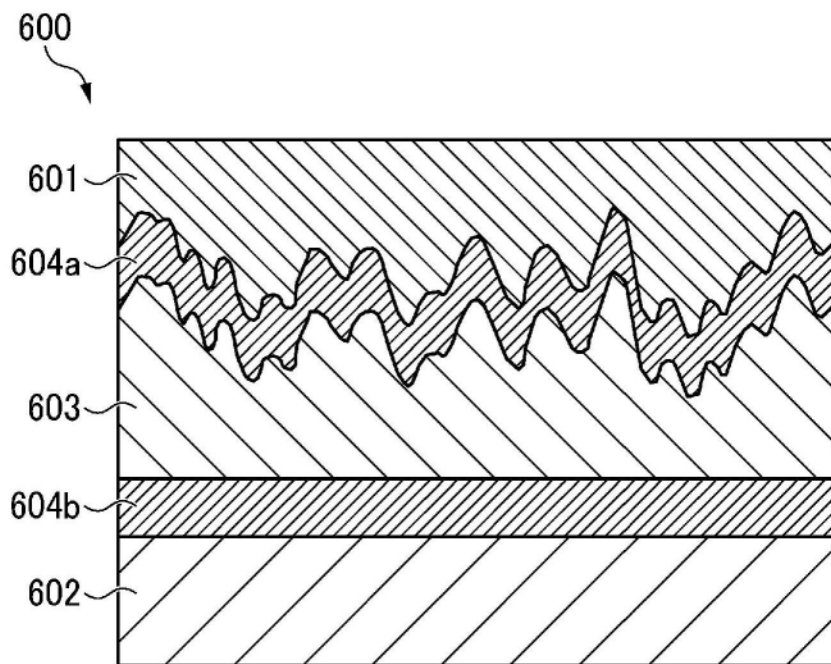


图6B

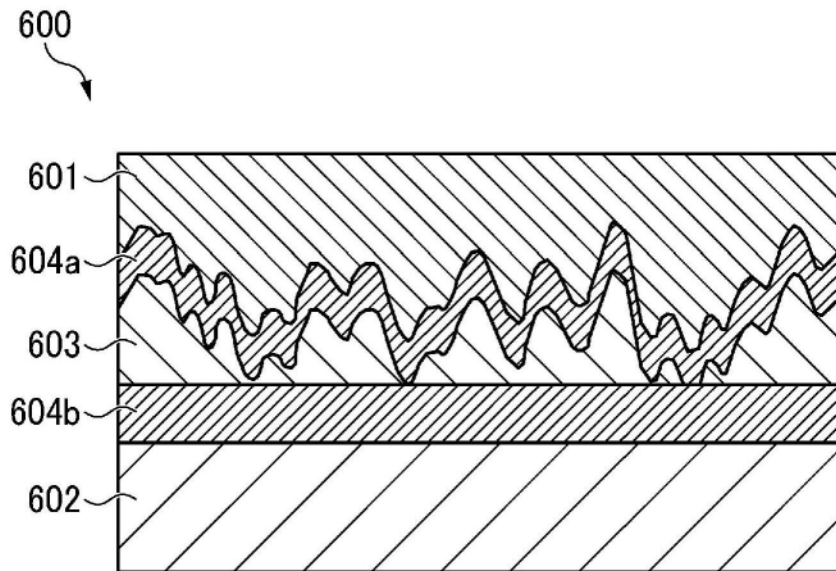


图6C

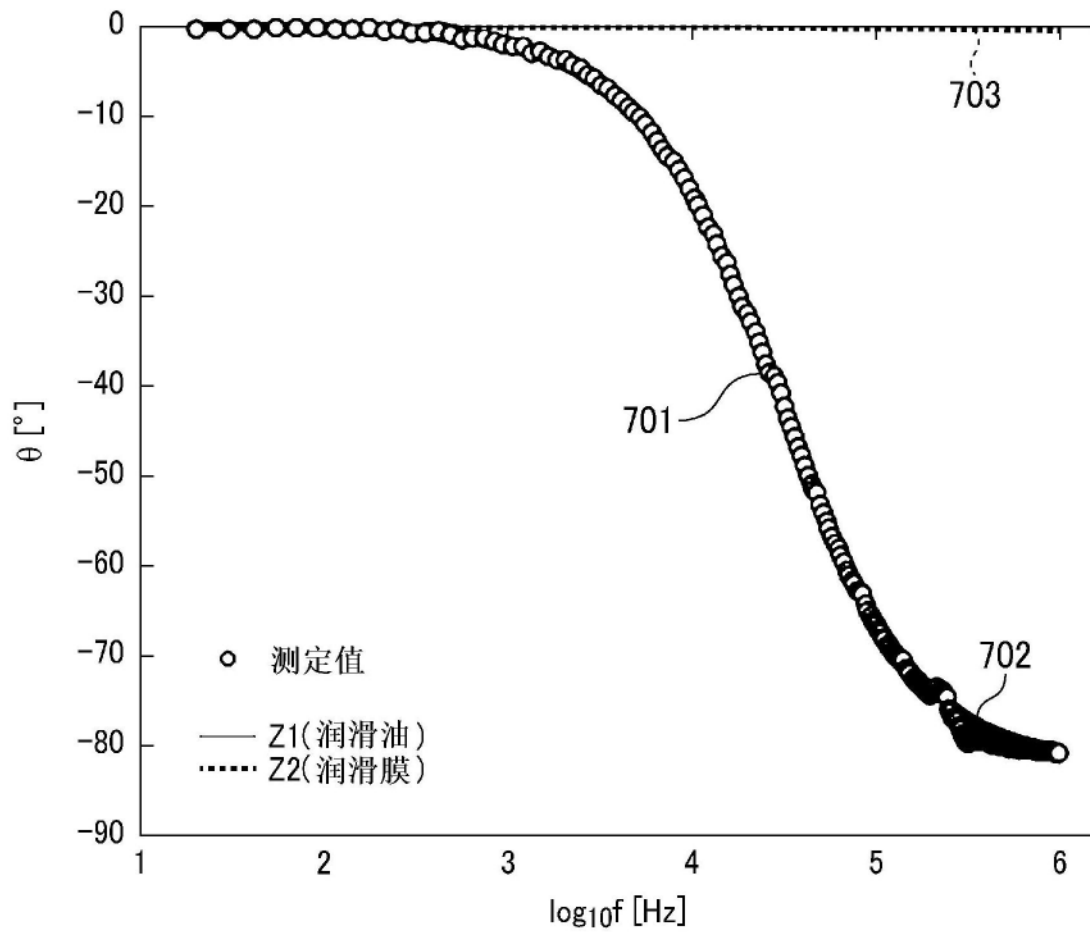


图7A

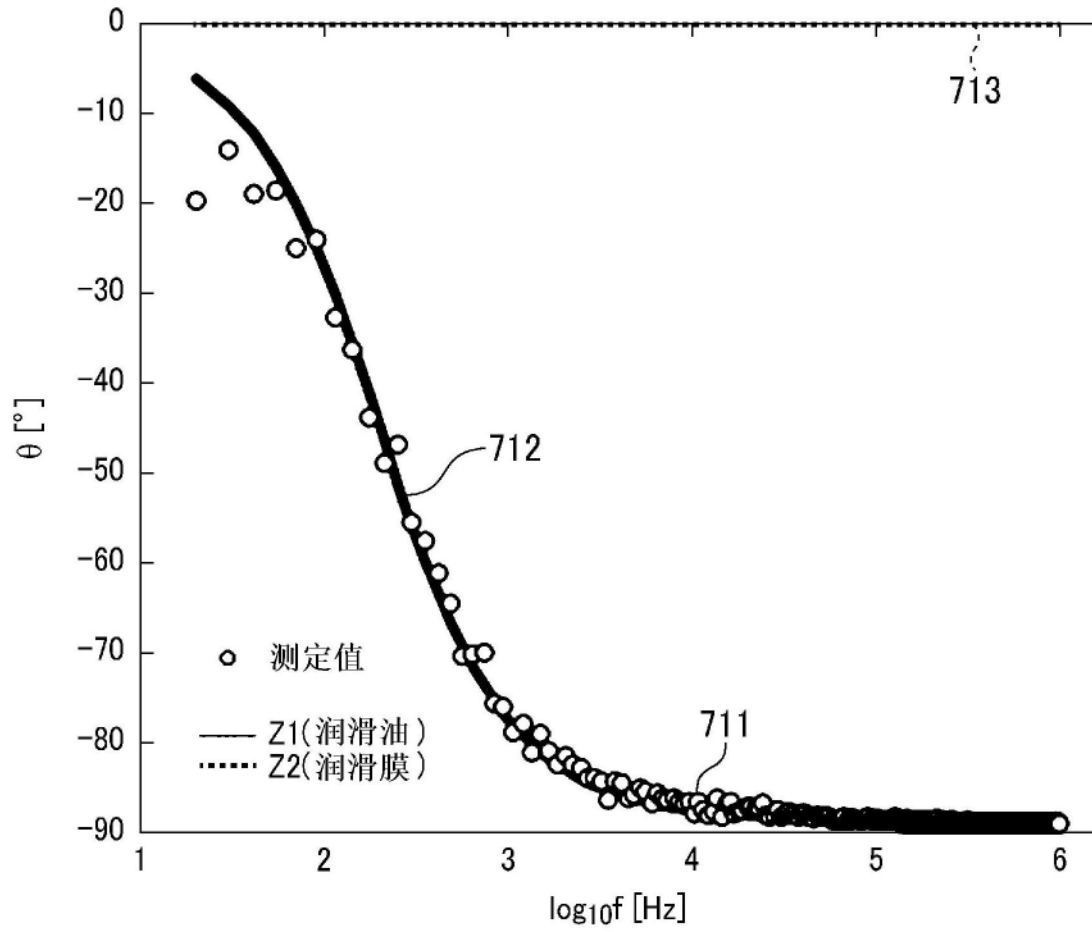


图7B

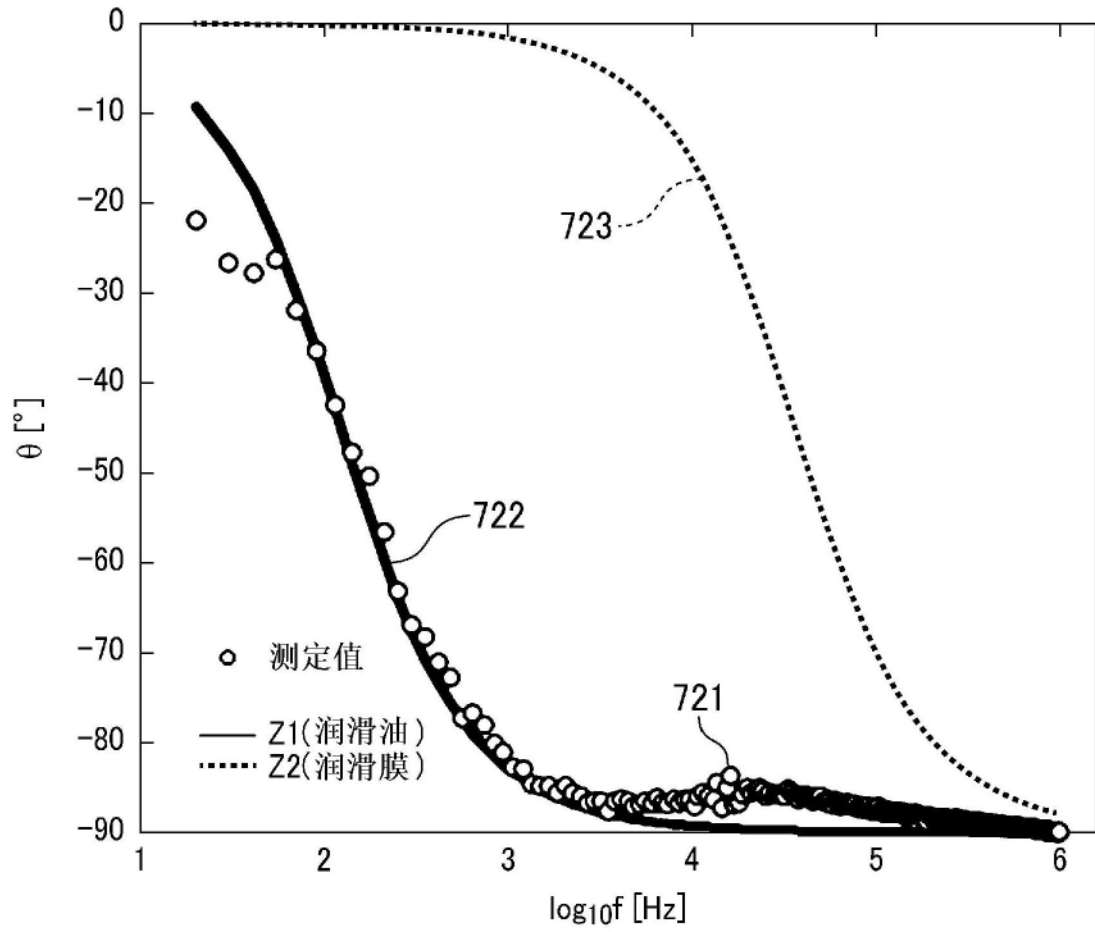


图7C

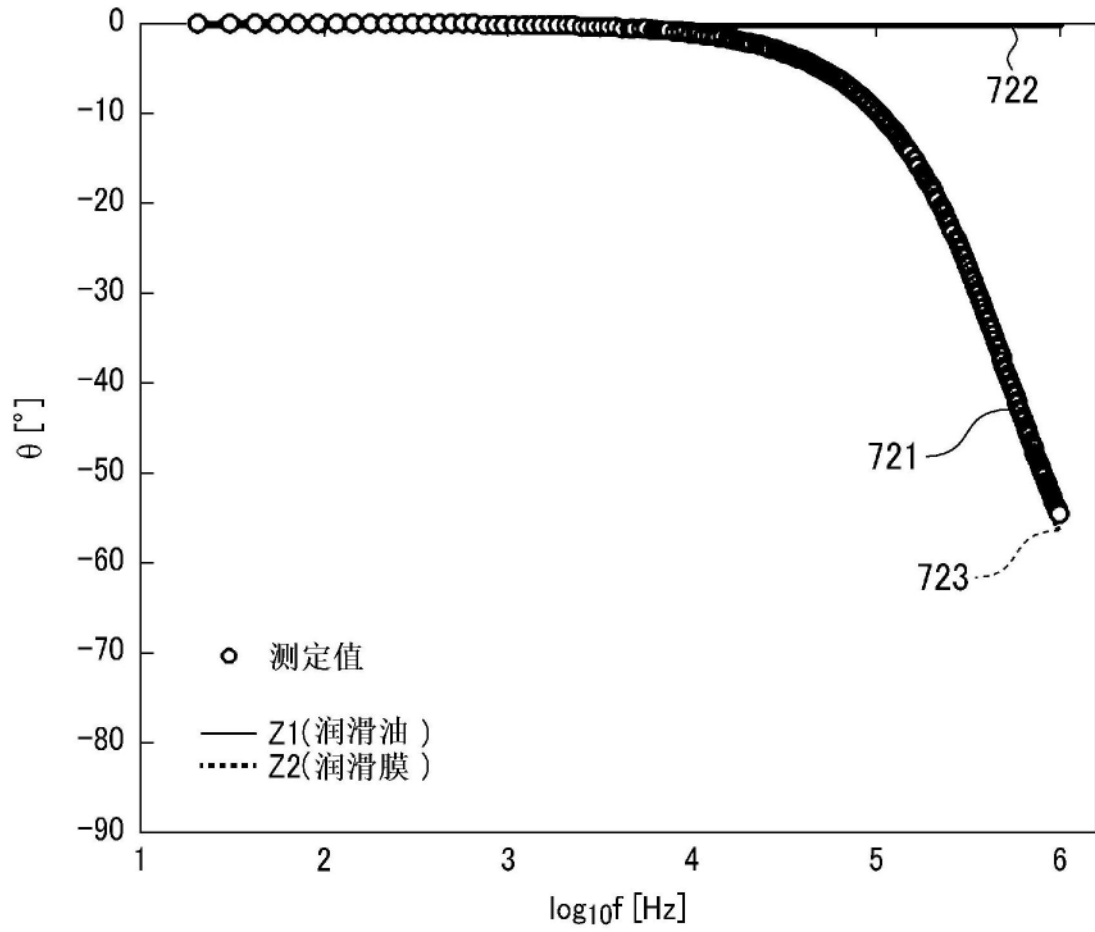


图7D