[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl[7]
G01N 27/416
G01N 27/28

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510081732.9

[43] 公开日 2005 年 11 月 30 日

[11] 公开号 CN 1702455A

[22] 申请日 2005.5.25
[21] 申请号 200510081732.9
[30] 优先权
[32] 2004. 5.25 [33] US [31] 10/853039
[71] 申请人 联合工艺公司
地址 美国康涅狄格州
[72] 发明人 K·W·施利希廷

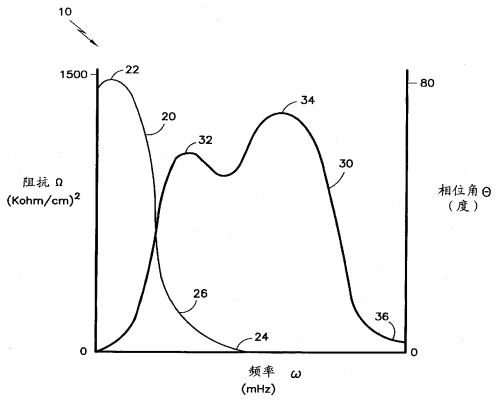
[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 杨松龄

权利要求书 4 页 说明书 11 页 附图 4 页

[54] 发明名称 用于电化学阻抗谱的探针

[57] 摘要

本文描述了通过电化学阻抗谱以评估在基体上的涂层的探针。 这些探针的实施例包含一在其中可容纳流体电解质的电解质容器；一设置使得能与流体电解质有效地连接的对电极；至少一个能在电解质容器内保留流体电解质的密封装置；以及一有效地连接到电解质容器的传输装置，该传输装置能传输预定量的流体电解质到基体上的涂层上，从而有效地连接涂层到对电极上。 这些探针也可包含一参考电极。 这些较小的，手持探针能在生产，修复和维护环境中用来评估燃气轮机组件上的隔热涂层，从而能容易的和非破坏性地确定组件的剩余寿命。



ISSN1008-4274

1、一用于评估在基体上的涂层的电极探针，该电极探针包含：

一电解质容器，该容器能在其中容纳流体电解质；

一对电极，该电极设置以使得能与流体电解质有效地相连；

至少一密封装置，该装置能保留流体电解质在电解质容器中；并且

一有效地与电解质容器相连的传输装置，该传输装置能传输预定量的流体电解质到基体上的涂层上，从而有效地连接涂层到对电极上。

2、如权利要求 1 所述的电极探针，其中对电极包含至少一个：（a）电解质容器本身，和（b）一个设置在电解质容器内的电极。

3、如权利要求 2 所述的电极探针，其中对电极包含一预定的金属材料。

4、如权利要求 3 所述的电极探针，其中预定的金属材料包含至少一种下述材料：与基体包含的金属材料相同的金属材料，比基体包含的金属材料更贵重的金属材料，和比基体包含的金属材料更活泼的金属材料。

5、如权利要求 1 所述的电极探针，进一步包含设置在电解质容器内的参考电极，该参考电极能与流体电解质有效地相连。

6、如权利要求 5 所述的电极探针，其中对电极包含一设置在电解质容器内的一电极，并且电极探针进一步包含一用于在电解质容器内合适位置固定参考电极和对电极的固定盘。

7、如权利要求 1 所述的电极探针，进一步包含一电导线，该导管能将电极探针有效地连接到电化学阻抗谱装置上。

8、如权利要求 1 所述的电极探针，其中至少一个密封设备包含一个在电解质容器的最近端处的第一 O 形环，以及在电解质容器的末端的第二 O 形环，用于保留流体电解质在电解质容器中。

9、如权利要求 1 所述的电极探针，其中传输装置包含至少一个下述元件：单向阀，可渗透的隔膜，以及一可渗透的陶瓷连接件。

10、如权利要求 9 所述的电极探针，当预定情况发生时，其中的传输装置传输预定量的流体电解质到涂层上，同时确保基本上所有的剩余电解质保留在电解质容器中。

11、如权利要求 10 所述的电极探针，其中预定情况包含层将传输装置压

靠在涂层上，从而允许预定量的流体电解质从电解质容器流出并流入到涂层上。

12、如权利要求 1 所述的电极探针，其中当流体电解质有效地连接到基体上的涂层上时，在流体电解质和涂层之间存在流体连通，并通过流体电解质从涂层到对电极上提供了一电通道，从而在对电极和工作电极之间完成一电路，并且该工作电极与基体的未涂层部分有效地相连。

13、如权利要求 1 所述的电极探针，其中电解质包含至少一种下述物质：氯化钠（Nacl），氯化钾（KCl），硫酸钠($NaSO_4$)，和氢氧化钾（KOH）。

14、如权利要求 1 所述的电极探针，其中参考电极包含至少一种下述元件：一饱和氯化亚汞电极和 Ag/AgCl 电极。

15、如权利要求 1 所述的电极探针，其中在基体上的涂层包含一在燃气轮机组件上的隔热涂层系统。

16、如权利要求 15 所述的电极探针，其中电极探针能被用来获得在燃气轮机组件上的隔热涂层系统的剩余寿命的一估计值。

17、如权利要求 1 所述的电极探针，其中电极探针包含能被手握住的笔形探针。

18、如权利要求 1 所述的电极探针，其中电极探针能被用来在下面至少一种环境中对涂层进行评估：生产环境，修复环境，和维持环境。

19、一用于评估基体上的涂层的系统，该系统包含：

一工作电极，该电极能有效地连接到基体的未涂层部分上；

一电极探针，该探针能有效地连接到基体上的涂层部分；和

一电化学阻抗装置，其中该电极探针通过第一电导线电气连接到电化学阻抗装置上，并且该工作电极通过第二电导线电气连接到电化学阻抗装置上。

20、如权利要求 19 所述的系统，其中工作电极包含基体本身的未涂层部分。

21、如权利要求 19 所述的系统，其中电极探针包含：

一电解质容器，该容器能在其中容纳流体电解质；

一对电极，该电极设置以使得能与流体电解质有效的相连；

至少一密封装置，该装置能保留流体电解质在电解质容器中；并且

一有效地与电解质容器相连的传输装置，该传输装置能传输预定量的流体

电解质到基体上的涂层上，以有效地连接涂层到对电极上。

22、如权利要求 21 所述的系统，其中对电极包含至少一个下列元件：（a）电解质容器本身，和（b）一个设置在电解质容器内的电极。

23、如权利要求 21 所述的系统，进一步包含一设置在电解质容器内的参考电极，该参考电极能与流体电解质有效地相连。

24、如权利要求 21 所述的系统，其中传输装置包含至少一个下列元件：单向阀，可渗透的隔膜，以及一可渗透的陶瓷连接件。

25、如权利要求 21 所述的系统，其中传输装置传输预定量的流体电解质到涂层上，同时确保所有剩余电解质保留在电解质容器中。

26、如权利要求 21 所述的系统，其中当流体电解质有效地连接到基体上的涂层上时，在流体电解质和涂层之间存在流体连通，并通过流体电解质从涂层到对电极上提供了一电通道，从而在对电极和工作电极之间完成一电路，并且该工作电极与基体的未涂层部分有效地相连。

27、如权利要求 19 所述的系统，其中该系统被用来评估在燃气轮机组件上的隔热涂层系统。

28、如权利要求 19 所述的系统，其中该系统能被用在下面至少一种环境中：生产环境，修复环境，和维持环境。

29、一用于非破坏性评估燃气轮机组件上的涂层的手持系统，该手持系统包含：

一工作电极，该电极能有效地连接燃气轮机上的涂层部分到手持系统上；

一探针，该探针能有效地连接燃气轮机上的涂层部分到手持系统上；和

一电化学阻抗装置，该装置可有效地连接到工作电极和探针上，

其中探针包含：

一在其中容纳有流体电解质的密封电解质容器；

一对电极，该电极能有效地连接燃气轮机组件上的涂层到流体电解质；和

一有效地与密封电解质容器相连的传输装置，该传输装置能传输预定量的流体电解质到燃气轮机组件上的涂层上，从而有效地连接涂层到对电极上。

30、如权利要求 29 所述的手持系统，其中工作电极包含燃气轮机组件本身的未涂层部分。

31、如权利要求 29 所述的手持系统，其中探针进一步包含一有效地连接

到流体电解质上的参考电极。

用于电化学阻抗谱的探针

技术领域

本发明一般涉及用于评估基体上的涂层的非破坏性的检测技术，更具体地，本发明涉及利用电化学阻抗谱来评估在燃气轮机组件上的热生长氧化物，以及在此一起使用的探针。

背景技术

燃气轮机已经长期用来将转换燃料形式的化学潜能转化为热能，然后再转化为机械能，用于推动航空器，产生电能，泵送流体等。燃气轮机的效率随着运行温度的增长而增长。因此，存在较大的积极性来提高这种发动机的燃烧和排气温度。但是，在这种发动机的热区组件中所使用的金属材料都以非常接近它的热稳定性上限温度工作。事实上，在现代燃气轮机的最热区域中，用在热气通道中的金属材料的温度在它们的熔点之上。在这样的温度下这些金属材料能够幸存完全是因为它们以一定方式进行冷却，和/或它们包含隔热涂层(TBCs)在其上，该隔热层能降低组件的热传导性，因此可允许组件运行在更高的温度下。

燃气轮机组件（即涡轮叶片，涡轮翼，密封，燃烧室板等）上的典型的隔热涂层通常包含一金属粘合层和一陶瓷外涂层。该金属粘合层可包含 MCrAlY 合金，其中 M 是 Ni,Co,或 NiCo,其可以任何合适的方式直接覆盖于金属基体上。热绝缘陶瓷外涂层包含被氧化锆稳定的氧化钇，该涂层以任何合适的方式覆盖于金属粘合层。在该外涂层被沉积的同时，一热生长氧化（TGO）层，例如氧化铝，形成在金属粘合层上，在金属粘合层和陶瓷外涂层之间。随着温度和循环数目的时间增长，该 TGO 层的厚度也增加，最终达到一个使涂层失效的关键值。涂层的失效将使燃气轮机组件覆盖的合金材料暴露在极值温度下，这样加快了合金材料的氧化和/或腐蚀，进而导致组件的失效。由于该 TGO 层在控制 TBCs 的老化方面是一个很重要的因素，所以确定 TBCs 的老化程度对于预测在燃气轮机组件上 TBCs 的剩余寿命和失效是必要的。此外，在组件被涂覆

时，可能产生缺陷。因此，在生产线，或者在修复或者维护环境中，以迅速和容易的方式非破坏性的评估涂层质量是有益的。

当前存在用来检测或者评估组件上的 TGO 层的厚度和质量的各种非破坏性方法。这些方法通常凭借在不需破坏涂层或者涂层组件的情况下确定一些物理特性的改变来测量或者评估涂层厚度。非破坏性的方法包括许多方法，例如：涡流电流方法，激光荧光，光致发光，灵活涂覆（smart coating），声学波导感应法和电磁方法等等。涡流电流方法利用一激励线圈在被检测的涂层组件内感应涡流电流，从而由感应涡流电流产生的第二电磁场能被检测线圈检测到。激光荧光包括发出一氩激光束到陶瓷外涂层上并且将它传输到 TGO,然后荧光剂发射荧光通过外涂层并且到一检测器上。光致发光包括采用一光致发光材料涂在涂层上，直接施加一激励辐射到涂层上，并且检测在光致发光材料的发射光谱中特征单相峰值密度的变化。灵活涂覆是涂上附加的化学标签（chemical taggants）的涂层，该材料能够在运行过程中显示涂层组件的磨损和损坏程度，或者当涂层恶化时，其能够在下游排气中被检测到。声学波导感应法包括当涂层恶化时，检测通过涂层的声波的幅度和速度的变化。电磁方法包括采用非线性谐波技术来检测涂层的老化。

最近已发现电化学阻抗谱（EIS）能用作为一种非破坏性的检测技术，以检测或评估在燃气轮机上的 TGO 的厚度，从而能估计 TBC 的质量。由于被氧化锆稳定的氧化钇为一离子导体，并且 TGO 为一典型的绝缘体，EIS 可用来测量在燃气轮机组件上的 TBCs 阻抗光谱，并且能由此确定 TGO 中的组分或者微结构的改变。共同拥有的 U.S 申请 10/417,032 公开了以如此方式怎样运用 EIS 的详细内容，并且该申请全部结合在本文中并作为参考。

现有的 EIS 探针用于评估在燃气轮机组件上的 TBCs 不是理想的。许多现有的 EIS 探针是为实验使用而设计的，因此这些探针较大并且不容易将它们运用于生产，修复或者维护环境中。此外，现有 EIS 探针通常需要被测部件被固定，并且现有探针不能在复杂表面上进行测量。由于许多现有 EIS 探针或者对于我们的目标很不合适，或者包含昂贵实验设备，该设备不能容易或者便携地用在生产，修复或者维护环境中，因此理想的是需要具有一种新的 EIS 探针，该探针能对 TBCs 的厚度，质量，结构完整性，老化程度，和/或剩余寿命进行评估，和/或能确定 TGO 层内的混合氧化物的存在。理想地，这些探针可对燃

气轮机组件上的涂层进行迅速和容易的非破坏性的评估，从而在被覆盖组件发生损坏之前低质量的 TBCs 能被修复或替换。

发明内容

相应的，现有 EIS 探针的上述可识别的缺点通过本发明的实施例可以克服，本发明涉及新的探针设计，该设计能用来评估隔热涂层系统的厚度，质量，结构完整性，老化程度，和/或剩余寿命，和/或能确定热生产氧化层中的混合氧化物的存在。本发明探针比现有 EIS 探针小很多，并且这些探针可以在生产，修复和/或维护环境中在复杂表面上进行测量。这些探针可在涂层组件上迅速和容易地实施非破坏性质量控制检测，从而在被覆盖的组件发生损坏之前，能识别，修复或替换低质量的 TBCs。这些探针可用于评估燃气轮机组件上的涂层。

本发明的实施例包含用于对基体上涂层进行评估的电极探针。这些探针包含：一在其中容纳流体电解质的电解质容器；一设置以使得其与流体电解质有效的相连对电极；至少一个能使流体电解质保留在电解质容器中的密封装置；以及一有效地与电解质容器相连的传输装置，该传输装置可传输预定量的流体电解质到基体上的涂层上，从而有效地连接涂层到对电极上。

对电极可包含电解质容器本身，或者可包含设置在电解质容器内的电极。对电极可包含任何合适的金属材料，例如，与基体相同的金属材料，比基体的金属材料更贵重的金属材料，和/或比基体的金属材料更活泼的金属材料。

这些探针的实施例也包含参考电极，该电极设置在电解质容器中与流体电解质有效地接触。该参考电极可包含任何合适的电极，例如，一饱和氯化亚汞电极或者一 Ag/AgCl 电极。这些探针也包含一固定盘或者其它合适装置，用于在电解质容器内合适的位置上固定参考电极和对电极 。

在这些探针内的密封装置可包含用于流体电解质保留在电解质容器中的任何合适的密封机构，例如，O 形环。

当预定情况发生时，传输装置可包含传输预定量的流体电解质到涂层上的任何合适的传输装置，同时确保基本上所有剩余的电解质保留在电解质容器中。一些合适的非限制的传输装置包含，单向阀，可渗透的隔膜，以及一可渗透的陶瓷连接件。在各实施例中，预定情况包含挤压传输装置使之抵靠着涂层，从而允许小量的流体电解质从电解质容器流出并流入到涂层上。当流体电解质

有效地连接到基体上的涂层上时，在流体电解质和涂层之间存在流体连通，并从涂层通过流体电解质到对电极上提供了一电通道，从而在对电极和工作电极之间完成一电路，并且该工作电极与基体的未涂层部分有效地相连。

电解质可包含任何合适的电解质，例如，氯化钠（Nacl），氯化钾（KCl），硫酸钠($NaSO_4$)，和/或氢氧化钾（KOH）。这些探针也包含一电导线以用于有效地连接电极探针到电化学阻抗谱装置。

在基体上的涂层可包含一在燃气轮机组件上，例如，涡轮翼，涡轮叶片，燃烧室板，叶片外部空气密封，涡轮排气装置，推进装置衬套和任何其它的在其上具有 TBCs 的燃气轮机组件上的隔热层系统。这些笔形的可手持的电极探针被运用在生产环境，修复环境和/或维持环境中对燃气轮机组件上的隔热涂层系统的剩余寿命进行评估。

本发明的实施例包含用于评估基体上涂层的系统。这些系统包含：一有效地连接到基体的未涂层部分的工作电极；一有效地连接到基体上的涂层部分的电极探针；和一电化学阻抗装置，其中该电极探针通过一第一电导线电气连接到电化学阻抗装置上，并且工作电极通过第二电导线电气连接到电化学阻抗装置上。工作电极可包含基体本身的未涂层部分。

本发明的实施例也包含一用于非破坏性评估燃气轮机组件上的涂层的手持系统，这些手持系统包含：一有效地连接燃气轮机上的涂层部分到手持系统上的工作电极；一有效地连接燃气轮机上的涂层部分到手持系统上的探针；和一可有效地连接到工作电极和探针上的电化学阻抗装置，其中该探针包含：一在其中容纳有流体电解质的密封电解质容器；一有效地连接燃气轮机组件上的涂层到流体电解质上的对电极；和一有效地与密封的电解质容器相连的传输装置，该传输装置能传输预定量的流体电解质到燃气轮机组件上的涂层上，从而有效地连接涂层到对电极上。该工作电极可包含燃气轮机本身的未涂层部分。

对本领域技术人员而言本发明的其他特征，其他方面的内容和优点将在下面的描述中是很显然的，其中参考了表示本发明的一些优选实施例的附图，其中在所有附图中相同的参考标号表示类似的组件。

附图说明

此时，下面将参考不同的附图表描述本发明的系统和方法，其中：

图 1 表示一个示范性的阻抗光谱的示例图，正如应用在本发明的具体实施例中那样，该示意图包含一阻抗对频率的曲线以及一相位角对频率的曲线。

图 2 表示在燃气轮机组件上的示范性隔热涂层系统的局部视图，如本发明的实施例进行评估的那样。

图 3 是一个表示示范性电化学阻抗系统的示意图，如用在本发明的具体实施例中那样。

图 4 是一个表示在图 2 图 3 所示的隔热涂层系统的电路等效模型的示意图。

图 5 是一个表示与电化学阻抗系统一起使用的一个双电极探针系统的示意图，如用在本发明的具体实施例中那样。

图 6 是一个表示与电化学阻抗系统一起使用的一个双电极探针系统的示意图，如用在本发明的其它的具体实施例中那样。

图 7 是一个表示与电化学阻抗系统一起使用的一个三电极探针系统的示意图，如用在本发明的其它的具体实施例中那样；及

图 8 是一个表示与电化学阻抗系统一起使用的一个三电极探针系统的示意图，如用在本发明的另外的具体实施例中那样。

具体实施方式

为了有助于对本发明的理解，现参考图 1-8 所示的本发明的一些优选实施例并且使用具体语言对这些内容进行描述。在此使用的术语仅仅是为了方便描述，而不是进行限制。在此公开的具体结构和功能描述不能被理解为限制性的，而仅仅是作为用于权利要求的基础，作为用于教导本领域技术人员变化地运用本发明的代表性基础。对本发明的结构和方法描述的任何修改或变化，和在此描述的本发明原理的进一步应用，如本领域技术人员正常认识的那样，都应被认为是符合本发明的精神和范围的。

本发明涉及能与电化学阻抗谱一起使用以评估燃气轮机组件上的热生长氧化物的各种探针。这些探针可迅速地，容易地以及非破坏性地测定这些组件上的隔热涂层(TBCs)的质量，从而使低质量的隔热涂层可在被覆盖的组件发生损害前被识别和修复或替换。这些探针可容易地运用在生产，修理和维护环境中。

如上所述,电化学阻抗谱（EIS），也被称作 AC 阻抗，能被用于非破坏性

探测技术，以测定燃气轮机组件上的 TBC 系统的厚度，质量，结构完整性，老化程度，和/或使用寿命等，和/或确定在 TGO 层中的混合氧化物的存在。EIS 与其他技术相比是有利的，因为它允许使用振幅很小的信号，而对被检测的特征只有很小的或根本没有任何影响。例如，为获得阻抗测量结果，在本发明实施例中，一个大约 5-50mV 的电压，频率在 0.001~1000,000Hz，施加到涂覆的组件上。该涂覆组件的电阻抗可被测量作为所施加的 AC 电流的频率的函数。该测量结果提供的参数有：绝对阻抗，阻抗的实部和阻抗的虚部以及相位角。作为频率的函数和相互对应的这些参数的曲线提供了涂覆组件用的阻抗谱 10。图 1 表示本发明的实施例中用的一个示例的阻抗谱 10，其包含一个阻抗 Ω(Kohm/c m^2)相对于频率 ω(mHz)的曲线 20，和相位角 θ(度)相对于频率 ω 的曲线 30。涂层质量的测定可由阻抗谱 10 确定，从而也能评估涂层的剩余使用寿命。这样转而又使得低质量的 TBC 涂层在对被覆盖的组件危害发生之前可被修复和替换。

如图 2 所示，用于燃气轮机组件的典型的 TBC 系统 55 包含一覆盖在金属基体 50 上的金属粘合层 52，一覆盖在金属粘合层 52 上的隔热陶瓷外涂层 54，以及一设置在金属粘合层 52 和隔热陶瓷外涂层 54 之间就地形成的 TGO 层 53。金属基体 50 可包含一镍基超耐热合金，该合金包含质量百分比大约为 1~25%的钴，约 1~25%的铬，约 0~8%的铝，约 0~10%的钼，约 0~15%的钨，约 0~12%的钽，约 0~5%的钛，约 0~7%的铼，约 0~6%的钌，约 0~4%的铌，约 0~0.02%的碳，约 0~0.15%的硼，约 0~0.05%的钇,约 0~1.6%的铪，和其余为镍和附带的杂质。金属粘合层 52 可包含 MCrAlY 合金，其中 M 是 Ni,Co,或 NiCo，其由电镀光束物理蒸汽沉积作用（EB-PVD）或其它合适的方法直接覆盖在金属基体 50 上面。隔热陶瓷外涂层 54 可包含被氧化锆稳定的氧化钇，该涂层 54 以任何合适的方式覆盖在金属粘合层 52 上。

当该外涂层 54 被沉积时，热生长氧化层 53，如铝，形成在金属粘合层 52 上，并在金属粘合层 52 和陶瓷外涂层 54 之间。随着温度和循环数目的时间增长，该 TGO 层 53 的厚度也增加，最终达到一个涂层随之失效的关键值。在生产中的各种缺陷在这些 TBC 系统中形成。不管是在生产中或者是在使用中形成的这些缺陷，都将最终导致被覆盖的组件的失效，从而会导致昂贵的，麻烦的并且耗时的修复。理想的，期望能够估计 TBC 系统的剩余寿命，从而在被

覆盖的组件发生损坏之前低质量的 TBCs 能被修复或者替换。本发明的探针可允许评估出 TBC 系统的剩余寿命，因此能阻止组件失效。这些探针能在涂层组件的生产中，或者每当探针和涂层组件之间的直接物理接触可能发生的任何时候作出迅速的和容易的，非破坏性的质量控制检测。例如，涂层燃气轮机组件在飞机机翼上不能接近，但是在不必拆除并完全拆开发动机时就可接近该组件。

本发明的探针可与任何合适的 EIS 系统一起利用以评估在任何燃气轮机组件上的涂层质量。一个示例，非限制性的燃气轮机组件，如图 3 所示为一叶片 60。该叶片具有一从平台 64 向外延伸并朝向叶片尖端 65 的涂层翼部分 62，以及一个从平台 64 向内延伸的未涂层叶片根部 66。叶片 60 的涂层翼部分 62 包含一在其上的隔热涂层系统 55。在此所示的示例 EIS 系统包含一阻抗分析器 72，该分析器 72 通过一对电导线 74，76 有效地连接到涂层组件 60 上。每个电导线具有两个端。每个电导线 74，76 的一端有效地连接到阻抗分析器 72 上，同时每个电导线 74，76 的另一端分别有效地连接到电极 75，77 上。在实施例中，电导线 74 有效地直接连接到部件的未涂层部分（即叶片 60 的未涂层叶片根部 66），从而使得部件的未涂层部分为工作电极 75。电导线 76 有效地连接到湿电极 77 上，该电极与部件的涂层部分（即叶片 60 的涂层机翼部分）接触。湿电极 77 包含对电极 95，并且也包含一参考电极 92。当一个连续电通道存在于两电极 74，76 之间时，电压源 71 可用于驱动在对电极 95 和工作电极 75 之间的作用，并且阻抗参数可由阻抗分析器 72 测量出。在实施例中，电压源 71 可为阻抗分析器 72 的一部分。阻抗分析器 72 有效地连接到计算机 78，计算机可显示测得的阻抗参数，并基于所测参数和/或在其上进行分析，从而定性地和/或定量地确定涂层的性能。

不同理论的，经验的或混合的模型可用于确定涂层性能，例如层厚度，缺陷的存在，尺寸和数量（即在涂层内或者之间的空隙显示涂层的分离或者分层），涂层的老化程度，涂层的估计剩余寿命等。

图 4 表示一个在图 2 和图 3 所示的燃气轮机叶片 60 上的 TBC 系统的基本电路模型 80。从电路的一端到另一端，电解质溶解电阻 R_s 与电极电阻 R_p 串联。这样依次与并联的外涂层电容 C_c 和外涂层阻抗 R_c 相串联。这样依次与并联并乘以 Warburg 系数 W_o 的 TGO 电容 C_o 和 TGO 阻抗 R_o 相串联。这样依次与并

联的在 TGO 和粘合层之间的分界面的分界面电容 C_T 和分界面阻抗 R_T 相串联。

再参见图 1，示出了包含阻抗 Ω(Kohm/c ㎡)相对于频率 ω (mHz)的曲线 20，和相位角 θ(度)相对于 ω 频率的曲线 30 的示范性阻抗谱 10。阻抗峰值 22 的位置表示 TGO 和粘合层之间的分界面的电阻 R_T，阻抗尾端 24 的位置表示电极的电阻 R_p，阻抗过渡段 26 的位置表示外涂层阻抗 R_c 和 TGO 阻抗 R_o。低频相位角峰值 32 的位置表示 TGO 电容 C_o，高频相位角峰值 32 的位置表示外涂层电容 C_c，并且相位角尾端 36 的位置表示 TGO 和粘合层之间的分界面电容 C_T。从该阻抗谱 10，能确定 TBC 估计的剩余寿命，从而在被覆盖的组件损坏发生前可允许低质量的 TBCs 被修复和替换。

现在参见图 5，示出了一个与电化学阻抗系统一起使用的示例电极 77。该电极 77 的该特定实施例为一湿电极探针系统，该系统包含两个电极：一工作电极 75 和对电极 95。该探针 77 包含一中空管状容器 90，内面充满电解液 91。在该实施例中，该中空管状容器 90 由金属制成，从而使得中空管状容器 90 本身能作为对电极 95。该中空管状容器 90 优选由与被检测部件（即燃气轮机叶片 60）的基础金属合金同样的金属材料制成，以限制在电路中的极化影响。一单向阀 93 位于探针 77 的一端以防止电解液 91 从导管中逸出，需要时除外。此外，O 形密封环 94 或者其它合适的密封装置设置在该中空管状容器 90 的两端，使电解液 91 保留在该导管中。当使用该探针 77 时，对电极 95 与工作电极 75 一起使用以完成电路，在对电极 95 和工作电极 75 之间的反应由附加在上面的电源 71 驱动。

现在参见图 6，表示了另一个用于与电化学阻抗系统一起使用的示范性电极 77。该电极 77 的该特定实施例也为一湿电极探针系统，该系统包括两个电极：一工作电极 75 和对电极 95。在该实施例中，中空管状容器 90 不作为对电极 95，因此该中空管状容器 90 可有任何合适的材料，例如，Plexiglas®制成，这样在中空管状容器 90 内保留的电解质 91 的水平能容易地评估出。在该实施例中，对电极 95 设置在中空管状容器 90 内，与电解质 91 有效地接触。该对电极 95 优选与被检测部件（即燃气轮机叶片 60）的基础金属合金同样的金属材料制成，以限制在电路中的极化影响。和前面的实施例一样，该实施例也包含一个单向阀 93 和 O 形密封环 94 或者其它合适的密封装置。当使用该探针 77 时，对电极 95 与工作电极 75 一起使用以完成电路，在对电极 95 和工作电极 75

之间的作用由附加在上面的电源 71 驱动。

现在参见图 7，表示了又一个用于与电化学阻抗系统一起使用的示范性电极 77。该电极 77 的该特定实施例为一湿电极探针系统，该系统包含三个电极：一工作电极 75，一对电极 95，和一参考电极 92。如前面的实施例所述，该中空管状容器 90 由金属制成，从而使得中空管状容器 90 本身能作为对电极 95。该中空管状容器 90 可由任何合适的金属材料制成，例如，由一比所检测的部件（即燃气轮机叶片 60）的基础金属合金更贵重的或者更活泼的金属材料制成。该探针 77 也包含一个设置在中空管状容器 90 内并与电解质 91 有效接触的参考电极 92。该参考电极 92 可包含任何合适的电极，例如，一饱和氯化亚汞电极（即 Hg/Hg_2Cl_2）或者 Ag/AgCl 电极。如上面所述的实施例一样，该探针 77 也包含一个单向阀 93 和 O 形密封环 94 或者其它合适的密封装置。当使用该探针 77 时，对电极 95 与工作电极 75 一起使用以控制电势并完成电路，在对电极 95 和工作电极 75 之间的反应由附加在上面的电源 71 驱动，并且参考电极 92 被用来测量该元的电势。

现在参见图 8，表示了又一个用于与电化学阻抗系统一起使用的示范性电极 77。该电极 77 的该特定实施例为一湿电极探针系统，该系统包含三个电极：一工作电极 75，一对电极 95，和一参考电极 92。该探针 77 包含一对电极 95 和一参考电极 92，该参考电极 92 在中空管状容器 90 内并与电解质 91 有效接触。在该实施例中，该中空管状容器 90 不作为对电极 95，因此该中空管状容器 90 可由任何合适的材料，例如，Plexiglas®制成，这样在中空管状容器 90 内保留的电解质 91 的水平可容易地估计出。如前面实施例一样，该参考电极 92 可包含任何合适的电极，例如，一饱和氯化亚汞电极（即 Hg/Hg_2Cl_2）或者 Ag/AgCl 电极。该对电极 95 可包含任何合适的金属材料，例如，铂或者另外金属或者比所检测部件（即燃气轮机叶片 60）的基础金属合金更贵重或者更活泼的合金。如上述实施例一样，该实施例也包含一个单向阀 93 和 O 形密封环 94 或者其它合适的密封装置。该探针 77 的一端也包含一固定盘 96 以便将参考电极 92 和对电极 95 固定在合适的位置上，O 形环或者其它合适的密封装置 97 可和固定盘 96 结合使用以将电解质 91 保留在中空管状容器 90 中。当使用该探针 77 时，对电极 95 与工作电极 75 一起使用以控制电势和完成电路，在对电极 95 和工作电极 75 之间的反应由附加其上的电源 71 驱动，并且参考电极 92 用来测量

该单元的电势。

如上所述，工作电极 77 通常包含部件本身（叶片 60 的未涂层叶片根部 66 的基础合金）的未涂层部分。探针 77 的单向阀 93 可位于组件 60 的涂层部分 62 的陶瓷外涂层 54 上，如图 2 所示，并且当在涂层上的探针 77 被压下时，单向阀 93 可打开并且允许少量的电解质 91 从导管中流出，以便在涂层 62 和保留在探针 77 内部的电解质 91 之间建立流体连通。但电极 75，77 在合适的位置时，从组件 60 的未涂层部分 66 通过工作电极 75 和电导线 74 到阻抗分析器 72，从阻抗分析器 72 通过电路 76 到湿电极 77，穿过电解质 91，到组件 60 上的隔热涂层系统 55 建立了一连续电通路。一旦在两个电极 75，77 之间存在连续电通路，则阻抗参数或其它所需参数就可由分析器 72 或其它合适的测量装置获得。

本发明可包含任何合适的电解质 91，该电解质不会侵袭，破坏或者以别的方式与被测涂层组件上的涂层作用，例如，一种稀释酸，一种酸的混合物，或者具有充分的离子传导性以允许获得 EIS 测量值的盐溶液。一些合适的，非限制性电解质可包含一种或者更多下述材料：氯化钠（Nacl），氯化钾（KCl），硫酸钠($NaSO_4$)，和/或氢氧化钾（KOH）。

所需电解质 91 的量的变化取决于中空管状容器 90 的尺寸。但是，当探针 77 在多种角度使用时，至少需要有足够的电解质在中空管状容器 90 中，以便充分覆盖其中的电极 92，95。一旦中空管状容器 90 充满足够的电解质 91，以确保在其中设置的电极 92，95 能与电解质 91 接触，则探针 77 可通过一个或者多个电导线 74，76 与商业上可获得的 EIS 设备 72 有效地相连。该 EIS 设备 72 可包含任何合适的设备，在各实施例中它可包含频率响应分析器和数据获得系统。该 EIS 设备是可携带的，从而使得在不同的环境中能够迅速和容易地对涂层质量作出估计。例如，在涂层组件的生产中，或者探针和涂层组件之间可直接物理接触的任何时候，例如在修复或者维护环境中，本发明可允许进行迅速和容易的非破坏性的质量控制检测。

如上所述，本发明提供的探针，能特定地设计使得可与 EIS 系统一起应用，以便评估在燃气轮机组件上，如涡轮翼，涡轮叶片，燃烧室板，叶片外部空气密封，涡轮排气装置，推进装置衬套和任何其它的在其上具有 TBCs 的燃气轮机组件上的 TBC 系统质量。有利的是，这些探针在生产，修复和维护环境中

容易使用并可以进行质量检测。因此，低质量 TBCs 在被覆盖的部件发生损坏之前可以被识别，修复和替换。许多其它的实施例和优点对相关领域的技术人员是明显的。

本发明的不同实施例已经在本发明满足的不同需求的实现中进行了描述。应该了解的是这些实施例仅仅是为了说明本发明不同实施例的原理。在不脱离本发明的精神和范围的情况下，许多的修改和改写对本领域技术人员来说是显然的。因此，本发明的意图是覆盖在附加的权利要求和它们的等效物的范围内的所有合适的修改和变化。

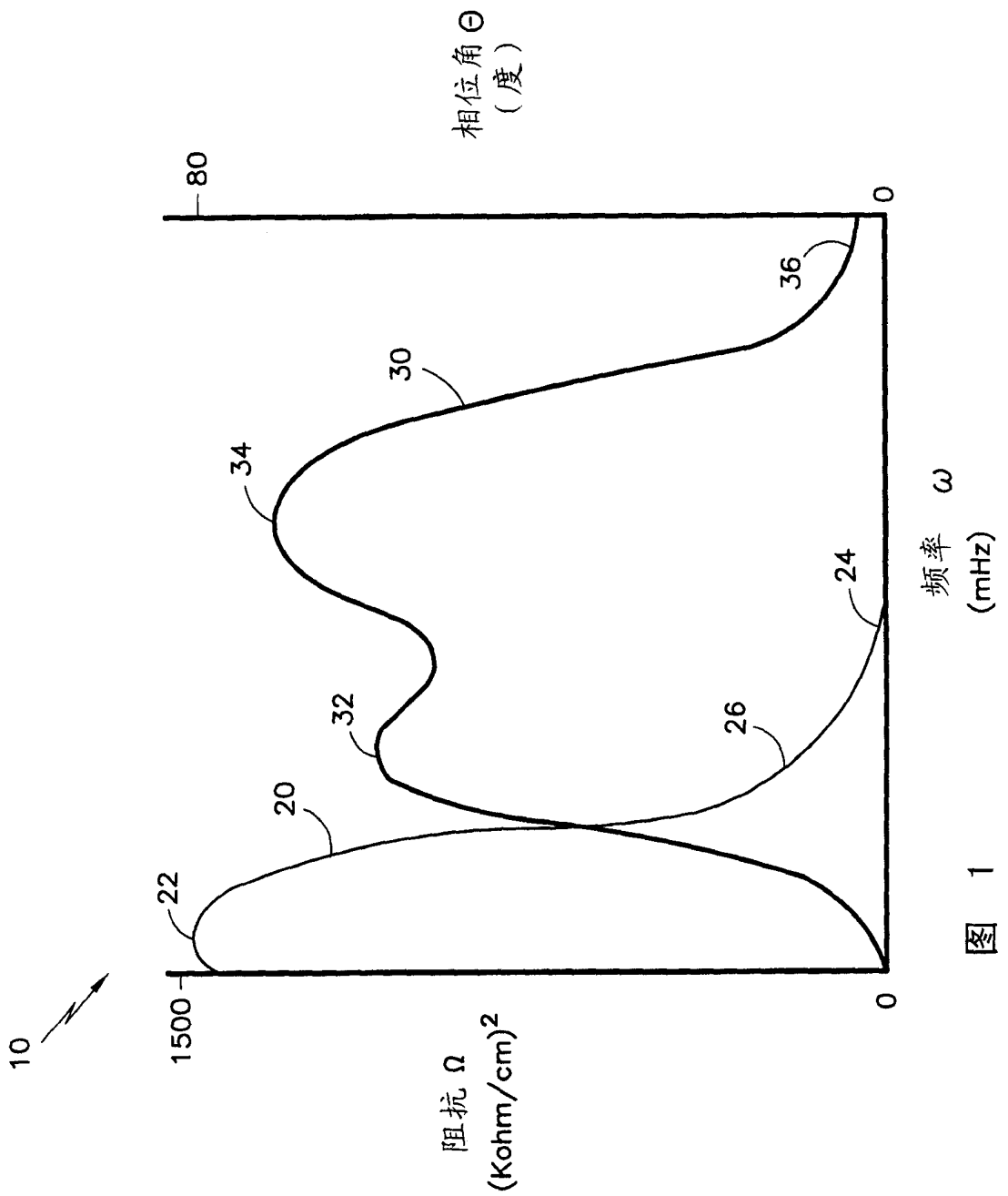


图 1

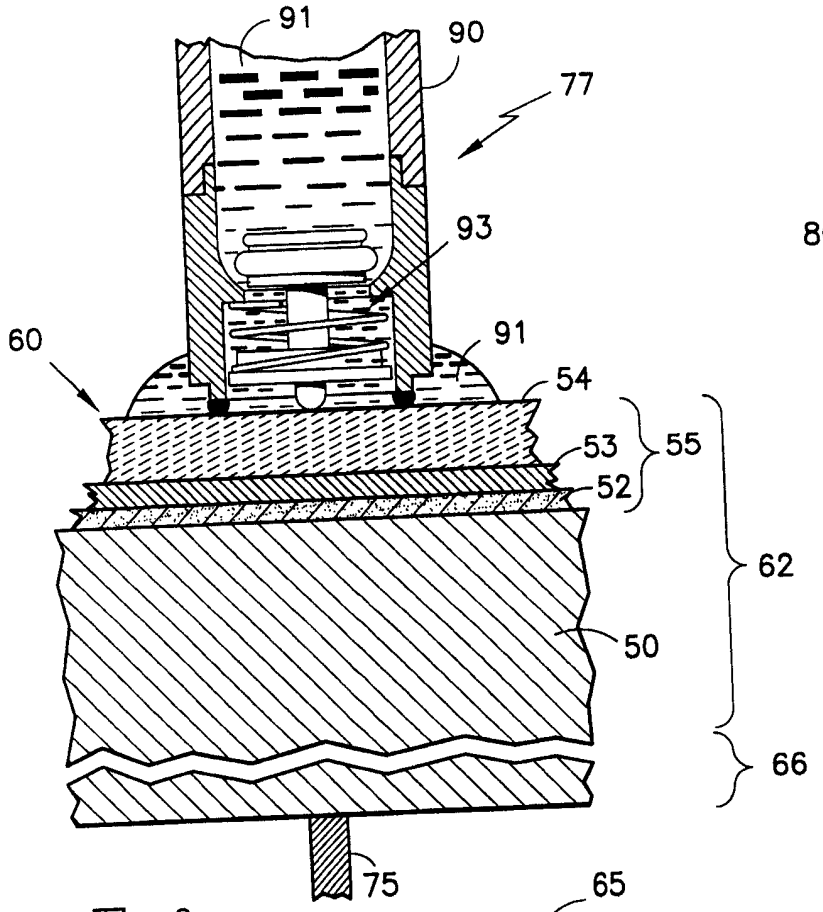

91
90
77
93
60
91
54
53
55
52
62
50
66
75

图 2

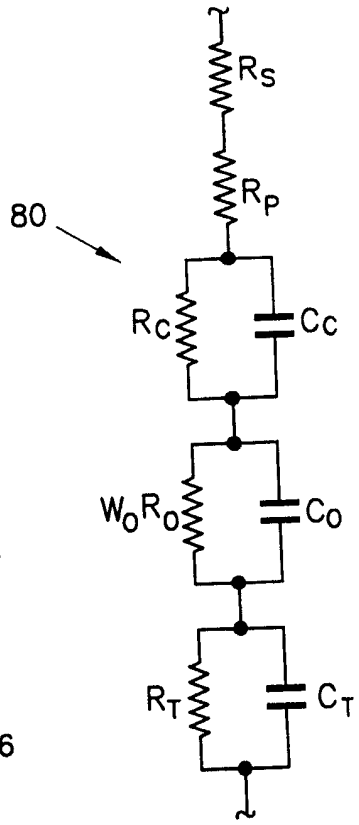

R_S
R_P
80
R_C
C_C
$W_O R_O$
C_O
R_T
C_T

图 4

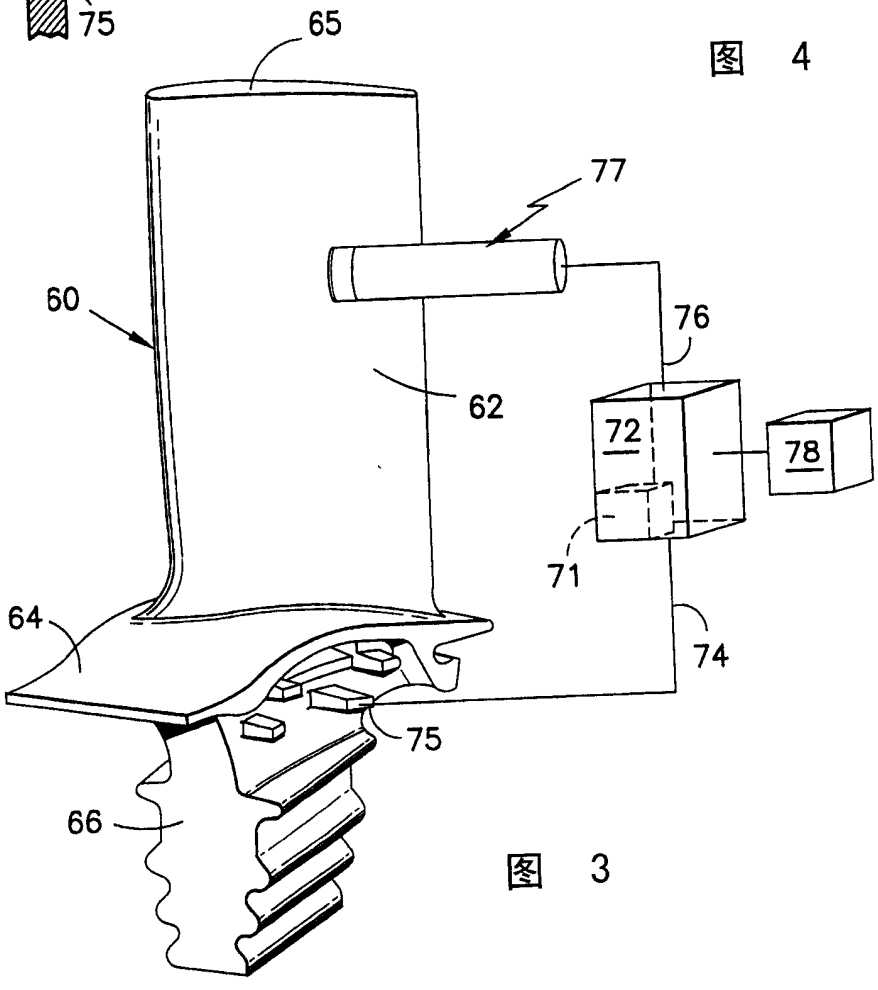

65
77
60
76
62
72
78
71
64
74
75
66

图 3

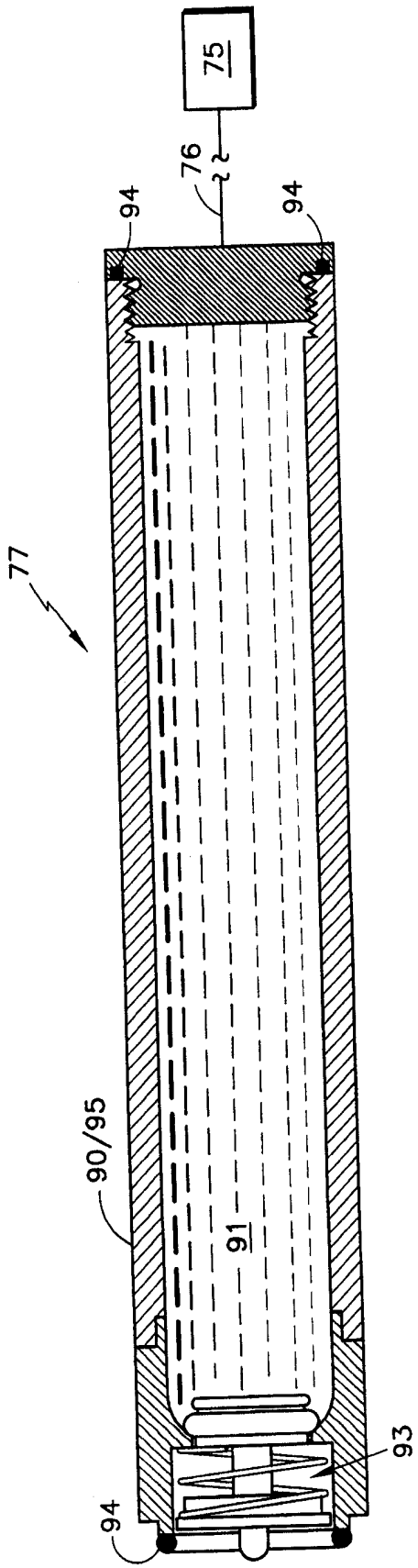


图 5

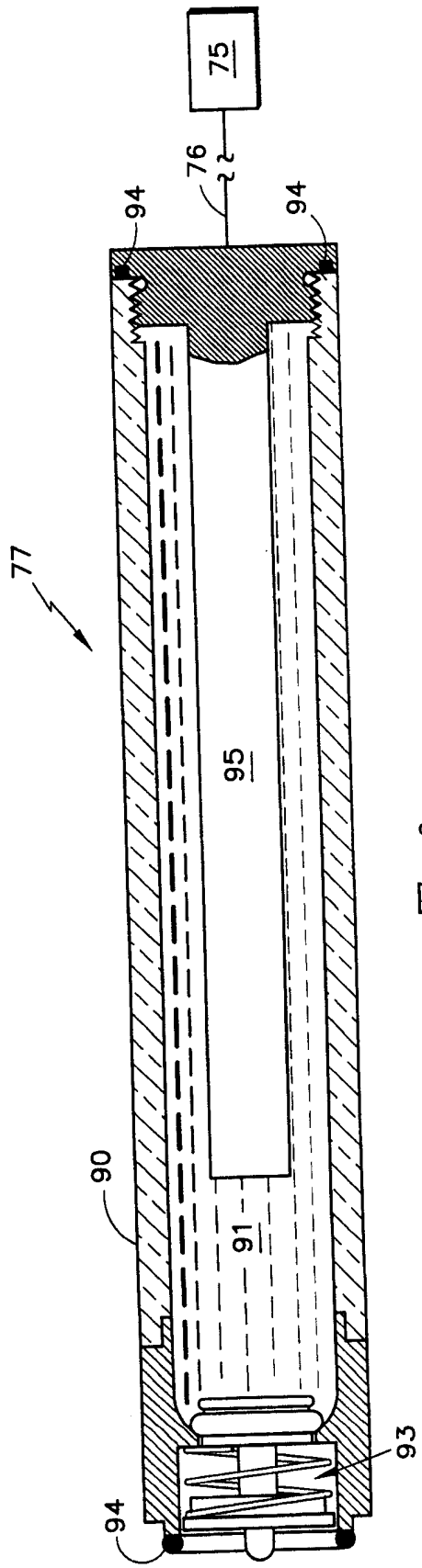


图 6

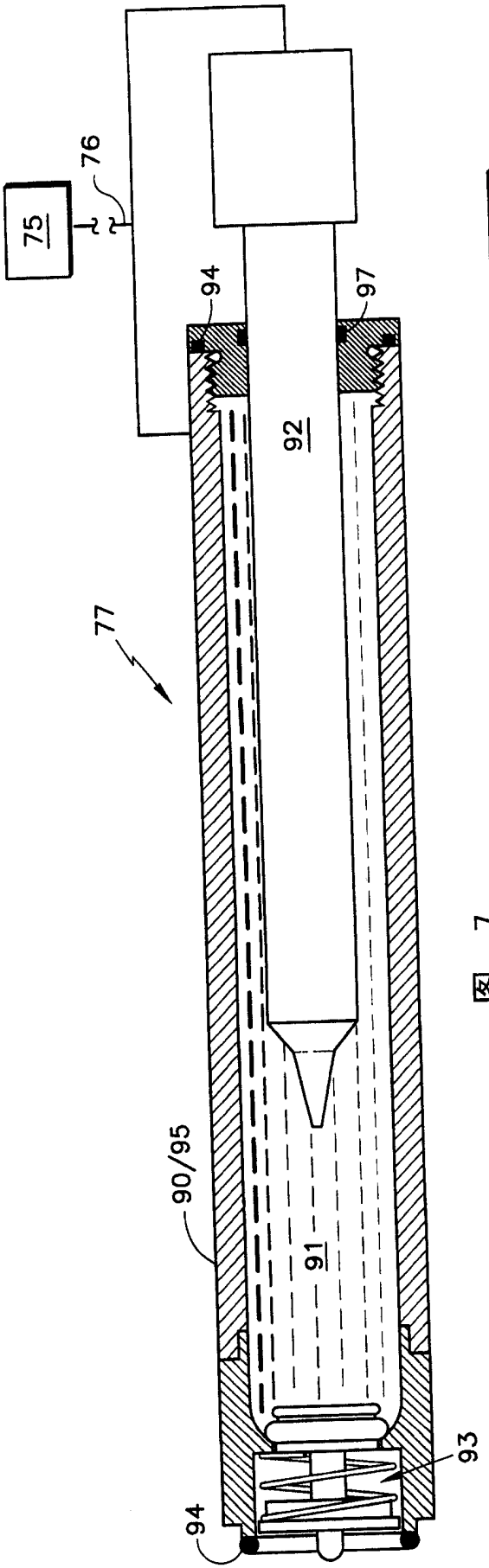


图 7

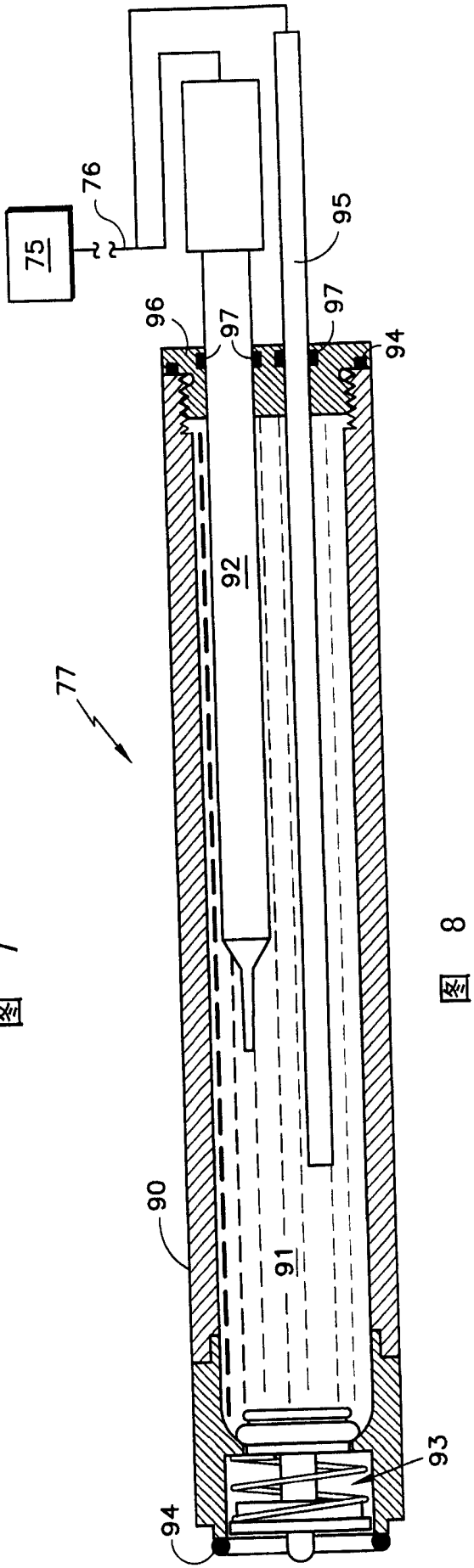


图 8