

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02101511.2

[43] 公开日 2002 年 10 月 9 日

[11] 公开号 CN 1373524A

[22] 申请日 2002.1.4 [21] 申请号 02101511.2

[30] 优先权

[32]2001.1.5 [33]US [31]09/754399

[71] 申请人 香港理工大学

地址 香港九龙

[72] 发明人 胡俊辉 李庆良

陈王丽华 蔡忠龙

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

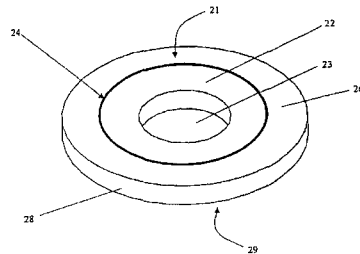
代理人 张志醒

权利要求书 3 页 说明书 9 页 附图页数 14 页

[54] 发明名称 压电变压器

[57] 摘要

压电变压器的性能在多个方面都优于传统的电磁变压器,但压电变压器的构造通常比较复杂,因而制造成本可能较高。另外,复杂的结构可能增加设备微型化的难度。本发明的环形压电变压器适用于低压用途。变压器其中一个表面被两个圆盘形或环形的电极覆盖,而这两个电极被一个环形的分隔区分隔开。被圆盘形或环形电极覆盖的区域用作变压器的输入区和输出区。这种变压器结构简单,较容易制造。另外,可以较轻易地缩小体积和厚度而不会增加制造的难度。此变压器可单独使用或并联操作。



ISSN 1008-4274

权 利 要 求 书

1. 一种压电变压器(20), 具有一个大体呈环形的电压材料, 所述压电材料具有第一表面(29)和第二表面(21), 两个表面由一个厚度(28)相隔, 极化是沿着厚度方向进行的, 其中,

- 所述第一表面(29)至少有部分被共同电极(30)覆盖;
- 所述第二表面(21)分为第一区和第二区, 每区至少有部分被对应的第一电极(26)或第二电极(22)覆盖;

· 一个大体呈环形的分隔区(24)将所述第一电极(26)和第二电极(22)分隔绝缘;

当输入信号从所述第一电极(26)输入时, 会引起大致垂直于厚度方向的径向振动, 因而导致径向的应力, 在所述第二电极(22)产生输出信号。

2. 根据权利要求1所述的压电变压器(20), 其特征在于, 所述分隔区(24)位于应力等于零的位置。

3. 根据权利要求2所述的压电变压器, 其特征在于, 所述大体呈环形的压电材料具有一个内环半径及一个外环半径, 所述分隔区(24)上的分隔半径大致相等于所述压电材料的内环半径和外环半径的平均值。

4. 根据权利要求1所述的压电变压器(20), 其特征在于, 所述第一电极(26)和第二电极(22)与导体(27及25)连接, 以输送信号到所述第一和第二电极或感测所述第一和第二电极的信号, 并且所述导体的连接点位于振动位移的结点。

5. 根据权利要求4所述的压电变压器(20), 其特征在于, 所述第一区和第二区的位移结点大致上位于对应的第一区和第二区的中央。

6. 根据权利要求1所述的压电变压器(20), 其特征在于, 所述压电变压器(20)以具有共振频率的第三阶对称扩张振动模式操

作。

7. 根据权利要求 6 所述的压电变压器 (20), 其特征在于, 所述输入讯号的频率大致上相等于第三阶对称扩张振动模式的共振频率。

5 8. 根据权利要求 1 所述的压电变压器 (20), 其特征在于, 所述压电变压器 (20) 以具有共振频率的第四、第五、第六或第七阶对称扩张振动模式操作。

9. 根据权利要求 1 所述的压电变压器 (20), 其特征在于, 所述第一区和第二区均被对应的第一电极 (26) 和第二电极 (22) 完全覆盖。
10

10. 一种压电变压器 (20), 具有一个大体呈环形的压电材料。所述压电材料具有第一表面 (29) 和第二表面 (21), 两个表面由一个厚度 (28) 相隔, 极化是沿着厚度方向进行的, 其中,

· 所述第一表面 (29) 至少有部分被共同电极 (30) 覆盖;
15 · 所述第二表面 (21) 分为第一区和第二区, 每区至少有部分被对应的第一电极 (26) 或第二电极 (22) 覆盖;

· 一个大体呈环形的分隔区 (24) 将所述第一电极 (26) 和第二电极 (22) 分隔绝缘, 所述分隔区位于应力等于零的位置,

当输入信号从所述第一电极 (26) 输入时, 会引起大致垂直于厚度方向的径向振动, 因而导致径向的应力, 在所述第二电极 (22) 产生输出信号。
20

11. 一种压电变压器 (20), 具有一个大体呈环形的压电材料。所述压电材料具有第一表面 (29) 和第二表面 (21), 两个表面由一个厚度 (28) 相隔, 极化是沿着厚度方向进行的, 其中,

· 所述第一表面 (29) 至少有部分被共同电极 (30) 覆盖;
25 · 所述第二表面 (21) 分为第一区和第二区, 每区至少有部分被对应的第一电极 (26) 或第二电极 (22) 覆盖, 所述第一电极 (26) 和第二电极 (22) 与导体 (27 及 25) 连接, 以输送信号到所述第一

和第二电极或感测所述第一和第二电极的信号，所述导体的连接点位于振动位移的结点；

· 一个大体呈环形的分隔区（24）将所述第一电极（26）和第二电极（22）分隔绝缘；

5 当输入信号从第一电极（26）输入时，会引起大致垂直于厚度方向的径向振动，因而导致径向的应力，在所述第二电极（22）产生输出信号。

12. 一个用输入信号产生输出信号的系统，其中包括至少两个并联的压电变压器（20），每个变压器包括一个大体呈环形的压电材料，所述压电材料具第一表面和第二表面，两个表面由一个厚度（28）
10 相隔，此厚度限定了厚度方向，其中，

· 所述第一表面至少有部分被共同电极覆盖；

· 所述第二表面分为第一区和第二区，每区至少有部分被对应的第一电极或第二电极覆盖；

15 · 一个大体呈环形的分隔区（24）将所述第一电极（26）和第二电极（22）分隔绝缘，

当输入信号从所述第一电极（26）输入时，会引起大致垂直于厚度方向的径向振动，因而导致径向的应力，在所述第二电极（22）产生输出信号。

20 13. 根据权利要求 12 所述的系统，其特征在于，包括两个或两个以上并联的压电变压器（20）。

14. 根据权利要求 12 所述的系统，其特征在于，包括两个或两个以上串联的压电变压器（20）。

说明书

压电变压器

5 技术领域

本发明涉及大体呈环形的压电变压器。

背景技术

10 压电变压器是利用压电振动原理来升高或降低交流电压或电流的装置。这类变压器的性能在多个方面均优于电磁变压器。首先，压电变压器的功率与体积比率较高，较易微型化。其次，压电变压器利用压电振动原理操作而不依靠电磁场，因此不会产生电磁噪音。另外，压电变压器没有线圈，因而可大大减少装置过热和/或引起火灾的危险。

15 压电变压器大致上分成两种。一种是升压器，电压增益大于一。另一种是降压器，电压增益小于一。升压器通常使用单片结构，降压器通常使用多层结构。

 美国专利 2,974,296 号公开了多种大体呈圆盘形的压电变压器。图 1 示出该专利的其中一个实施例。在该装置中，输入信号从电极 1 和底面的一个共同电极（图中未显示）输入，输出信号则从电极 3 20 和共同电极输出。

 图 2 示出国专利'296 号所描述的另一一种压电变压器。在该实施例中，压电体 4 分为两个半圆形的区域。在驱动区 5，压电体 4 的极化方向垂直于压电体的厚度方向，而在输出区 6，压电体如图 2 所示，25 以两个相对的切线方向极化。输入信号从与输出区 5 相关的输入电极输入，振动导致压电体 4 的半径和圆周的改变。圆周的改变进而导致应变，在输出区 6 产生相应的输出信号。

 美国专利'296 号所描述的圆盘形压电变压器或许有一些缺点。由于压电体包括多个不同的部分，需要以不同的方向极化，因而制

造的难度较大。

美国专利 5,914,922 号和 6,040,654 号描述了一些大体上呈环形的压电变压器。这些变压器亦会有类似的缺点，就是结构复杂，制造的难度比较大。5,814,922 号描述的压电变压器，其压电体分成最少八个部分。6,040,654 号也描述了一个最少分成八部分的压电变压器，每个部分由相对纤细的连接杆连接起来。如需要大幅缩小变压器的尺寸，制造难度会变得更大。

发明内容

10 有鉴于此，本发明的目的是提供一种结构较简单、较容易制造的压电变压器。本发明的另一各目的是提供一种可以轻易微形化的压电变压器。

本发明的目的至少是为大众提供一个有用的选择。

15 因此，本发明提供了一种压电变压器，包括一个大体呈环形的压电材料，此压电材料有第一表面和第二表面，两个表面由一厚度相隔，极化是沿着厚度方向。第一表面至少有部分被共同电极覆盖。第一电极和第二电极间有一个大体呈环形的分隔区，将两个电极分隔绝缘。在这种结构下，当输入信号从第一电极输入时，会引起大致垂直于厚度方向的径向振动，而而导致径向的应力，在第二电极
20 产生输出信号。

此外，分隔区处于应力为零的位置。如分隔区的半径大致相等于压电材料内环半径和外环半径的平径值，效果会更好。

25 另外，还可在振动的结点位置将第一和第二电极连上导体，以输送信号到两个电极或感测两个电极的信号。如第一区和第二区的位移结点是位于对应的第一区和第二区的中央，效果会更好。

此压电变压器在具有共振频率的第三阶对称扩张振动模式下操作效果较佳。如输入信号的频率大致相等于第三阶对称扩张振动模式的共振频率，效果会更好。

这种压电变压器亦可在第四、第五、第六或第七阶对称扩张振

动模式下操作。

如第一电极和第二电极完全覆盖对应的第一区和第二区，变压器的效能会更好。

5 本发明亦提供以下的一种压电变压器。此变压器包括一个大体呈环形的压电材料，此压电材料有第一表面和第二表面，两个表面由一厚度（28）相隔，极化是沿着厚度方向，其中

- 第一表面至少有部分被共同电极覆盖；

- 第二表面分为第一区和第二区，每区至少有部分被对应的第一电极或第二电极覆盖，当输入信号从第一电极输入时，会引起垂直于厚度方向的径向振动，因而导致径向的应力，在第二电极产生输出信号；

- 此外，一个大体呈环形的分隔区处于应力为零的位置，将第一电极和第二电极分隔绝缘；

15 本发明再提供以下的一种压电变压器。此变压器包括一个大体呈环形的压电材料，此压电材料有第一表面和第二表面，两个表面由一厚度（28）相隔，极化是沿着厚度方向，其中

- 第一表面至少有部分被共同电极覆盖；

- 第二表面分为第一区和第二区，每区至少有部分被对应的第一电极或第二电极覆盖。当输入信号从第一电极输入时，会引起垂直于厚度方向的径向振动，因而导致径向的应力，在第二电极产生输出信号；

- 此外，一个大体呈环形的分隔区将第一电极和第二电极分隔绝缘，

25 当中第一和第二电极在振动的结点位置连上导体，以输送信号到两个电极或感测两个电极的信号。

本发明另外提供一个用输入信号产生输出信号的系统。此系统包括至少两个并联的压电变压器，每个变压器包括一个大体呈环形的压电材料，此压电材料有第一表面和第二表面，两个表面由一厚度相隔，极化是沿着厚度方向，其中

- 第一表面至少有部分被共同电极覆盖。
 - 第二表面分为第一区和第二区，每区至少有部分被对应的第一电极或第二电极覆盖。
 - 此外，一个大体呈环形的分隔区段将第一电极和第二电极分隔绝缘，
- 当输入信号从第一电极进入时，会引起与厚度方向垂直的径向振动，因而导致径向的应力，在第二电极产生输出信号。

附图说明

- 下文将引用下列图示，以说明本发明的一些较佳实施例。
- 图 1 是一个现有技术的压电变压器的透视图，此变压器同时采用侧向和纵向极化；
- 图 2 是一个现有技术的压电变压器的透视图，此变压器采用半圆形的输入及输出电极；
- 图 3 是根据本发明的一个较佳实施例的透视图；
- 图 4 是图 3 所示压电变压器的剖面图；
- 图 5 说明图 3 中使用第三阶对称扩张振动模式的压电变压器，以及径向位移和应力分布情况；
- 图 6 及图 7 示出对压电变压器不同振动模式进行有限元分析 (FEM) 的结果。图内说明位移与距离的关系，变压器的中心位于图的右方；
- 图 8 示出压电变压器样本在不同驱动频率下电压增益与负载电阻的关系；
- 图 9 示出匹配负载为 860 欧姆时电压增益与驱动频率的关系；
- 图 10 示出输出功率与频率的关系以及效率；
- 图 11 示出本发明的两个压电变压器的并联线路图；
- 图 12 示出图 11 的并联系统的输入部分的阻抗；
- 图 13 示出图 11 的并联系统的电压增益与驱动频率关系，以及两个变压器单独操作时电压增益与驱动频率的关系；

图 14 示出图 11 的并联系统的输出功率与驱动频率关系，以及两个变压器单独操作时输出功率与驱动频率的关系；

图 15 示出图 11 的并联系统的效率与驱动频率关系，以及两个变压器单独操作时效率与驱动频率的关系。

5

优选实施例说明

下面将参照上述图示说明一些较佳的实施例。清单一显示变压器不同部份的名称，列出各图中的参照号和对对应部分的名称。

10 如图 3 所示，本发明内的压电变压器 (20) 包含一个大体呈环形的压电材料。这压电变压器有一个第一表面 (29) 和一个第二表面 (21)，两者由一厚度 (28) 分隔。第二表面 (21) 分成三个互相绝缘的区域，第一区和第二区各被对应的第一电极和第二电极 (26 及 22) 覆盖。一个大体呈环形的分隔区 (24) 将第一电极和第二电极 (26 及 22) 分隔绝缘。

15 电极不须完全覆盖输出区及输入区，但使用图示的电极布局可产生良好的电机耦合系数。

图 4 显示了这种压电变压器 (20) 的剖面图。下文将详细说明本发明中压电变压器的操作原理。如图 4 所示，一个共同电极 (30) 覆盖了第一表面 (29)。

20 可用于制造这种变压器的压电材料包括锆钛酸铅 (lead zirconate titanate, PZT)、其他压电陶瓷材料和压电单晶体 (例如 LiNbO_3 及 LiTaO_3)，或者其他高 k_{31} 值和高机械品质因数 Q_m 的压电材料。

25 当某个输入信号如特定频率的交流电压输入第一电极 (26) 时，压电材料受到刺激，会沿径向振动，产生径向位移和径向应力。图 5 大略说明了径向位移和径向应力与径向位置的关系。图 6 简略地显示，施加的交流电压与第三阶对称振动模式的频率相符合时，压电变压器第三阶对称振动模式的操作情况。

图中示出的外环部分的第一区为压电变压器的输入区，内环部分的第二区 (22) 为输出区。但第一区可作为输入区和第二区可作

为输出区的意思不言自明。

为了达到最高的效率，本发明中压电变压器的分隔区（24）置于应力等于零的位置。另外，如图4所示，变压器使用第一导线（27）及第二导线（25）作为导体，以输送信号到第一电极和第二电极（26及22）或从这两个电极引出信号。图5显示两条导线焊接上位移的结构。

图6是对变压器振动情况进行有限元法（finite element method）分析的结果。图上显示径向位移与径向位置的关系。可以看到，变压器上应力等于零的位置，其半径大致相等于变压器的平均半径。平均半径相等于 $\frac{r_i + r_o}{2}$ ，其中 r_i 及 r_o 分别是内环半径和外环半径。半径的长度由环形压电变压器（20）的中心点开始量度。位移的结点大致上位于有关区域的中央。

当施加交流电压的频率接近第三阶对称扩张振动模式的共振频率时， k_{31} 反压电效应即会激起第三阶对称扩张振动模式。然后， k_{31} 压电效应会在第二区产生交流电压，第 m 阶对称扩张振动模式的共振频率或驱动频率 f_m 可用以下算式求出：

$$f_m = \frac{\alpha_m}{2\pi r_o} \sqrt{\frac{Y_{11}}{\rho(1-\sigma^2)}}, \quad (1)$$

$$\alpha_m \approx \frac{m-1}{1-r_i/r_o} \pi, \text{ 设 } m \geq 3 \quad (2)$$

其中 Y_{11} 、 ρ 和 σ 分别代表杨氏系数（Young's modulus）、密度和泊松比（Poisson's ratio）。下文举例部分显示这算式求得的共振频率与实验得出的数值非常接近。

此外，对第一和第二电极（26及22）作出适当的设计后，亦可制造出 m 大于4或等于4的对称扩张振动模式变压器。图7显示本发明的压电变压器在高阶振动模式下操作时径向位移与距离的关系。

图8示出压电变压器在不同驱动频率下电压增益与负载电阻的

关系。可以看到，负载电阻微小时，电压增益随着负载电阻的增加急速上升；而当负载电阻处于较高水平时，电压增益越向饱和，饱和值决定于负载电阻的高低。因此，压电变压器可以在不同的负载电阻下操作，改变驱动频率，即可改变饱和值。

5 图 9 示出压电变压器在固定负载电阻和输入电压下，输出功率与效率的关系。可以看见，在第三阶对称扩张振动模式下操作的变压器样本，其输出功率和效率的最高值非常接近计算所得的共振频率。

10 图 10 示出最高的输出功率、效率、驱动频率的关系。据图上资料，在功率等于 1 瓦特时，变压器可达到 0.9 的高效率。

将本发明的两个变压器如图 11 所示方法并联起来，可提高电力处理能力。正如本领域的普通技术人员所熟知，多个变压器必须有相同或差不多相同的共振和反共振频率，并联后才可能组成有用的系统。本发明中变压器的特征可以轻易地通过几何条件来控制，因而较易达到这目的。图 12 显示了这个并联系统的阻抗和等效电路参数，证明并联方法确实合成了有用的系统。

图 11 虽然只示出了本发明中两个压电变压器组成的并联系统，但这并联系统可包括多个并联压电变压器的含意却很清晰。

20 图 13 示出了这个并联系统的电压增益与驱动频率的关系。如图上所示，并联系统的电压增益大约相等于电压比 (voltage ratio) 较低的那一个变压器的电压增益。

25 图 14 示出，在固定的匹配负载和输入电压下，并联系统与单个变压器的输出功率的频率特征。可以看见，并联系统输出功率的度量结果稍稍低于 PTA 和 PTB 两上变压器各自输出功率的总和。原因可能是，虽然 PTA 和 PTB 两个变压器是按照相似的参数制造，但两者的几何条件可能仍有一些细微的差异。

图 15 对并联系统、PTA、PTB 三者的效率的频率特征作出比较。据图上资料，并联系统的效率与个别变压器的效率相若。

这些压电变压器亦可以用串联方法连接起来。并联变压器系统

的电流大于单独一个变压器，而串联变压器系统的电压高于单独一个变压器。

实例

5 这个例子中的环形压电变压器使用 PZT 材料制造，外环直径为 12.7mm，内环直径为 5.1mm，厚度为 1.2mm。PZT 材料的机械品质因素是 2000。表一列出这种 PZT 材料的有关特性。

根据计算结果，这变压器的共振频率为 838kHz。实验所得的数值为 818kHz。

此变压器的多项实验结果如图 8 至图 10 所示。

10 正如本发明的详细说明和实例部分所述，本发明的压电变压器比现有技术较为简单，因而制造成本可能较低。由于这种压电变压器不包含复杂的结构，亦容易微型化。另外，将变压器并联起来，可用于高功率的用途。

15 详细说明和实例部分对本发明的优选实施例作出了细致的描述，显然，对于本领域的普通技术人员来说，可进行修改和调整。这些修改和调整亦应包括在本发明范围之内，亦即下文列举的权利要求之内。此外，前述的本发明的实施例亦显然不应被限定于图示例子的范围内。

20

25

清单一

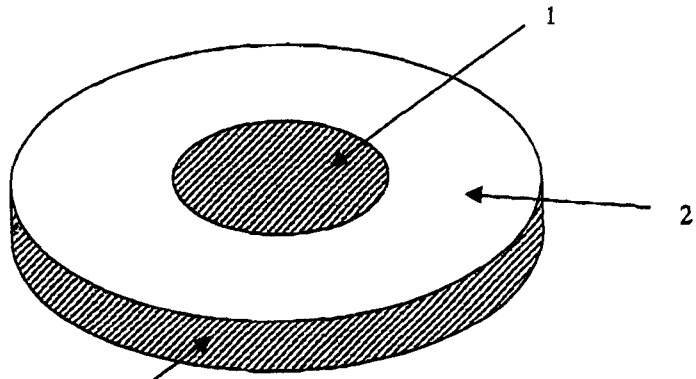
参照号	说明
1	现有技术的输入电极
2	现有技术的压电盘
3	现有技术的输出电极
4	现有技术的压电体
5	现有技术的驱动区
6	现有技术的输出区
20	压电变压器
21	第二表面
22	第二电极
23	中孔
24	分隔区
25	第二导线
26	第一电极
27	第一导线
28	厚度
29	第一表面
30	共同电极

表一

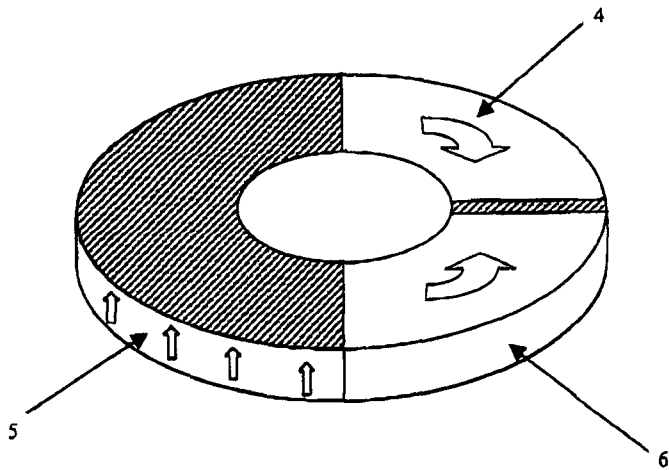
锆钛酸铅 (PZT) 材料的有关特性

K_p	Q_m	d_{31} ($\times 10^{12} \text{m/V}$)	ρ (kg/m^3)	Y_{11}^E ($\times 10^{10} \text{N/m}^2$)	$\epsilon_{33}^T / \epsilon_0$	σ
0.59	2000	-145	7700	7.2	1450	0.29

- 5 K_p 是径向电机耦合因素, Q_m 是电极品质因素, ρ 是密度, d_{31} 是压电电荷常数, Y_{11}^E 是杨氏系数, σ 是泊松比, $\epsilon_{33}^T / \epsilon_0$ 是相对电容率。



现有技术 图 1



现有技术 图 2

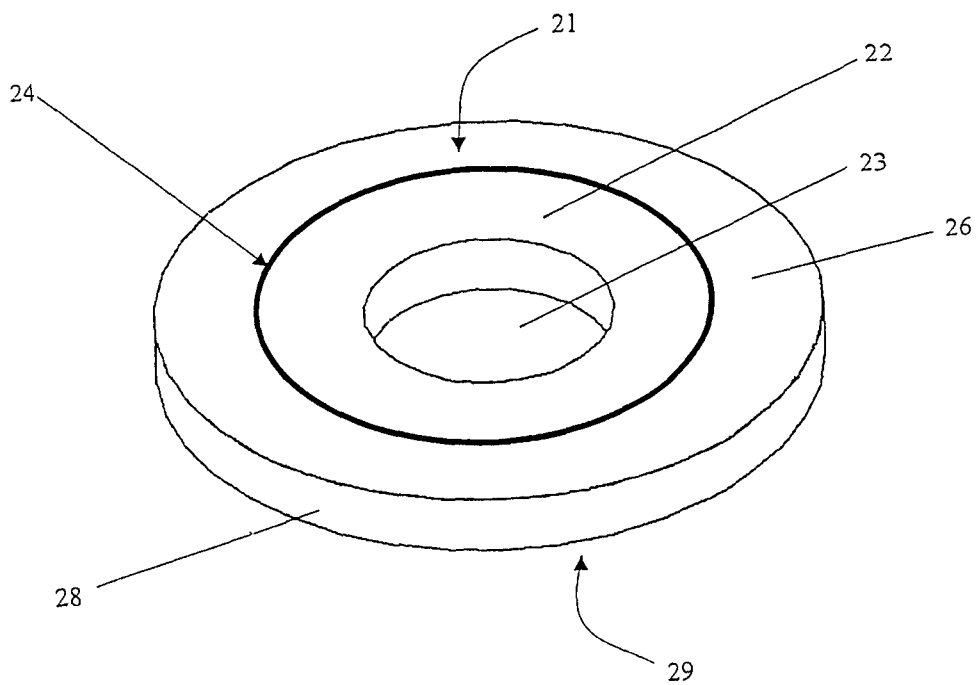


图 3

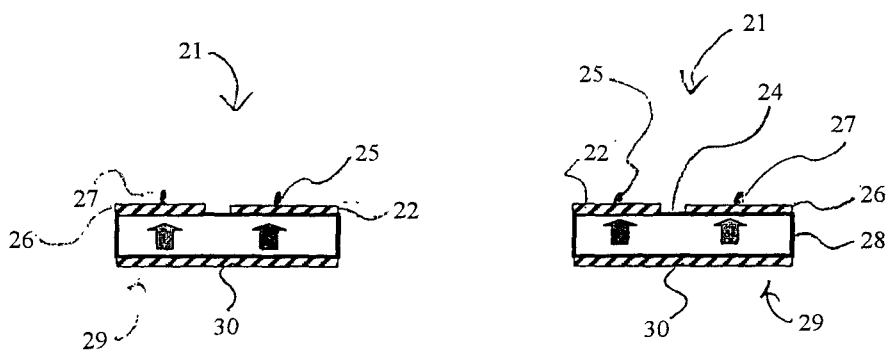


图 4

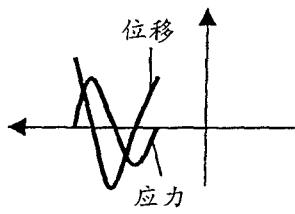
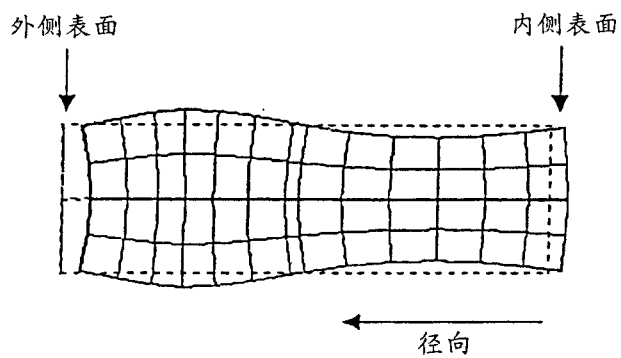
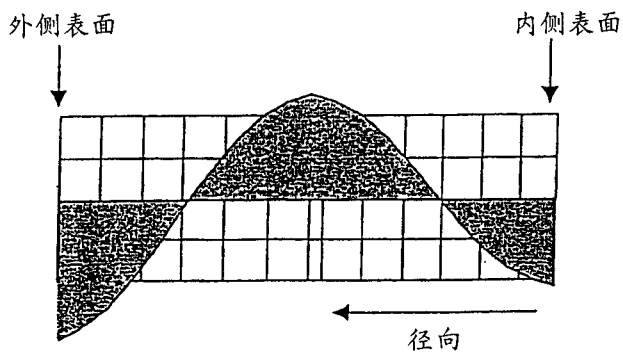


图 5



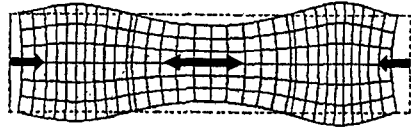
第三阶对称扩张振动模式

(a)



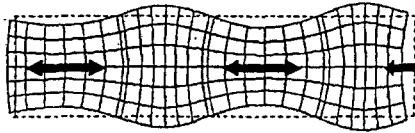
(b)

图 6



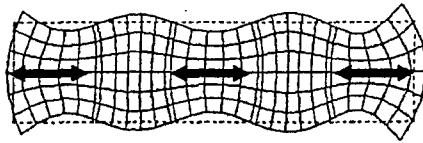
(a)

第四阶对称扩张振动模式



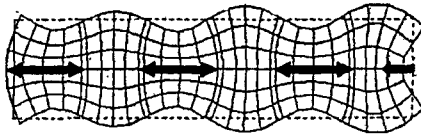
(b)

第五阶对称扩张振动模式



(c)

第六阶对称扩张振动模式



(d)

第七阶对称扩张振动模式

→ 运动方向

图 7

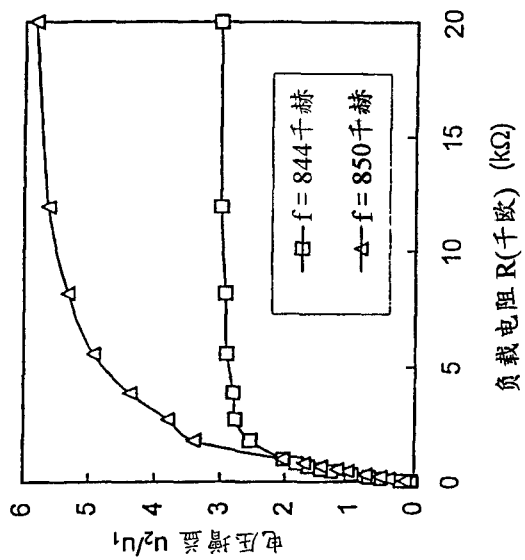


图 8

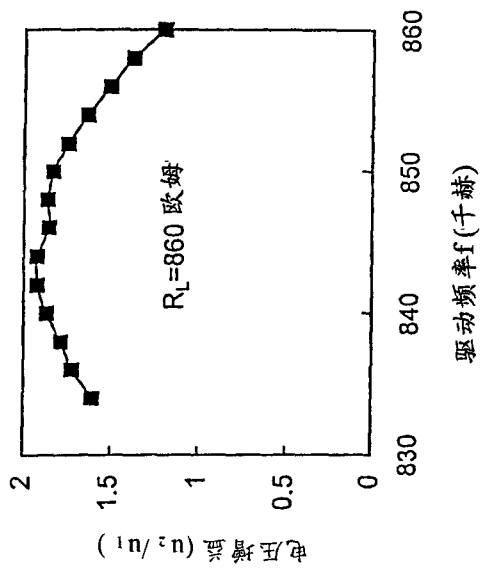


图 9

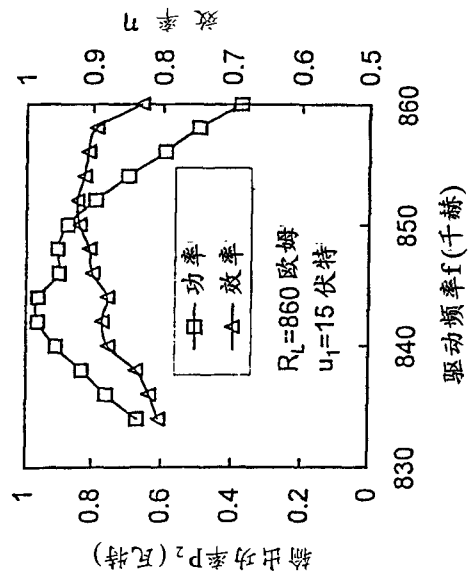


图 10

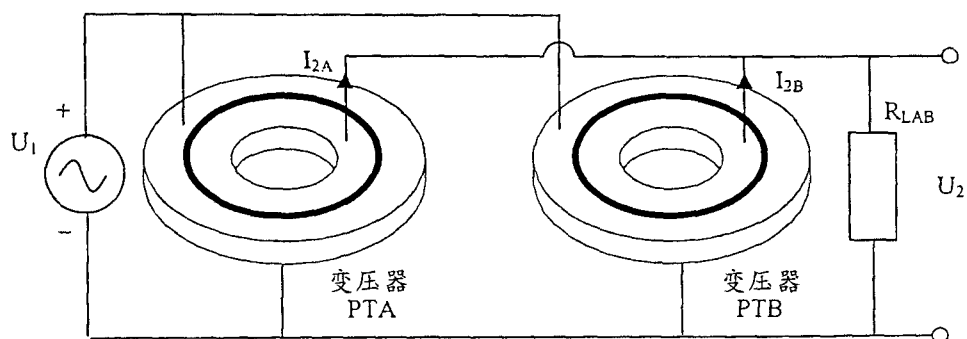


图 11

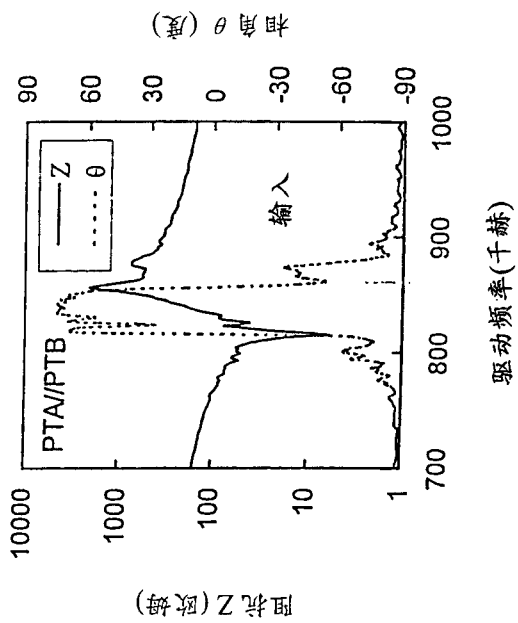


图 12

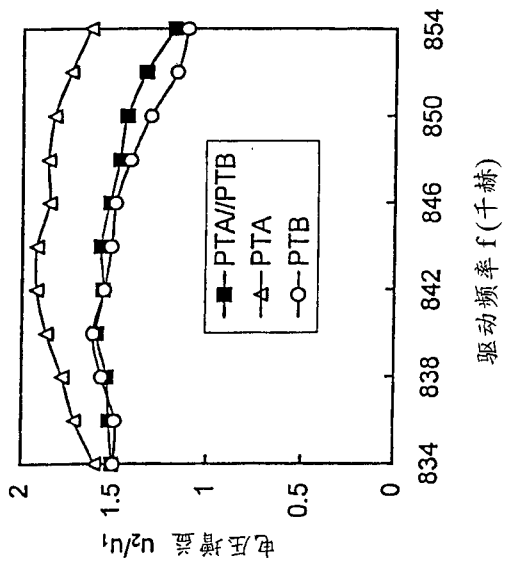


图 13

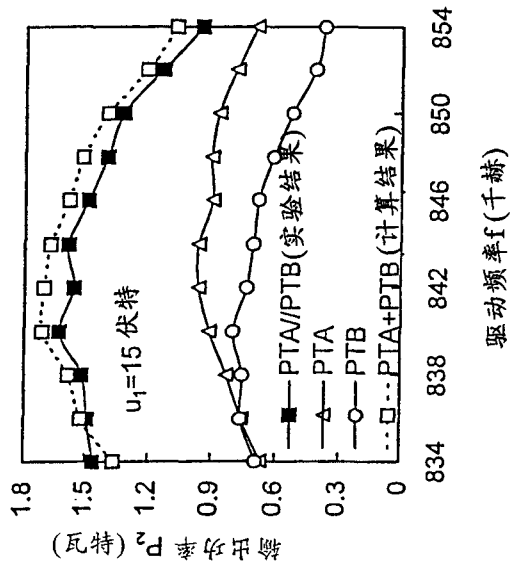


图 14

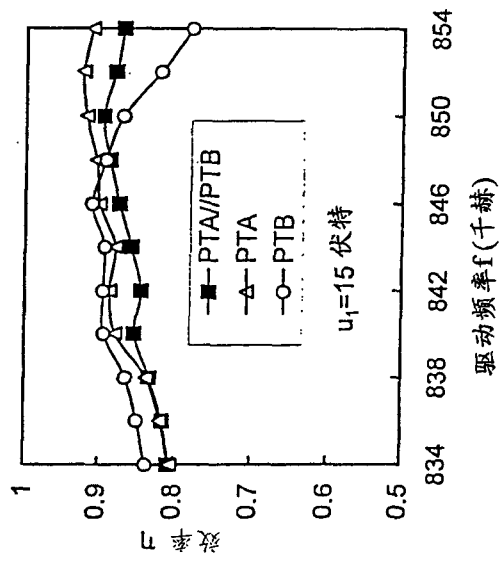


图 15