

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01L 41/107

H01L 41/083

H01F 30/06



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01120848.1

[45] 授权公告日 2005 年 8 月 31 日

[11] 授权公告号 CN 1217427C

[22] 申请日 2001.5.30 [21] 申请号 01120848.1

[71] 专利权人 香港理工大学

地址 香港九龙

[72] 发明人 张 彧 胡俊辉 陈王丽华 蔡忠龙

审查员 闫立刚

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

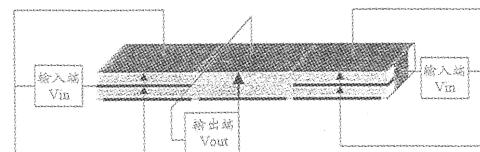
代理人 王忠忠

权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 6 页

[54] 发明名称 弯曲振动模式压电陶瓷升压变压器

[57] 摘要

压电陶瓷升压变压器和制备方法, 利用输入和输出端的机械串联结构使压电陶瓷产生共振, 在输出端输出升压, 并获得高电功率转换效率。压电变压器采用一体化共烧工艺制备, 具有结构紧凑, 器件尺寸小, 工作性能稳定等特点。适用于小型化的电子仪器。器件的主要优点在于: 器件形状为扁平长方体结构。采用共烧工艺, 以及尺寸优化技术, 将一般情况下较少采用的弯曲振荡模式引入升压变压器的设计中。采用多层共烧结构, 拓宽输入电压的调节范围。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1. 一种多层共烧结构、弯曲振动模式的压电升压变压器，包括：
位于变压器两侧的两部分电压输入端，其相对于输出端左右对称分
5 布；输入端由两层压电陶瓷与铂金属内电极共烧结构构成；输出端
为单层压电陶瓷结构，输入端与输出端为一体化共烧结构；输入端
及输出端的外表面设置外电极，外电极分别位于变压器的上下表面
以及左右两侧，其中输入端地线引出端的外电极位于变压器的长度
10 方向左右两侧，其连接于输入端两层压电陶瓷间的共烧内电极；输
入端火线引出端外电极以及输出端外电极分别位于变压器上下表
面，并沿变压器表面长度方向按照 $1/3$ 变压器表面长度的关系均匀涂
布，外电极连接输入及输出端的引线；其特征在于，位于变压器
左右两侧的压电变压器输入端，其两层压电陶瓷极化方向一致，均
垂直于内外电极所在平面，激励两层压电陶瓷的输入端电压方向相
15 反，从而产生弯曲模式振荡，输出端极化方向与输入端平行，根据
压电陶瓷的正压电效应，将弯曲振荡的机械能转换为电能形式输出。

2. 根据权利要求 1 的变压器，其特征在于：变压器整体为一扁
平长方体结构，长，宽，高三个方向上尺度关系为：长：宽：高为 32：
8：1.5，两部分输入端和一部分输出端沿变压器长度方向平均分布，
20 各占 $1/3$ 长度径向大小，输入端位于输出端两侧，输出端位于变压器
中间。

3. 根据权利要求 2 的变压器，其特征在于：输入端为含有金属
内电极多层一体化共烧结构。

4. 根据权利要求 1 的变压器，其特征在于，所述变压器以 d_{31} 方
25 式激励并通过弯曲振荡模式的正压电效应产生升压输出，振动模态
包括低阶和高阶的振动模态。

5. 根据权利要求 1 的变压器，其特征在于：输入端至少包含两
层压电陶瓷结构，所述两层压电陶瓷在电学上并联，在机械结构上

串联，从而进一步提高输出和输入电压之间的比例。

6. 根据权利要求 1 至 5 中任意一项的变压器，其特征在于：所述输入输出端压电陶瓷器件为一体化烧结结构，包括输入端陶瓷素胚与铂内电极的共烧结构，以及与所述两层陶瓷一体化烧结的银外电极。
- 5

7. 根据权利要求 1 的变压器，其特征在于：压电陶瓷在长度方向上以横向 d_{31} 振动模式激励，弯曲振荡模式正压电效益升压，从而实现电能-机械能-电能之间的转换，其振动模式包括低阶和高阶振动方式。

弯曲振动模式压电陶瓷升压变压器

5 技术领域

本发明涉及固态电子元器件，具体涉及一种压电陶瓷升压变压器。

背景技术

10 人们已经知道在电子陶瓷电力器件应用领域中，用压电陶瓷正逆压电效应进行电压或电流转换的技术，具体的说，这种技术就是通过对压电陶瓷进行一定的极化取向和电极设计，利用逆压电效应使压电陶瓷在输入端电压激励下产生机械振荡，然后利用正压电效应使该机械振动能转化为输出端的电能，从而实现电力传输过程中以机械能为媒介的电能互换。在该能量转换过程中，压电陶瓷变
15 压器的结构和尺寸，振动方式和电能取出方式影响了压电陶瓷变压器自身的输入和输出电阻抗特性。当输入和输出端的电阻抗不等时，输入和输出端间的电压在负载匹配情况下将不相等，这在效果上即等同于电磁式变压器，此即通常所谓的压电陶瓷变压器。

20 压电陶瓷变压器从功能上可分为升压和降压两种，前者是以高输出电压为主要目的，而后者是以降压，高输出功率为其主要目的。它们已成为近年来特别引入注目的电子陶瓷元件，其原因是与目前大量应用的电磁式变压器相比，具有不可燃，无电磁辐射，体积小，结构简单等特点，适合于近年来迅猛发展的小型化电子通信，计算机设备等。90年代初，日本主要的公司和研究机构，如 NEC, Toshiba,
25 Tokin 等公司及东京大学即以计算机设备为应用目标，开展了压电陶瓷变压器应用研究。经过了近十年的研究工作后，最先在便携式手提计算机液晶屏幕显示器和计算机降压变压器领域实现大规模应用。因而，可以预计压电陶瓷变压器在未来的电子元件器中有着重

要的地位。

图 1 所示的是 1956 年 Rosen 首先提出的压电陶瓷升压变压器结构。这种变压器是利用压电陶瓷的压电应变系数 d_{31} 产生横向振动，然后利用压电应变系数 d_{33} 来获得与振动方向平行的纵向电场来获得高输出电压在这种结构中，输入和输出端电阻抗相差大才能保证负载有高的输出电压，因而变压器一般采用的是不对称结构。目前大多数压电陶瓷升压变压器都是以 Rosen 型结构为基本雏形而发展的产品，用于便携式手提计算机液晶显示展幕的便是采用 Rosen 改进型多层陶瓷变压器而工作的。日本专利申请第 09059969 号是这种类型的压电变压器的一个实例。

图 2 所示的是多层压电陶瓷升压变压器的基本结构。该压电变压器采用厚度模式振荡，首先它利用压电陶瓷的压电应变系数 d_{33} 产生厚度方向振动，然后再利用压电应变系数 d_{33} 来获得与振动方向平行的纵向电场来获得高输出电压。根据输入和输出端阻抗差异，从而获得较高的输出电压。该结构变压器的输入输出电流相对其它类型升压变压器较大，升压变压比介于 1 至 30 之间，因而能满足于日益增长的小型化，高变比交流-交流 (AC-AC) 和直流-直流 (DC-DC) 转换电路的应用要求。日本 NEC 公司就是采用了与图 2 相似的多层陶瓷片的输入和输出结构，制备了 15 倍纵向厚度振动模式升压变压器。美国专利第 8313971 号是这种压电陶瓷变压器的一个实例。

对于以上所述的压电变压器，输入和输出端的压电陶瓷采用互偶式工作原理。及与输入端部分相连的那部分压电陶瓷在电压驱动下使压电陶瓷器件产生整体的机械运动，通过驻波振动将机械能传递至另一作为输出端的压电陶瓷上来获得电能。图 2 所示厚度振动模式多层压电变压器，由于其结构特点，一般工作于较高的振动频率范围，因此器件的老化现象较严重。同时，采用此结构的多层压电变压器，其在制备工艺过程中的极化步骤也较复杂。(J.W.Wanders, Piezoelectric Ceramics: properties and applications, Philips, 1991)。另

外，传统工艺中采用粘结剂粘结法，将通过干压法制备的陶瓷片粘结成为的多层一体化结构，虽然成本低，工艺简单，但由于粘结剂与压电陶瓷机械阻抗不匹配，将大大降低器件的电功率转换效率。鉴于以上传统器件设计及制备工艺上的不足，因此，探索新的器件设计结构，和优化制备工艺方法，对于生产适用于不同工作环境条件的小型化电子器件有很大的实用价值。

发明内容

本发明的一个目的是提供一种弯曲振动模式的多层压电变压器的结构设计。

10 本发明的另一个目的是提供制备弯曲振动模式的多层压电变压器的工艺方法。

本发明所提供弯曲振动模式的多层压电变压器，其包括：

15 位于变压器两侧的两部分电压输入端，其相对于输出端左右对称分布。输入端由两层压电陶瓷与铂金属内电极共烧结构构成。输出端为单层压电陶瓷结构。输入端与输出端为一体共烧结构。输入端及输出端的外表面设置外电极。外电极分别位于变压器的上下表面以及左右两侧。其中输入端地线引出端的外电极位置位于变压器的长度方向左右两侧，其连接于输入端两层压电陶瓷间的共烧内电极。输入端火线引出端外电极以及输出端外电极分别位于变压器上下表面，并沿变压器表面长度方向按照 $1/3$ 变压器表面长度的关系均匀涂布。外电极连接输入及输出端的引线。其特征在于，位于变压器左右两侧的压电变压器输入端，其两层压电陶瓷极化方向一致，均为垂直于内外电极所在平面，激励两层压电陶瓷的输入端电压方向相反，从而产生弯曲模式振荡。输出端极化方向与输入端平行，

25 根据压电陶瓷的正压电效应，将弯曲振荡的机械能转换为电能形式输出。

本变压器的又一方面特点，其整体为一扁平长方体结构。通过尺寸优化技术可以明显提高器件的工作效果，目前优化后的器件的

长，宽，高为 32: 8: 1.5。两部分输入端和一部分输出端沿变压器长度方向平均分布，各自占据 1/3 长度径向大小。输入端位于输出端两侧，输入端含有两层压电陶瓷及所述内电极。输出端位于变压器中间，输出端为单层压电陶瓷结构。

5 本发明的变压器，其又一特征在于：输入端两层压电陶瓷厚度相等，其金属内电极位于两层压电陶瓷中间。输入端为多层一体化共烧结构。

10 本发明的变压器，其又一方面特征在于：所述变压器以得 d_{31} 方式激励并沿长度方向产生驻波振荡，通过多层结构的不同振荡方向下的组合效果产生弯曲模式运动，进而采用弯曲模式正压电效应实现升压输出。振动模态包括低阶和高阶的振动模态。

本发明的变压器，其又一方面特征在于：输入端至少包含两层压电陶瓷结构，所述压电陶瓷片在电学上并联，在机械结构上串联，从而进一步提高输出和输入电压之间的比例。

15 本发明的变压器，其又一方面特征在于：所述两片压电陶瓷片为由轧膜法，流延法中的一种方法制成的不同厚度的陶瓷片。

本发明的变压器，其又一方面特征在于：陶瓷素胚和金属内电极的一体化结构是由热压工艺及加压烧结方法实现。

20 本发明的变压器，其又一方面特征在于：所述输入输出端压电陶瓷片为一体化烧结结构，包括输入端陶瓷素胚与铂内电极的共烧结构，以及与所述陶瓷片一体化烧结的银外电极。

本发明的多层共烧结构弯曲振动模式的压电升压变压器的制备方法如下：

25 1). 利用轧膜法或流延法制备 200 微米厚度的压电陶瓷新鲜膜料。

2). 输入端内电极采用丝网印刷方法涂布，内电极涂布面积与输入端面积相等，同样位于变压器长度方向左右两侧分布。

3). 利用热压工艺和加压烧结实现陶瓷素胚与铂金属内电极的一

体化结构。

4). 利用高温共烧工艺在变压器表面涂布银外电极。输入端外电极地线引出端连接金属内电极，分别位于变压器左右两侧。

5) 再在输入端和输出端所有外电极的中间位置分别焊接导线作为变压器的对外工作连线。

6). 利用分步极化法对变压器的输入输出端进行极化。

本发明所提供的多层一体化共烧结构的弯曲振动模式压电陶瓷升压变压器，其特点是：变压器结构简单，制备方便，器件厚度小，工作频率范围低，耐老化，能有效地提高输出电压，并具有高电功率转换效率。

1. 从制备工艺看，本发明采用轧膜或流延法制备新鲜陶瓷膜料，采用热压工艺以及一体化烧结方法制备多层结构压电升压变压器。结构简单，工艺手段成熟。

2. 从器件结构看，由于存在两部分输入端提供激励振荡，因而，器件的工作模态可以在低阶以及高阶均获得稳定的驻波振荡。同时减少寄生振动，降低能量消耗。

3. 从器件的振动产生以及机械能电转换方式看，由于采用压电系统 d_{31} 横向长度伸缩模式，通过多层组合运动效果，在长度方向产生弯曲振荡，因而，可以获得较低的工作频率。同时，采用共烧方法和弯曲振荡模式，即使在器件厚度很薄的情况下，也使器件获得较高的机械能电能转换效率。

4. 从器件尺寸看，由于器件采用扁平长方体结构，因而实际所占用的空间小，便于装配在集成电路系统中充当小型电压调控器件。同时采用尺寸优化技术，器件具有好的工作效果。

5. 从压电变压器的激励方式看，其通过输入端多层结构分别产生的长度方向振荡效果的组合，而产生器件整体的弯曲振荡模式，进而在输出端以弯曲振荡模式的正压电效应将机械能转换为电能，并获得较高压输出。这也是本发明结构的关键所在：它使压电陶瓷

升压变压器具有以上各优点，使升压变压器的设计和制作更趋灵活性。

附图说明

5 以下参照附图用具体实例来进一步阐明本发明结构的特征和优点。

图 1 为 Rosen 型压电陶瓷升压变压器的结构示意图。

图 2 为多层压电陶瓷升压变压器的结构示意图。

图 3 为本发明的多层一体化共烧结构的弯曲振动模式压电陶瓷升压变压器的结构示意图。

10 图 4 为本发明的多层一体化共烧结构的弯曲振动模式压电陶瓷升压变压器的纵向截面示意图。

图 5 为本发明的多层一体化共烧结构的弯曲振动模式压电陶瓷升压变压器的左右输出端截面示意图，图中箭头所指为压电陶瓷极化方向。

15 图 6(a)为本发明的多层一体化共烧结构的弯曲振动模式压电陶瓷升压变压器的第三阶弯曲振荡形变模式示意图。

图 6(b)为本发明的多层一体化共烧结构的弯曲振动模式压电陶瓷升压变压器的第三阶弯曲振荡应力分布示意图。

20 图 7 为本发明的多层一体化共烧结构的弯曲振动模式电陶瓷升压变压器的纵向振动的等效电路示意图。

图 8 为本发明的多层一体化共烧结构的弯曲振动模式压电陶瓷升压变压器在负载电阻一定（1187 欧姆），输入电压一定（有效值 0.7 伏特）的条件下，其输入输出电压的升压比随工作频率变化的曲线示意图。

25 图 9 为本发明的多层一体化共烧结构的弯曲振动模式压电陶瓷升压变压器在负载电阻一定（1187 欧姆），输入电压一定（有效值 0.7 伏特）的条件下，其输出功率随工作频率变化的曲线示意图。

图 10 为本发明的多层一体化共烧结构的弯曲振动模式压电陶瓷

升压变压器在负载电阻一定（1187 欧姆），输入电压一定（有效值 0.7 伏特）的条件下，其电功率传输效率随工作频率变化的曲线示意图。

5 图 11 为本发明的多层一体化共烧结构的弯曲振动模式压电陶瓷升压变压器在工作频率一定（近似 205K 赫兹）的条件下，其输入输出电压的升压比随负载电阻变化的曲线示意图。

具体实施方式

参照图 3 所示，本发明所提供的为本发明的多层一体化共烧结构的弯曲振动模式压电陶瓷升压变压器，它包括：位于变压器长度方向两侧的两个输入端陶瓷及金属内电极共烧结构，位于变压器长度方向中间位置的输出端单层压电陶瓷结构。输入端与输出端为一体化共烧结构。输入端内电极采用耐高温烧结的铂电极。输入端及输出端的外表面设置外电极。外电极分别位于变压器的上下表面以及左右两侧。其中输入端地线引出端的外电极位置位于变压器的长度方向左右两侧，其连接于输入端两层压电陶瓷间的共烧内电极。10 输入端火线引出端外电极以及输出端外电极分别位于变压器上下表面，并沿变压器表面长度方向按照 1/3 长度关系均匀涂布。外电极连接输入及输出端的引线。其特征在于，位于变压器左右两侧的压电变压器输入端，其两层压电陶瓷极化方向一致，均为垂直于内外电极所在平面，激励两层压电陶瓷的输入端电压通过外电极引线分别施加于两层已经极化的压电陶瓷片上，由于引线的连接方式造成输入端两层压电陶瓷片上的电压方向刚好相反，从而产生振动方向相反的长度方向伸缩运动，两方面的长度方向伸缩运动的合成效果，即构成弯曲模式振荡。输出端极化方向与输入端平行，根据压电陶瓷的正压电效应，将弯曲振荡的机械能转换为电能形式输出。15 20 25

本发明的压电升压变压器为扁平长方体，其尺寸优化后的长度，宽度，及厚度之比大致为：32：8：1.5。

本发明的压电升压变压器以 d_{31} 横向长度方向振动模式激励，以

弯曲振荡模式实现升压输出，振动模态包括低阶和高阶的振动模态。

本发明的压电升压变压器的输入端为多层结构，输入端两片压电陶瓷在电学上互相并联，输入和输出端各陶瓷片在机械上互相串联。

5 在本发明中，压电陶瓷新鲜磨料采用榨膜法或流延法制备，再通过热压及加压烧结方法实现其一体化结构，表面银外电极采用高温共烧工艺制备。

10 在本发明中，位于变压器左右两侧的压电变压器输入端，其两层压电陶瓷极化方向一致，均为垂直于内外电极所在平面，以横向 d_{31} 振动模式激励。激励两层压电陶瓷的输入端电压分别施加于两层已经极化的压电陶瓷片上，极化方向如图 3 或 4 中 P 所示，方向刚好相反，从而产生振动方向相反的长度方向伸缩运动，两方面的长度方向伸缩运动的合成效果，即构成弯曲模式振荡。输出端极化方向与输入端平行，根据压电陶瓷的正压电效应，将弯曲振荡的机械能
15 转换为电能形式输出。

本发明的多层共烧结构弯曲振动模式的压电升压变压器的制备方法包括：

1). 利用榨膜法或流延法制备 200 微米厚度的压电陶瓷新鲜膜料。根据设计要求，按一定尺寸对膜料进行切割。

20 2). 输入端内电极采用丝网印刷方法涂布，并在 80 摄氏度条件下烘干。

3). 利用热压工艺和加压烧结实现陶瓷素胚与铂金属内电极的一体化结构。

25 4). 利用高温共烧工艺在变压器表面涂布银外电极。其中输入端外电极地线引出端连接金属内电极，分别位于变压器左右两侧。外电极涂布位置如图 3 中深灰色阴影部分所示。

5). 再在输入端和输出端所有外电极的中间位置分别焊接导线作为变压器的对外工作连线。

6). 利用分步极化法对变压器得输入输出端进行极化。

实施例:

以硬性掺杂 PZT 基压电陶瓷材料作为本发明结构的基本材料, 制备陶瓷新鲜膜料, 印刷铂内电极后, 通过热压工艺及加压烧结方
5 法制备变压器粗胚, 被覆上银电极后在高温下烧结该银电极, 在最
小应变位置焊接导线, 再分步极化该变压器的输入输出端。得到最
终产品: 多层一体化共烧结构的弯曲振动模式压电陶瓷升压变压器,
其尺寸如下:

长度 $L = 32$ 毫米,
10 厚度 $H = 1.5$ 毫米,
宽度 $W = 8$ 毫米。

对上述实施例中所采用的 PZT 材料, 其所制备的单层压电陶瓷
性能如下: 压电耦合系数 $d_{33} = 320$, 机械品质因数 $Q_m = 960$, 介电系
数 $\varepsilon_{33} (1\text{KHz}) = 1300$ 。

15 图 6 所示为本发明的多层一体化共烧结构的弯曲振动模式压电
陶瓷升压变压器的输入及输出端压电振动的等效电路。对该电路进
行测量, 得到结果为:

输入端:	共振频率 = 204.8 千赫,	反共振频率 = 221.18 千赫,
	压电耦合系数 $d_{33} = 160$,	等效内电阻 = 2.54 欧姆,
	等效电感 = 0.79 微亨,	等效电容 $C_a = 850$ 皮法
	等效电容 $C_b = 4970$ 皮法,	机械品质因数 $Q_m = 436.13$
输出端:	共振频率 = 196.1 千赫,	反共振频率 = 209.7 千赫,
	压电耦合系数 $d_{33} = 300$,	等效内电阻 = 16.3 欧姆,
	等效电感 = 7.2 微亨,	等效电容 $C_a = 89.9$ 皮法
	等效电容 $C_b = 667$ 皮法,	机械品质因数 $Q_m = 587.5$

从以上测量结果, 可以看到采用共烧手法, 引入内电极对压电
器件整体的性能有一定影响, 如压电耦合系数或贡献品质因数都有
20 一定程度的下降, 但由于下降幅度不大, 因而在实际工作中对器件

的工作表现不会造成妨碍。

图 8 示出在测量输入有效电压为 0.7 伏特时，负载电阻为 1187 欧姆条件下，输入输出电压比例随工作频率的变化。由图可见，在 197.3 千赫，接近共振频率位置，输入输出电压比例有最高值，达到 5.7。

5 图 9 示出在测量输入有效电压为 0.7 伏特时，负载电阻为 1187 欧姆条件下，输出电功率值随工作频率的变化。由图 9 可见，在 197 千赫，接近共振频率位置，输出电功率有最高值，达到 31.5 微瓦特。

10 图 10 示出在测量输入有效电压为 0.7 伏特时，负载电阻为 1187 欧姆条件下，电能传输效率随工作频率的变化。由图可见，在 205 千赫，接近反共振频率位置，能量传输效率有最高值，达到 80.17%。

15 图 11 示出在测量中，当输入工作频率大致不变的条件下，输入与输出电压有效值的比例随负载电阻的变化。由图可见，负载电阻越高，输入输出电压的升压比变越高，当负载电阻达到 4 兆欧姆时，升压比基本达到稳定最高值，约 9。以上压电陶瓷变压器性能测量过程中，压电陶瓷变压器的温度未发生变化。

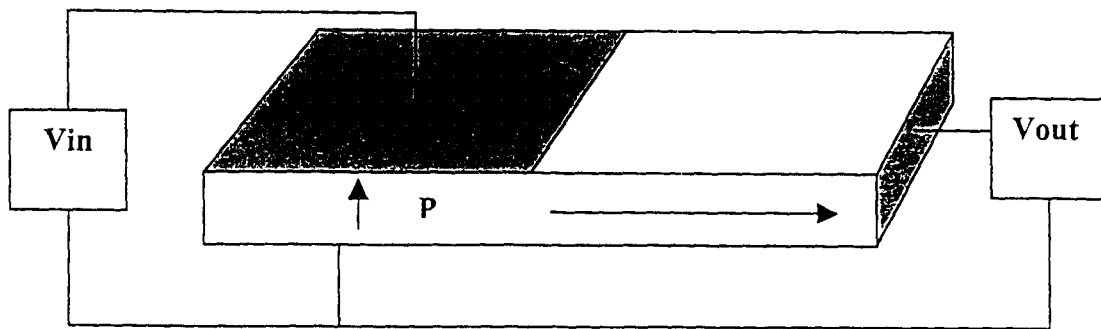


图 1

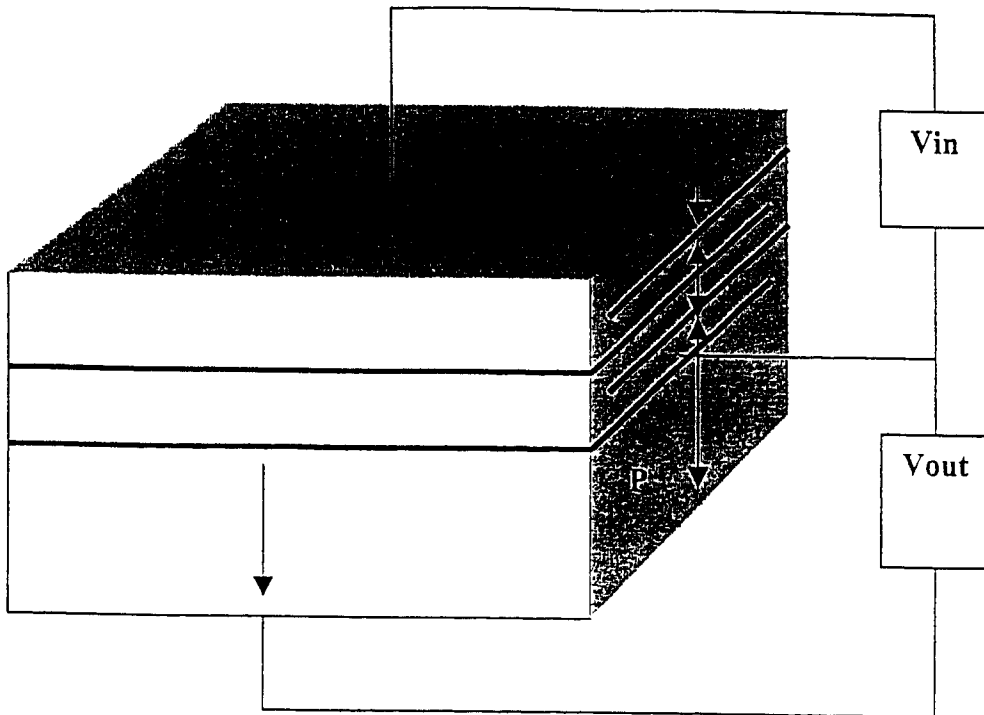


图 2

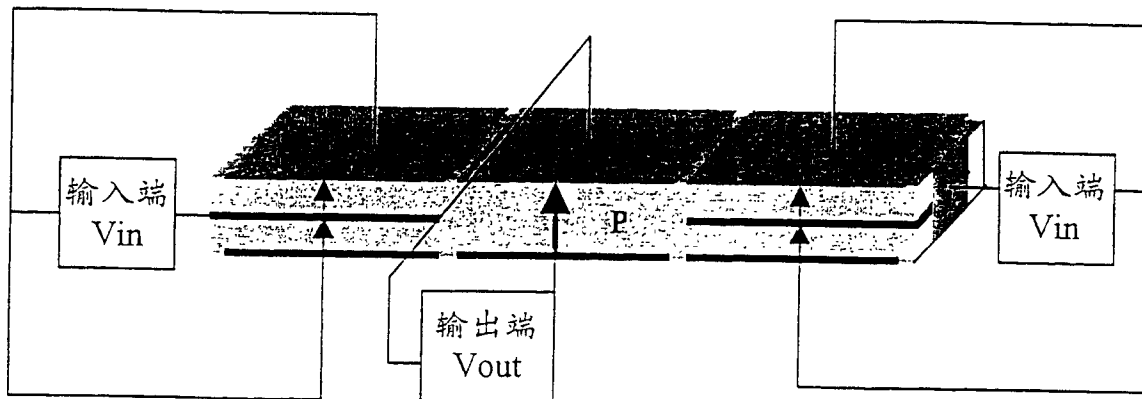


图 3

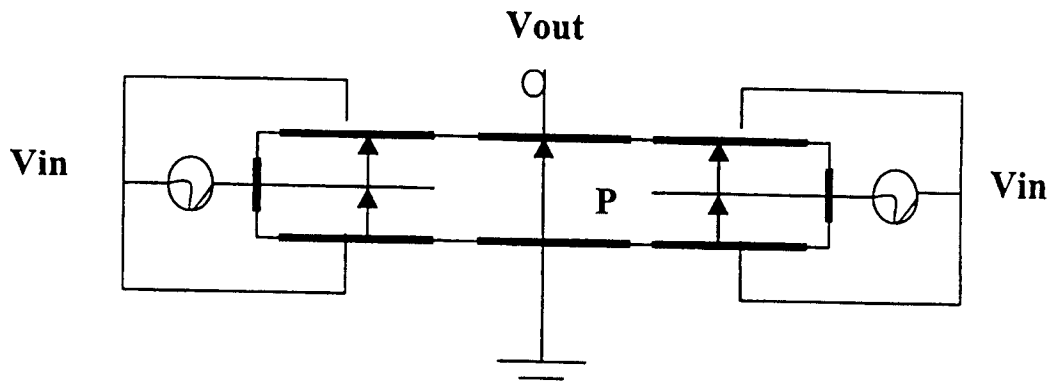


图 4

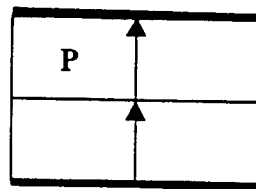
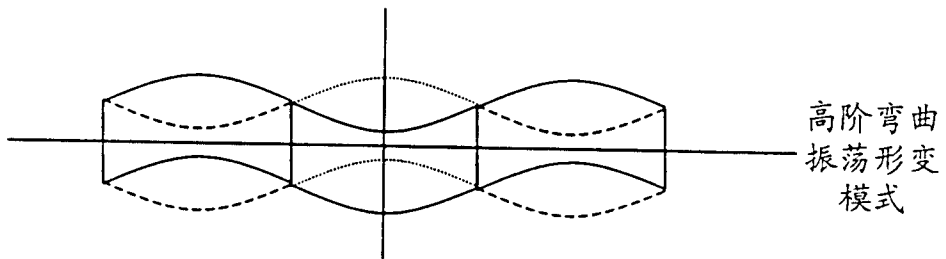
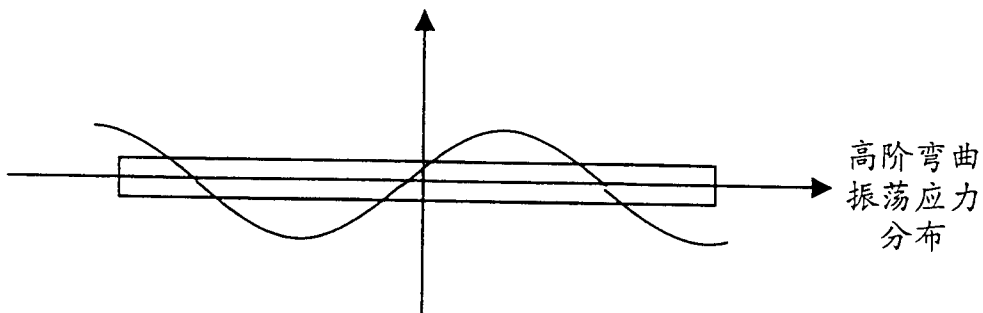


图 5



高阶弯曲
振荡形变
模式

图 6 (c)



高阶弯曲
振荡应力
分布

图 6 (b)

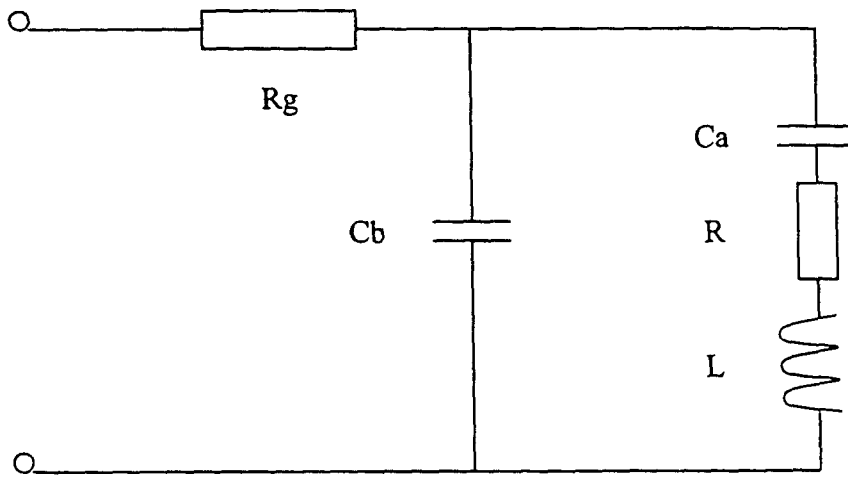


图 7

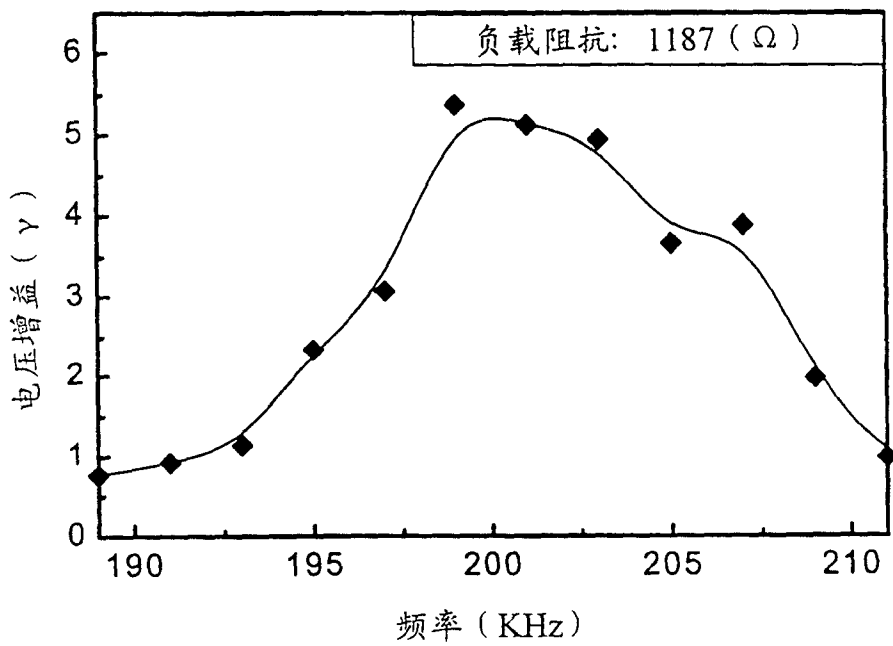


图 8

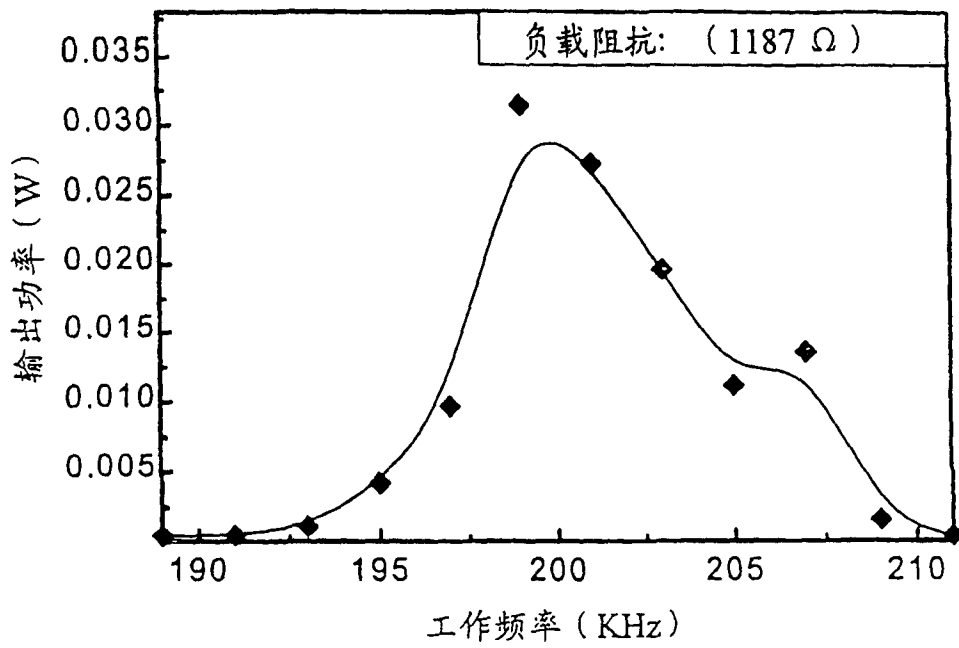


图 9

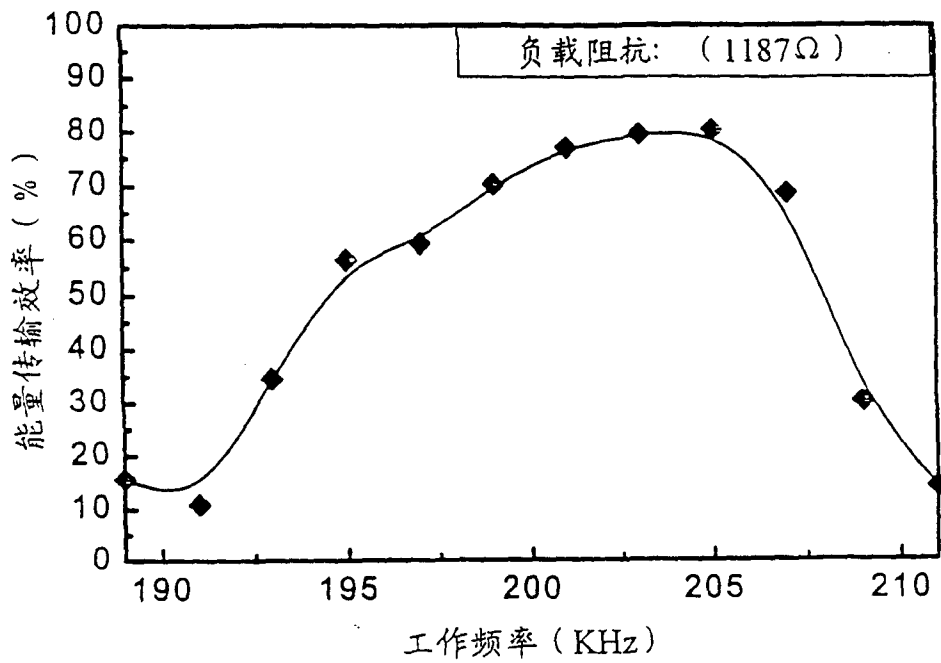


图 10

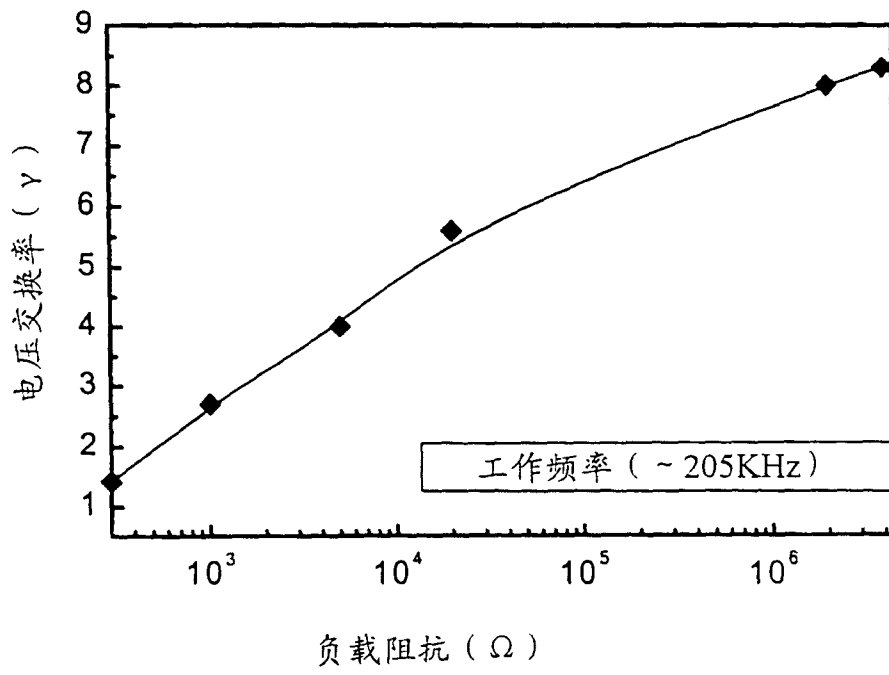


图 11