

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

H01F 30/02

H01F 19/00

H01L 41/08

H01L 41/24



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 99126441.X

[45] 授权公告日 2005 年 7 月 20 日

[11] 授权公告号 CN 1211815C

[22] 申请日 1999.12.16 [21] 申请号 99126441.X

[71] 专利权人 香港理工大学

地址 香港九龙

[72] 发明人 陈王丽华 李国荣 胡俊辉 蔡忠龙

审查员 陆水如

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

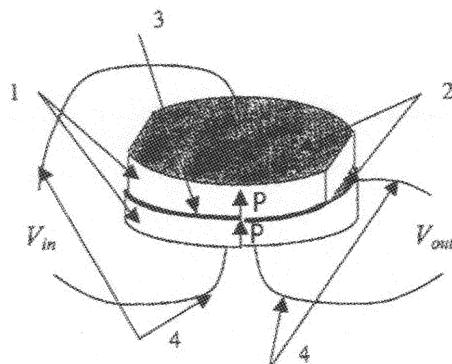
代理人 林长安

权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 3 页

[54] 发明名称 自耦式压电陶瓷降压变压器及其制备方法

[57] 摘要

本发明涉及一种压电陶瓷降压变压器的新型结构和制备方法。它利用输入和输出端的电学串联结构使压电陶瓷产生共振，在输出端输出低电压并获得高电功率转换效率的压电陶瓷变压器。该压电陶瓷变压器具有结构简单、制备方便、器件尺寸小等特点，适合于小型化的电子仪器，特别是在小型直流 - 直流或交流 - 交流转换器的应用。



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

1. 一种自耦式压电陶瓷降压变压器，其包括：从压电陶瓷变压器的二片压电陶瓷片上引出的输入和输出端，所述二片压电陶瓷片用环氧树脂粘结剂粘结，每一个所述压电陶瓷片的二个表面均设置有电极，以及连接到相应电极的输入和输出端电压的引线，其特征在于：所述二片压电陶瓷极化方向相同，以变压器的底部作为地线，激励二片压电陶瓷振动的输入电压是加在所述二片压电陶瓷片上，所述二片压电陶瓷片间引出的电线与所述地线之间作为所述压电陶瓷变压器的降压输出端。

2. 根据权利要求 1 所述的变压器，其特征在于：二片压电陶瓷片中的一片压电陶瓷是圆形的，另一片的圆周上对称地磨去一拱形部分，所述二片压电陶瓷粘结后，在未磨陶瓷部分的电极上引出压电陶瓷变压器的输出端引线。

3. 根据权利要求 2 所述的变压器，其特征在于：所述压电陶瓷以径向振动方式激励，振动模态包括低阶和高阶的振动模态。

4. 根据权利要求 1 所述的变压器，其特征在于：所述二片压电陶瓷片的厚度相等。

5. 根据权利要求 1 所述的变压器，其特征在于：所述二片压电陶瓷片的厚度不相等。

6. 根据权利要求 1 所述的变压器，其特征在于：输出端的压电陶瓷为一片压电陶瓷片。

7. 根据权利要求 1 至 6 中任意一项所述的变压器，其特征在于：该二片压电陶瓷片间的粘结层由有机材料粘结剂构成，还包括与该压电陶瓷片一体化烧结的银电极。

8. 根据权利要求 1 所述的变压器，其特征在于：所述二片压电陶瓷片的形状是圆片形或圆环形，所述二片压电陶瓷的极化方向相互平行，该压电陶瓷片在径向上以径向振动模式激励，在厚度方向上

以纵向振动模式激励，而其振动模态可以是低阶和高阶振动方式。

9. 一种制备自耦式压电陶瓷降压变压器的方法，所述方法包括：

在二片压电陶瓷圆片上覆盖银电极料浆；

用高温烧结方法将银电极粘结在所述二片压电陶瓷圆片上；

5 再对带所述电极的压电陶瓷片进行极化，使其具有压电性能；

在其中的一片压电陶瓷片的对称边缘处各磨去一个拱形部分；

用环氧树脂粘接剂均匀地涂在所述二圆片压电陶瓷片的一个电极面上，再用模具将所述二片压电陶瓷片紧密地粘结在一起，该环氧树脂粘结剂便形成一粘结层；

10 再在所述二片陶瓷的最上和最下面电极焊上电线作为输入端，以最下面电极作为接地线，以及在所述二片压电陶瓷之间那部分未磨去陶瓷边缘的压电陶瓷片上的电极上及最下面电极分别焊接电线作为变压器的输出端。

15

自耦式压电陶瓷降压变压器 及其制备方法

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降压变压器。

背景技术

人们已经知道在电子陶瓷电力器件应用领域中，利用压电陶瓷正逆压电效应进行电压或电流转换的技术，具体地说，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结构设计，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。在该能量转化过程中，压电陶瓷变压器的结构和尺寸、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，其输入和输出端间的电压在负载匹配情况下将不相等，这在效果上便等同于电磁式变压器，即通常所谓的压电陶瓷变压器。

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，而后者是以高输出功率、大电流为主要目的。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如通讯、计算机设备等。90年代初，日本重要的公司和研究机构，如 NEC、Toshiba、Tokin 等公司以及东京工业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，率先在便携式手提计算机液晶屏幕显示和计算机降压变压器这种量大面广的应用。因而，可以预计压电陶瓷变压器在未来的电子元件

器件中有着重要的地位。

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逆压电效应产生横向振动，然后利用正压电效应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屏幕显示便是采用 Rosen 改进型多层陶瓷电压变压器而工作的。日本专利申请第 09059969 号是这种类型的压电陶瓷变压器的一个实例。

图 2 所示的电压电陶瓷降压变压器常用的基本结构。它的输入和输出电流一般均很大，降压比在小于 1 和大于 0.1 之间，因而能满足于日益增长的小型化、大电流交流 - 交流 (AC - AC) 和直流 - 直流 (DC - DC) 转换电路的应用要求。该器件的输入和输出电阻抗不大且很接近，因而输入和输出端的电极结构通常是对称的或相近的，它们的振动模式亦是相同的。日本 Tokin 公司就是采用了与图 2(a)相似的多层陶瓷片的输入和输出结构，制备了 80 瓦功率的纵向厚度振动模式压电陶瓷降压变压器，它的降压比接近 0.4，用于计算机的交流 - 交流 (AC - AC) 转换器中。授予 Takeshi I 等人的美国专利第 5,118,982 是这种压电陶瓷变压器的一个实例。

在以上二种压电陶瓷变压器中，输入和输出端处的压电陶瓷至今都采用了传统的工作方式：即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机械振动，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。这种工作方式对于升压变压器而言尚可；但对降压变压器而言却有些不足。以图 2 所示一些常用降压变压器为例，单片压电陶瓷制成的降压变压器太长，很难小型化，功率亦低；而二片压电陶瓷制成的降压变压器在降压比为 0.4 ~ 0.1 间，其电功率转换效率小于 60%

(J.W.Waanders, Piezoelectric Ceramics: properties and applications, Philips, 1991)。以上问题虽然用多层陶瓷结构作为输入和输出端能有效地解决，但多层压电陶瓷结构复杂，如采用流延或轧膜以及多层压电陶瓷片与内电极共烧技术制备多层次式压电变压器，将增加5 工艺难度和生产成本；而采用粘结剂粘结传统干压法得到的压电陶瓷片来制备多层次压电陶瓷结构器件，这种制备方法虽然制备工艺简单、成本提高不大，但粘结剂与压电陶瓷机械阻抗不匹配，将大大提高器件机械阻抗，从而降低器件的电功率转换效率。所以，传统的工作方式对多层次压电陶瓷降压变压器而言，存在着制备工艺要求10 高和性能可下降等不足。其次，测试压电陶瓷变压器性能时，常发现输入电压和电流间有一个相位角，它表明变压器的无功功率占有一定的比例，因而人们通常在输入端加一个电感来调节该相位角，使得其接近于零度，但这种方法的工作频带变窄，且增加成本和器件的体积。最后，传统的工作方式使器件设计不够灵活，也限制器件15 尺寸进一步微小型化。因此，探索结构简单、制备方便、性能良好的新型压电陶瓷降压变压器对提高器件性能和器件小型化有实用价值。

发明内容

本发明的一个目的是提供一种自耦式压电陶瓷降压器。

20 本发明的另一个目的是提供制备自耦式压电陶瓷降压变压器的方法。

本发明所提供的自耦式压电陶瓷降压变压器，其包括：从压电25 陶瓷变压器的二片压电陶瓷片上引出的输入和输出端，所述二片压电陶瓷片用环氧树脂粘结剂粘结，每一个所述压电陶瓷片的二个表面均设置有电极，以及连接到相应电极的输入和输出端电压的引线，其特征在于：所述二片压电陶瓷极化方向相同，以变压器的底部作为地线，激励二片压电陶瓷振动的输入电压是加在所述二片压电陶瓷片上，所述二片压电陶瓷片间引出的电线与所述地线之间作为所述

压电陶瓷变压器的降压输出端。

在本发明的一个方面，压电陶瓷是圆形的，另一片的圆周上对称地磨去一拱形部分，该二片压电陶瓷粘结后，在未磨陶瓷部分的电极上引出压电陶瓷变压器的输出端引线。

5 在本发明的又一个方面，该压电陶瓷以径向振动方式激励，振动模态包括低阶和高阶的振动模态。

在本发明中该二片压电陶瓷片的厚度可以相等，也可以不相等。

在本发明的又另一个方面，其输出端的压电陶瓷为一片压电陶瓷片。

10 在本发明中该二片压电陶瓷片为不同厚度的干压法、轧膜法、流延法制成的压电陶瓷片。

在本发明中该二片压电陶瓷片间的粘结层为有机材料粘结剂，还包括与该压电陶瓷片一体化烧结的银电极。

15 在本发明中，该二片压电陶瓷片的形状是圆片形或圆环形，所述二片压电陶瓷的极化方向相互平行，该压电陶瓷片在径向上以径向振动模式激励，在厚度方向上以纵向振动模式激励，而其振动模态可以是低阶和高阶振动方式。

本发明的自耦式压电陶瓷降压变压器的制备方法如下：

20 在二片压电陶瓷圆片上覆盖以银电极料浆；之后，将该二片压电陶瓷圆片进行高温烧结该银电极；再对带该电极的陶瓷进行极化，使其具有压电性能；在其中的一片压电陶瓷片的对称边缘处各磨去一个拱形部分；用环氧树脂粘接剂均匀地涂在该二圆片压电陶瓷的一个电极面上，再用模具将该二片压电陶瓷片紧密地粘结在一起，该环氧树脂粘结剂便形成一粘结层；再在所述二片陶瓷的最上和最
25 下面电极焊上电线作为输入端，以最下面电极接地线，以及在所述二片压电陶瓷之间那部分未磨去陶瓷边缘的压电陶瓷片上的电极上及最下面电极分别焊接电线作为变压器的输出端。

本发明器件的制备方法还包括轧膜法和流延法及内电极共烧技

术。在本发明的压电陶瓷降压变压器的部件结构上包括采用二层相同陶瓷厚度和不同的厚度，以及三层或三层以上陶瓷组成不同变压比的压电陶瓷变压器。在陶瓷振动模式上除径向振动模式外，还包括横向长度伸缩模式，纵向厚度模式。

5 本发明所提供的自耦式降压陶瓷降压变压器结构简单、制备方便、器件尺寸小、能有效地降低输出电压和高电功率转换效率的
本发明的特点是：

10 1.从制备工艺看，本发明的器件可用传统的干压压电陶瓷片和粘结剂来制备多层结构压电降压变压器，即使生产条件简单的企业单位也可容易制作，因而可降低成本。

2.从器件结构看，以往用二片压电陶瓷较难实现的压电陶瓷降压变压器，现本发明结构即可制备成功，因而不仅有利制备，且简单的器件结构也有利克服复杂结构可能带来的新问题。

15 3.从器件尺寸看，由于本发明结构的降低功能是通过电陶瓷电学串联方式来实现的，因而充分利用了输入端本身的降压作用。这一结构比以往压电陶瓷降压变压器更易小型化。

20 4.从输入和输出电压的连接方式看，输入和输出端处的压电陶瓷在电场作用下能产生共同振动，因而粘结剂对器件机械阻抗并不产生很大的影响，从而消除传统工作方式中用粘结剂粘结压电陶瓷对变压器性能产生不利的影响，有利降低成本。

5.从压电陶瓷的激励方式看，就我们所知，至今未见这种工作方式用于压电陶瓷降压变压器上。这也是本发明结构的关键所在：它使压电陶瓷降压变压器具有以上各优点，使降压变压器的设计和制作更趋灵活性。

25 以下用具体实施例来进一步阐明本发明结构的特征和优点。

附图说明

图 1 为 Rosen 型压电陶瓷升压变压器的示意结构图；

图 2 为压电陶瓷降压变压器的示意结构图；

图 3 为本发明的自耦式径向振动压电陶瓷降压变压器的示意结构图；

图 4 为压电陶瓷圆片对称地磨去部分陶瓷后的压电陶瓷形状。

图 5 示出压电陶瓷圆片径向振动的等效电路；

5 图 6 为本发明的压电陶瓷变压器在输出端带有不同的阻抗负载下的负载与相位角的关系的试验数据曲线图；

图 7 为本发明的自耦式径向振动压电陶瓷变压器的输入电压、电流和二者的相位、输出电压和电流，以及电功率转换效率随负载阻抗变化的特性曲线。

10 具体实施方式

参照图 3，所示为本发明所提供的压电陶瓷降压变压器，其包括：二片设置在变压器的输入和输出端的压电陶瓷材料制成压电陶瓷片 1，该二片压电陶瓷片 1 用环氧树脂粘结剂粘结层 3 粘结，每一个压电陶瓷片的二个表面均设置有电极 2，以及连接到相应电极的输入和输出端电压的引线 4，该二片压电陶瓷极化方向 P 相同，激励该二片压电陶瓷片 1 振动的输入电压 V_{in} 是加在二片压电陶瓷片 1 上，该二片压电陶瓷片 1 间引出的电线 4 与输入端的地线之间作为该压电陶瓷变压器的降压输出端。

本发明的压电陶瓷可以是圆形的，此时，另一片的圆周上对称地磨去一拱形部分，形成如图 4 所示的椭圆的形状，该二片压电陶瓷片经粘结后，在未磨陶瓷部分的电极 2 上引出压电陶瓷变压器的输出端引线 4。

在本发明中，该压电陶瓷片以径向振动方式激励，振动模态包括低阶和高阶的振动模态。

25 在本发明中，该二片压电陶瓷片的厚度可以相等，也可以不相等。

本发明的压电陶瓷降压变压器其输出端的压电陶瓷片至少为一片压电陶瓷片，为进一步降低输出电压 V_{out} 与输入电压 V_{in} 的比例，

通常采用二片或二片以上压电陶瓷片。

在本发明中，该二片压电陶瓷片 1 可用不同的方法制成，诸如采用干压法、轧膜法、流延法制成该压电陶瓷片，各该压电陶瓷片也可具有不同的厚度。

5 在本发明中，该二片压电陶瓷片 1 间的粘结层 3 为有机材料粘结剂，还包括与该压电陶瓷片一体化烧结的银电极 2，和陶瓷素坯与银钯内电极共烧的一体化陶瓷/电极。

10 在本发明中，该二片压电陶瓷片 1 的极化方向 P 相互平行，而该压电陶瓷片 1 在长度方向上，以横向振动模式激励，在厚度方向上以纵向振动模式激励，以及在圆片或圆环上以径向振动模式激励，而其振动模态为低阶和高阶振动模式。

15 本发明提供的制备自耦式压电陶瓷降压变压器的制备方法包括：在二片压电陶瓷圆片 1 上覆盖以银电极 2 料浆；之后，将该二片压电陶瓷圆片进行高温烧结该银电极；再对带该电极的陶瓷进行极化，使其具有压电性能；在其中的一片压电陶瓷片的对称边缘处各磨去一个拱形部分，使之成椭圆形状；用环氧树脂粘结剂均匀地涂在该二圆片压电陶瓷的一个电极面上，再用模具将该二片压电陶瓷片 1 紧密地粘结在一起，该环氧树脂粘结剂便形成粘结层 3；再在该二片陶瓷片 1 的最上和最下面电极 2，以及在该二片压电陶瓷片 1 20 之间那部分未磨去陶瓷边缘上的电极上分别焊接以作为变压器的输入和输出端的电线 4。

25 本发明器件的制备方法还包括轧膜法和流延法及内电极共烧技术。在本发明的压电陶瓷降压变压器的部件结构上包括采用二层相同陶瓷厚度和不同的厚度，以及三层或三层以上陶瓷组成不同变压比的压电陶瓷变压器。在陶瓷振动模式上除径向振动模式外，还包括横向长度伸缩模式，纵向厚度模式。

实施例

以 PZT 基压电陶瓷材料作为本发明结构的基本材料制备陶瓷圆

片，被上银电极后在高温烧结该银电极、极化该陶瓷，以获得单片压电陶瓷圆片，其尺寸如下：

直径 $\phi = 22.15$ 毫米，

厚度 $t = 1.53$ 毫米，

5 面积 $A = 385.2$ 平方毫米。

对上述实施例中用以制成本发明的自耦式压电陶瓷降压变压器的单片陶瓷圆片的材料的性能进行测试，其测量结果如下：介电系数 $\epsilon^T_{33}(1\text{kHz})$ 为 1000；机电耦合系数 K_p 为 0.51

图 5 示出本发明的自耦式压电陶瓷降压变压器的压电陶瓷单片径向振动的等效电路。对如图 5 所示的单片压电陶瓷径向振动等效电路进行性能测试，其结果：测得该单片压电陶瓷径向振动的共振频率 f_r 为 102.8 kHz，而其反共振频率 f_a 为 115.9 kHz；还测得其等效负载电阻 R 为 4.95 欧姆，等效电感 L 为 4.20 号亨利，等效电容 C_a 为 567 微微法拉，等效电容 C_b 为 1880 微微法拉，机械 Q 因子 Q_m 为 554。

如图 4 所示的本发明的压电陶瓷变压器中已对称地磨去其中一片压电陶瓷的边缘后的形状。如图中所示已磨去的拱形高度为 1 毫米。用环氧树脂粘结剂粘结已磨去边缘和未磨去边缘的压电陶瓷圆片成如图 3 所示的结构。测量如图 3 所示的由二片压电陶瓷片构成压电陶瓷变压器在输出端开路情况下的径向振动的等效电路性能，测试结果如下：等效负载电阻 R 为 9.31 欧姆，等效电感 L 为 10.6 亨利，等效电容 C_a 为 231 微微法拉，等效电容 C_b 为 905 微微法拉，机械 Q 因子 Q_m 为 725。

从上述测量结果，可以看到粘结剂对压电陶瓷降压变压器的径向振动无大的影响。计算结果，输出端的负载的匹配电阻为 90 欧姆。

图 6 示出用 HP4194 阻抗分析仪测量压电陶瓷变压器在输出端上带有不同负载阻抗下的相位角关系，其中：输出端短路时， θ 接近 $+90^\circ$ ，表明电路为电感性电路；输出端为开路时， θ 接近 -90° ，表明电路为电容性电路；而接近匹配电阻时， θ 接近于零度，亦即接近

纯电阻电路。所以，当输出端连接匹配纯电阻负载时，输入端电功率将消耗在负载上。因此，当压电变压器自身机械阻抗很小时，压电陶瓷变压器有大的电功率转换效率。

图 7 示出在测量输入有效电压为 35V 时，在不同输出负载时压电陶瓷变压器的输入电流、输入电压和电流间的相位角、输出电压和电流以及电功率转换效率。图 7 显示输出电压在负载匹配时为 16.5V，约为输入电压的 1/2；相位角 θ 与用阻抗分析仪基本一致，即在输出端与负载阻抗匹配时， θ 接近于零度。在该电压下的输出功率在 0.3~0.4 之间，效率最高达 94%。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。

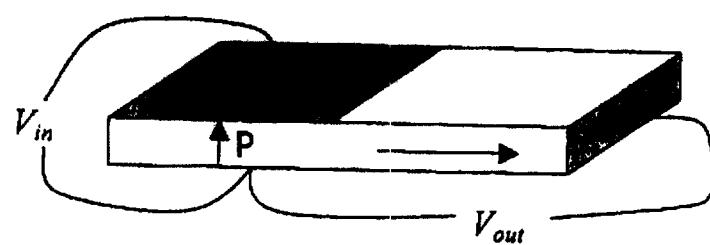


图 1

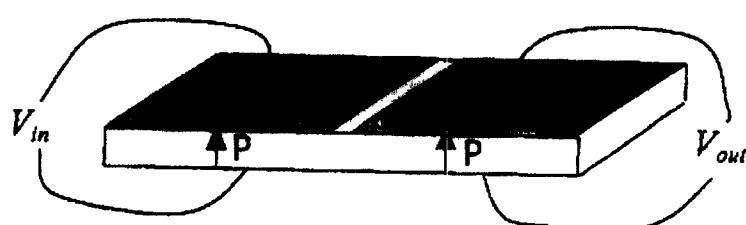


图 2a

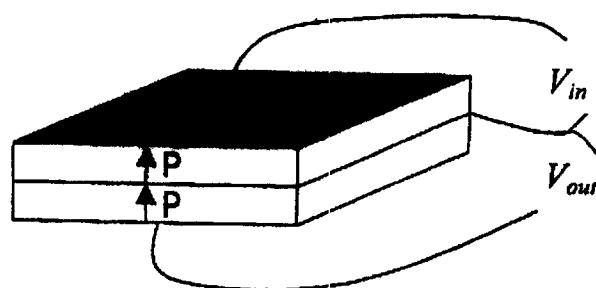


图 2b

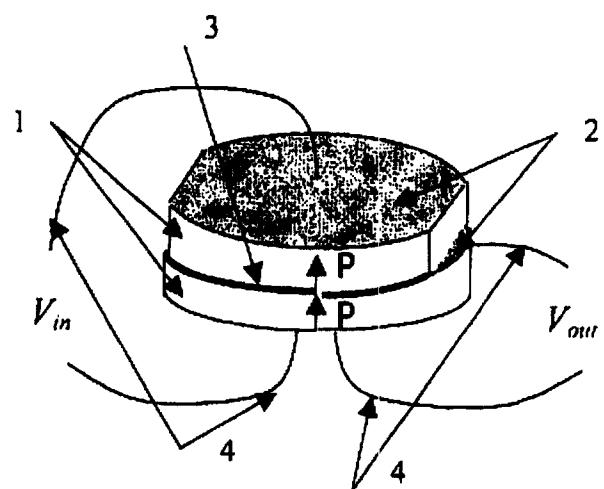


图 3

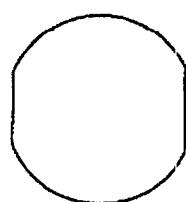


图 4

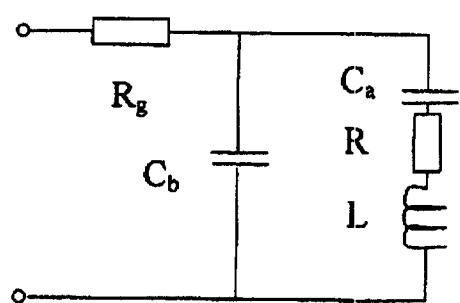


图 5

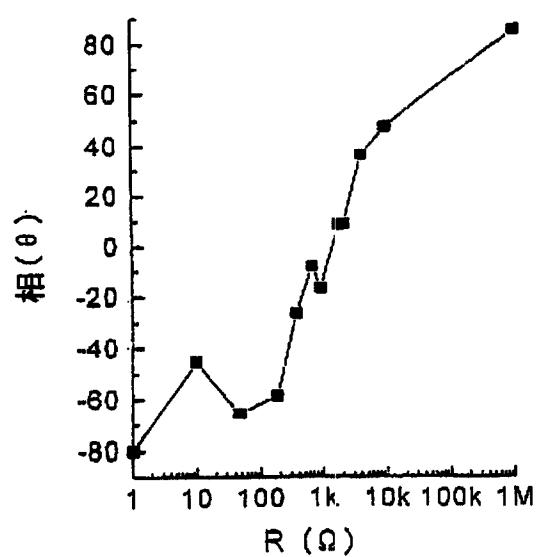


图 6

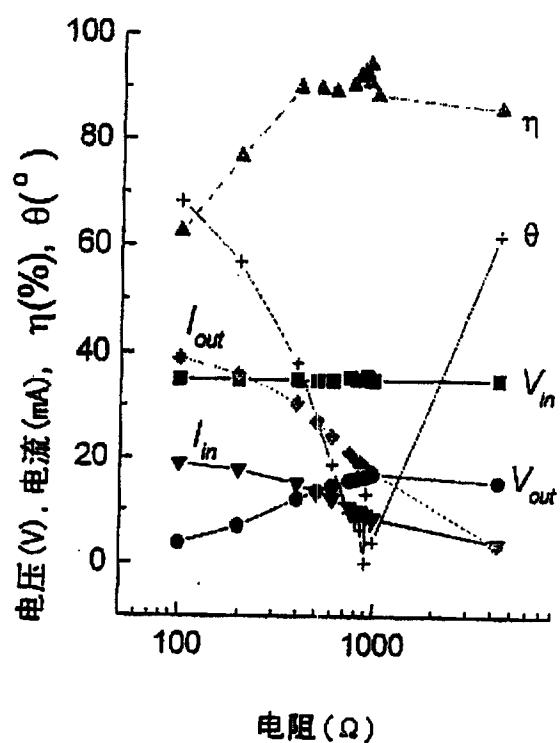


图 7