

压电双晶片的能量传输特性分析

叶会英¹, 浦昭邦²

(1. 郑州大学电子工程系, 河南 郑州 450052;

2. 哈尔滨工业大学机电学院自动化测试与控制系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 基于压电双晶片的准静态本构方程, 详细地分析了准静态情况下悬臂梁式双晶片执行器在常见的三种不同载荷(力、力矩、压力)情况下的机电转换特性, 即有效机电耦合系数、最大能量传输系统、最大输出机械能时效率。分析结果表明: 这些特性主要由压电双晶片材料的横向机电耦合系数 k_{31} 决定; 三种载荷中, 以力矩形式输出机械能时压电双晶片执行器的效率最高, 以力的形式输出时稍低, 以压力形式(如用于推动气体或液体)输出时效率最低。这些结论对于设计压电双晶片执行器的结构具有指导意义。

关键词: 压电双晶片; 执行器效率; 机电耦合系数; 微执行器

中图分类号: TH145.11 文献标识码: A

1 引言

压电双晶片是一种应用很广的压电陶瓷元件^[1-2], 自1931年由C. B. Sawyer发明以来, 已经广泛应用于声学检测、超声马达、激光束偏转器^[3]、自适应光学系统^[4]、滤波器、加速度器^[5]、光学斩波器^[6]及生物、化学传感器^[7-8]等方面, 近年来, 又用于微型机器人及微控制器中^[9]。它是开发MEMS(微电子机械系统)的关键元件^[10-12]。利用双晶片的最大优点是可以通过一个电输入信号而非机械量输入来产生所需的运动, 以实现机械隔离。这对于那些要求物体有精细运动的场合尤其有用, 如用于扫描隧道显微镜(STM)及原子力显微镜中^[13], STM中纵向传送器为一压电双晶片, 它随外加电压上下运动以保证探针与样品距离为常数。

目前, 已有许多学者对压电双晶片理论方面进行了研究。美国Boston大学的Smits教授和美国著名的科学家A. Ballato在这些方面作了很多工作。他们建立了压电双晶片的静态及动态方程^[14,15]、研究了压电双晶片的谐振反谐振特性^[16]及双晶片的静态等效电路^[17]等。Smits还研究了

不同负载下压电双晶片执行器的机电耦合大小^[18-20]。

随着微电子机械系统的发展, 越来越多地利用压电双晶片作为微执行器件, 如超声马达、用于生物学中的微型泵、精密位置控制、振动阻尼、噪声控制、扬声器等等。在设计这些执行器时, 常常需要考虑执行器的机电转换特性, 如: 机电耦合系数、生成力(或力矩)、最大能量输出、最大效率等特性。本文将详细分析悬臂梁式双晶片执行器在三种不同载荷情况下的机电传输性能。

2 理论分析

2.1 双晶片执行器自由端载荷为恒定力 F 情况

2.1.1 双晶片执行器的有效机电耦合系数

这里以长条形、串联双晶片(极化方向相反的两条, 电极从上下端引出)为例, 如图1所示。Smits^[14]给出了悬臂梁式双晶片的本构方程:

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \delta \\ v \\ Q \end{pmatrix} = \mathbf{B} \begin{pmatrix} M \\ F \\ P \\ V \end{pmatrix} \quad (1)$$

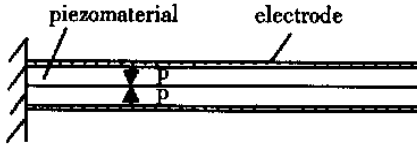


Fig. 1 Structure of the piezoelectric series connection bimorphs actuators

式中, δ, α, v 及 Q 为响应参量, 分别表示自由端的挠度、转角、体积位移及电极电荷; M, F, p, V 为激励参量, 分别表示自由端外加力矩、力、双晶片分布载荷集度及外加电压大小; 矩阵 B 表示激励与响应之间的关系矩阵, 为 -4×4 的矩阵, 具体形式可参考文献[14]。

由(1)式, 当悬臂梁式双晶片两端外加电压为 V , 自由端外加一垂直于梁的力 F 时。双晶片自由端位移 δ 及电极电荷 Q 与 F, V 的关系如下:

$$\begin{pmatrix} \delta \\ Q \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} b_{22} & b_{24} \\ b_{42} & b_{44} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} F \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{48E_1 l^3}{w t^3} & \frac{3d_{31} l^2}{2t^2} \\ \frac{3d_{31} l^2}{2t^2} & \frac{\epsilon_{33}^T w (1 - k_{31}^2/4)}{t} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F \\ V \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中: l, w, t 分别为双晶片的长度、宽度及厚度。 $s_{11}^E, \epsilon_{33}^T, d_{31}, k_{31}$ 分别为压电双晶片材料的弹性柔顺系数、电容率、压电常数及横向机电耦合系数。(2)式也可写为:

$$\begin{aligned} \delta &= b_{22}F + b_{24}V \\ Q &= b_{42}F + b_{44}V \end{aligned} \quad (3)$$

基于上述关系, 我们可导出压电双晶片执行器的机电耦合大小。

因压电双晶片用作执行器时, 多数情况机械负载是加在悬臂梁式双晶片的自由端, 所以准静态情况下, 自由端偏转量 δ_0 及推力(或驱动力, 输出力) F_{b1} 是两个比较重要的特征参数。推力 F_{b1} 定义为: 一个垂直作用于压电双晶片的自由端、与外加电场效应相反、从而使执行器自由端位置保持不变的力。它是压电双晶片由外加电场引起的弯曲或形变产生的力的最大值。自由端偏转量 δ_0 及推力 F_{b1} 的大小可由(3)式得出:

$$\delta_0 = \frac{3d_{31} l^2}{2t^2} V_0 \quad (4)$$

$$F_{b1} = -\frac{b_{24}}{b_{22}} V_0 = -\frac{3d_{31} w t}{8s_{11}^E l} V_0 \quad (5)$$

若没有外加机械负载, 当外加电压 V_0 时, 电能将输入压电双晶片而使双晶片自由弯曲至最大

值, 但此时双晶片执行器不对外做功。由于双晶片两电极间的电容性质, 将使部分输入电能以电场形式存储在压电材料中, 以维持两电极之间的电场; 另一部分则转化为机械能并存储在双晶片。输入双晶片的电能可由下式计算:

$$U_e = \frac{1}{2} QV \quad (6)$$

将(2)式代入(6)式可得:

$$U_e = \frac{1}{2} (b_{24}F + b_{44}V) V \quad (7)$$

当 $F = 0, V = V_0$ 时有:

$$U_e = \frac{1}{2} b_{44} V_0^2 = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_{33}^T l w (1 - k_{31}^2/4)}{t} V_0^2 \quad (8)$$

存储在压电双晶片中的机械能为:

$$U_m = \frac{1}{2} \delta_0 (-F_{b1}) \quad (9)$$

将(4)、(5)式代入(9)式可得:

$$U_m = \frac{1}{2} \frac{b_{24}^2}{b_{22}} V_0^2 = \frac{9}{32} \frac{d_{31}^2 l w}{s_{11}^E t} V_0^2 \quad (10)$$

压电材料的有效机电耦合系数可定义为^[21]:

$$k^2 = \frac{\text{双晶片中存储的机械能}}{\text{输入的电能}} \quad (11)$$

由(11)式的定义可得:

$$k_{b(F)}^2 = \frac{U_m}{U_e} \quad (12)$$

将(8)、(10)代入上式并利用定义: $k_{31}^2 = d_{31}^2 / \epsilon_{33}^T s_{11}^E$ 可得:

$$k_{b(F)}^2 = \frac{b_{24}^2}{b_{22} b_{44}} = \frac{9}{16} \frac{k_{31}^2}{1 - k_{31}^2/4} \quad (13)$$

由(13)式可以明显看出: 由具有高 k_{31} 值的压电材料制作的压电双晶片执行器, 其 $k_{b(F)}$ 值也较高。若 $k_{31} = 0.44$, 由(13)式可得出 $k_{b(F)} = 0.34$ 。由(13)式可知: 压电双晶片执行器的有效机电耦合系数总是低于制作其材料的机电耦合系数值, 即有: $k_{b(F)} < k_{31}$ 。

2.1.2 双晶片执行器的能量传输系数

并非所有存储在双晶片中的机械能都能用于驱动一外部负载, 双晶片自由端的振动所作功的大小与外加机械负载有关。当双晶片无机械负载或处于完全夹持状态时, 执行器输出的功为 0。能量传输系数 λ 用于评价压电器件实际作功的大小, 其定义为

$$\lambda = \frac{\text{输出机械能}}{\text{输入电能}} \quad (14)$$

考虑在双晶片自由端外加一垂直于双晶片长度方向的恒定力 F 的情况。当双晶片两端外加电压为 V 时, 输入至双晶片的电能由(7)式表示, 输出的

机械能则可由下式计算:

$$U_{out} = - F d \delta = - F \delta = - (b_{22}F + b_{24}V) F \quad (15)$$

因此有:

$$\lambda^{(F)} = \frac{U_{out}}{U_e} = - \frac{2(b_{22}F + b_{24}V)F}{(b_{24}F + b_{44}V)V} \quad (16)$$

在一适当的外力(负载)作用下,可获得一最大能量传输系数。忽略推导过程,结果为:

$$\begin{aligned} \lambda_{\max}^{(F)} &= - 2 \frac{b_{22}y_0^2 + b_{24}y_0}{b_{24}y_0 + b_{44}} \\ &= 2 \left[\frac{b_{22}b_{44}}{b_{24}^2} - \frac{b_{22}b_{44}}{b_{24}^2} - 1 \right]^2 \end{aligned} \quad (17)$$

由(13)式可得:

$$\frac{b_{22}b_{44}}{b_{24}^2} = \frac{16}{9} \frac{1 - k_{31}^2/4}{k_{31}^2} = \frac{1}{k_b^2(F)} \quad (18)$$

将(18)代入(17)可得:

$$\begin{aligned} \lambda_{\max}^{(F)} &= 2 \left[\frac{1/k_b^2(F)}{1/k_b^2(F)} - \frac{1/k_b^2(F)}{1/k_b^2(F)} - 1 \right]^2 = \\ &= \frac{32}{9k_{31}^2} \left[\frac{1 - k_{31}^2/4}{1 - k_{31}^2/4} - \frac{1 - 13k_{31}^2/16}{1 - 13k_{31}^2/16} \right]^2 \end{aligned} \quad (19)$$

若双晶片压电材料的 $k_{31} = 0.44$, 由(19)式可得 $\lambda_{\max}^{(F)} = 0.06075$; 这表明: 外加负载合适时, 最多有 6.1% 的输入电能转化为机械能输出; 若忽略机电损耗, 其余电能保留在双晶片中。能量转换最大条件为:

$$y_0 = \frac{F_0}{V_0} = - \frac{b_{44}}{b_{24}} \left[1 - \frac{b_{24}^2}{b_{22}b_{44}} \right] \quad (20)$$

将(3)、(18)式代入上式可得

$$\begin{aligned} y_0 &= \frac{F_0}{V_0} = - \frac{1}{6} \frac{wt}{l} \frac{d_{31}}{s_{11}} (4/k_{31}^2 - 1) \cdot \\ &\quad \left[1 - \frac{1 - 13k_{31}^2/16}{1 - k_{31}^2/4} \right] \end{aligned} \quad (21)$$

根据上式, 当给定顶端负载 (F_0) 及驱动电压 (V_0) 时, 我们可以设计选择合适的几何尺寸 (l, w, t) 的双晶片以使其获得最大能量传输; 或者, 对于给定尺寸的双晶片及给定电压, 规定合适的外加负载。

2.1.3 双晶片执行器的最大输出机械能

上述最大传输能量的条件与最大输出机械能的条件不重合(不一致)。假定压电效应为线性, 由(15)式可得: 当外加负载为最大生成力的一半时, 输出得机械能最大:

$$\begin{aligned} U_{m-\max}^{(F)} &= - \delta F = - \left[b_{22} \frac{F_{b1}}{2} + b_{24}V_0 \right] \cdot \\ \frac{F_{b1}}{2} &= \frac{9}{64} \frac{lw}{t} \frac{d_{31}}{s_{11}} V_0^2 \end{aligned} \quad (22)$$

这种情况下, 输入的电能为

$$\begin{aligned} U_e &= \frac{1}{2} Q V_0 = \frac{1}{2} \left[b_{24} \frac{F_{b1}}{2} + b_{44}V_0 \right] V_0 = \\ &= \frac{\epsilon_{33}^T lw}{64 t} (32 - 17k_{31}^2) V_0^2 \end{aligned} \quad (23)$$

由(25)、(26)式可计算出输出机械能最大时的能量传输系数

$$\lambda^{(F)} = \frac{U_{m-\max}^{(F)}}{U_e} = \frac{9k_{31}^2}{32 - 17k_{31}^2} \quad (24)$$

若 $k_{31} = 0.44$, $\lambda^{(F)} = 0.060692$, 该值与 $\lambda_{\max}^{(F)}$ 非常接近, 但两者在理论上是有差别的。图 2 给出了 $k_b(F)$, $\lambda_{\max}^{(F)}$, $\lambda^{(F)}$ 随 k_{31} 的变化曲线。

2.2 双晶片执行器自由端载荷为恒定力矩 M 情况

当双晶片执行器用于推动物体旋转时(如用于光束偏转系统), 双晶片对物体需施加一力矩 M , 才能使物体有一转角。由(1)式可得这种情况下双晶片自由端外加力矩 M 、外加电压 V 与自由端的偏转角 α 电极电荷 Q 之间关系为:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \alpha \\ Q \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} b_{11} & b_{14} \\ b_{41} & b_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M \\ V \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} \frac{3s_{11}^E l}{2w h^3} & \frac{3d_{31}l}{4h^2} \\ \frac{3d_{31}l}{4h^2} & \frac{\epsilon_{33}^T lw}{2h} (1 - k_{31}^2/4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M \\ V \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (25)$$

采用与外加 F 时相同的分析方法, 可得此种情况下双晶片执行器的有效机电耦合系数 $k_b(M)$:

$$\begin{aligned} k_b^2(M) &= \frac{U_m}{U_e} = \frac{\frac{1}{2} M \alpha}{\frac{1}{2} Q V} = \frac{\frac{1}{2} M b_{14}^2 V_0^2}{\frac{1}{2} b_{44} V_0^2} = \\ &= \frac{b_{14}^2}{b_{11} b_{44}} = \frac{3k_{31}^2}{4(1 - k_{31}^2/4)} \end{aligned} \quad (26)$$

最大传输系数 $\lambda_{\max}^{(M)}$ 为:

$$\begin{aligned} \lambda_{\max}^{(M)} &= 2 \left[\frac{b_{11}b_{44}}{b_{14}^2} - \frac{b_{11}b_{44}}{b_{14}^2} - 1 \right]^2 = \\ &= 2 \left[\frac{4 - k_{31}^2}{3k_{31}^2} - \frac{4 - k_{31}^2}{3k_{31}^2} - 1 \right]^2 \end{aligned} \quad (27)$$

外加 M 时双晶片执行器可输出的机械能的最大值 $U_{out-\max}^{(M)}$ 及对应效率为:

$$U_{out-\max}^{(M)} = \frac{3}{32} \frac{lw}{h} \frac{d_{31}^2 V_0^2}{s_{11}^E} \quad (28)$$

$$\lambda^{(M)} = \frac{U_{out-\max}^{(M)}}{U_e} = \frac{3k_{31}^2}{8 - 5k_{31}^2} \quad (29)$$

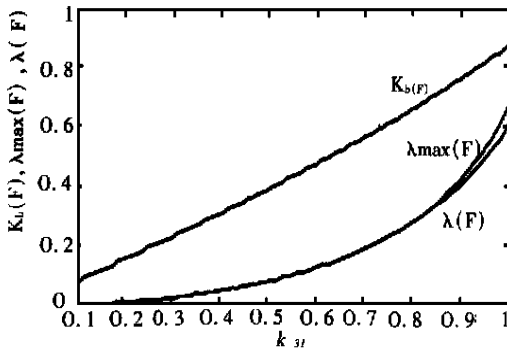


Fig. 2 The $k_b(F)$, $\lambda_{max}(F)$ and $\lambda(F)$ are plotted against k_{31}

2.3 双晶片执行器载荷为分布式载荷 p 的情况

在双晶片用于推动一分布式载荷时(设分布式载荷集度 p 为常数),此时压电双晶片的体积位移 v 、电荷 Q 与 p 、外加电压 V 之间关系为

$$\begin{bmatrix} v \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{33} & b_{34} \\ b_{43} & b_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3w s_{11}^E l^5}{40h} & \frac{d_{31} w l^3}{8h^2} \\ \frac{d_{31} w l^3}{8h^2} & \frac{\epsilon_{33}^T l w}{2h} (1 - k_{31}^2/4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ V \end{bmatrix} \quad (30)$$

用与上述类似的分析方法可以得出此种情况的有效机电耦合系数 $k_{b(p)}$ 、最大传输系数 $\lambda_{max(p)}$ 、最大输出机械能 $U_{out-max(p)}$ 及其对应效率 $\lambda(p)$ 分别如下:

$$k_{b(p)}^2 = \frac{5k_{31}^2}{12 - 3k_{31}^2} \quad (31)$$

当 $\frac{P}{V} = -\frac{b_{44}}{b_{34}} + \left(\frac{b_{44}}{b_{34}} \right)^2 - \frac{b_{44}}{b_{33}}$ 时,传输系数最大,其值为

$$\lambda_{max(p)} = 2 \left[\frac{b_{33} b_{44}}{b_{34}^2} - \frac{b_{33} b_{44}}{b_{34}^2} - 1 \right]^2 = 2 \left[\frac{12 - 3k_{31}^2}{5k_{31}^2} - \frac{12 - 3k_{31}^2}{5k_{31}^2} - 1 \right]^2 \quad (32)$$

最大输出机械能为

$$U_{out-max(p)} = \frac{b_{34}^2}{4b_{33}} V^2 = \frac{5}{96} \frac{w l}{h} \frac{d_{31}^2}{s_{11}^E} V^2 \quad (33)$$

对应的效率为

$$\lambda(p) = \frac{b_{34}^2}{2b_{33}b_{44} - b_{34}^2} = \frac{5k_{31}^2}{24 - 11k_{31}^2} \quad (34)$$

3 三种不同载荷情况的能量传输性能比较

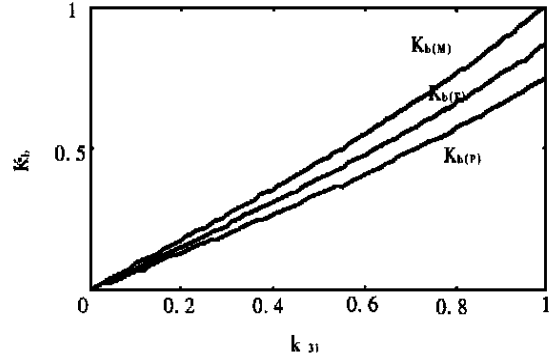


Fig. 3 (a) The electromechanical coupling coefficients are plotted against k_{31} for different loading

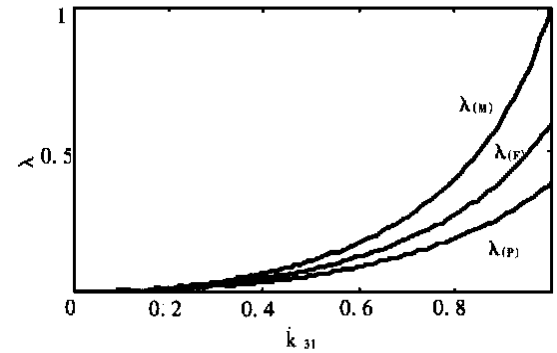


Fig. 3 (b) The effectiveness for the maximum mechanical output energy are plotted against k_{31} for different loading

由式(13)、(26)、(31)得出三种不同负载下的有效机电耦合随压电材料的横向机电耦合系数 k_{31} 的变化曲线如图 3(a) 所示,图 3(b) 所示曲线为由式(24)、(29)、(34) 得出的三种不同负载情况,双晶片执行器输出机械能最大时的效率(或能量传输系数)。由图 3 可以看出:利用双晶片执行器的力矩时,效率最高;利用推力作用时,效率低些;当利用其分布力时(即对物体施加一压力时),效率最低。即有:

$$k_{b(M)} > k_{b(F)} > k_{b(p)}, \lambda(M) > \lambda(F) > \lambda(p) \quad (35)$$

三种不同载荷下效率不同可这样解释:因当双晶片外加电压时,双晶片悬臂梁的弯曲形状为二次曲线(或圆形),而一外加力矩引起的梁的变形形状也是二次曲线形状;而外加力时梁的弯曲变形为三次曲线;外加分布式载荷时梁的变形则为四次曲线。所以悬臂梁式双晶片执行器用作推动物体转动时,由电能转换为机械能时梁的形状不变;而其他两种情况下梁的形状需要改变,能量就会漏掉一些。

这一结论对实际应用很有意义,由此我们可

以得出结论:当一压电双晶片用于马达元件时,用作“力矩式”马达是最有效的;用作“力”式马达效率次之;而用作“压力”式马达效率最低。压电泵即属第三种情况,因为如果被泵的介质与偏转的双晶片直接接触,那么泵的效率最低。我们可以根据(35)式设计其他形式的泵以提高效率。

4 结 论

本文较为详细地、定量分析了三种不同载荷情况下,悬臂梁式双晶片执行器的机电转换特性,即有效机电耦合系数、最大能量传输系数、最大输

出机械能量时的效率等。忽略双晶片粘接层的影响而将双晶片作为理想双晶片处理时,这些特性主要由制作双晶片的压电材料的横向机电耦合系数 k_{31} 决定。

三种载荷中,以力矩形式输出机械能时双晶片执行器的效率最高,以力的形式输出时稍低,以压力形式(如用于推动气体或液体)输出时效率最低,这一结论对于设计执行器的结构有指导意义。

与其他输出横式如纵向、横向或剪切模式相比,双晶片执行器的弯曲模式的机电传输效率较低。因为在由横向运动转换为弯曲运动的过程中,内部应力增强,使更多的机械能存储在执行器中。

参考文献:

- [1] Smits Jan G, Dalke Susan I, Cooney Thomas K. The constituent equations of piezoelectric bimorphs[J]. Sensors and Actuators A, 1991, 28: 41- 61.
- [2] Lee J Kelly, Marcus Michael A. The deflection-bandwidth product of poly(Vinylidene Fluoride) benders and related structures[J]. Ferroelectrics, 1981: 32: 93- 101.
- [3] Lee J Kelly. Piezoelectric bimorph optical beam scanners: analysis and construction[J]. Applied Optics, 1979, 18(4): 454- 459.
- [4] Kokorowski S A. Analysis of adaptive optical elements made from piezoelectric bimorphs[J]. J. Opt. Soc. Am., 1979, 69(1): 181- 187.
- [5] Bill B. Measuring simultaneously translational and angular acceleration with the new translation-angular-piezobeam(TAP) system[J]. Sensors and actuators, 1990, A21- A23: 282- 284.
- [6] Peter D J, Blackford L. Piezoelectric bimorph-based translation device for two-dimensional remote micro-positioning[J]. Rev. Sci. Instrum., 1989, 60(1): 138- 140.
- [7] Goli J, Smits Jan G, Ballato A. Dynamic matrix of end-loaded piezoelectric bimorphs[A]. IEEE Ultrasonics Symposium[C]. 1995. 1101- 1104.
- [8] Coughin Mark F, Stamenovic Dimitrije, Smits Jan G. Determining spring stiffness by the resonance frequency of cantilevered piezoelectric bimorphs[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 1997, 44(4): 730- 732.
- [9] Smits Jan G. Design considerations of a piezoelectric-on-silicon microrobot[J]. Sensors and Actuators A, 1992, 35: 129- 135.
- [10] Smits Jan G. Choi Wai-shing. Dynamic behavior and shifting of resonance frequencies of ZnO on Si₃N₄ bimorphs[J]. Ferroelectrics, 1993, 145: 73- 82.
- [11] Smits Jan G. Very large deflection with quadratic voltage dependence of ZnO on Si₃N₄ bimorph[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 1992, 39(2): 302- 304.
- [12] Rogacheva N N. Electromechanical analysis of a symmetric piezoelectric/elastic laminate structure: theory and experiment[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 1998, 45(2): 285- 294.
- [13] 包定华. 压电微悬臂在原子力显微镜中的应用[J]. 压电与声光, 1998, 20(4): 245- 250.
- [14] Smits Jan G, Dalke Susan I, Cooney Thomas K. The constituent equations of piezoelectric bimorphs[J]. Sensors and Actuators A, 1991, 28: 41- 61.
- [15] Smits Jan G, Ballato Arthur. Dynamic admittance matrix of piezoelectric cantilever bimorphs[J]. Journal of microelectromechanical systems, 1994, 3(3): 105- 112.
- [16] Smits Jan G, Ballato Arthur. Resonance and antiresonance of symmetric and asymmetric cantilevered piezoelectric flexors[J]. IEEE Transactions on Ultrasonic, Ferroelectrics and Frequency control, 1996, 44(2): 250- 257.

- [17] Ballato Arthur, Smits Jan G. Network representation for piezoelectric bimorphs [J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 1991, 38(6): 595– 602.
- [18] Smits Jan G, Cooney Thomas K. The effectiveness of a piezoelectric bimorph actuator to perform mechanical work under various constant loading conditions[J]. Ferroelectrics, 1991, 119: 89– 105.
- [19] Smits Jan G, Choi Wai-Shing. The effectiveness of a piezoelectric heterogeneous bimorph to perform mechanical work under various constant loading conditions[J]. Ferroelectrics, 1992, 135: 447– 459.
- [20] Smits Jan G. The effectiveness of a piezoelectric bimorph to perform mechanical work against various spring-type loads[J]. Ferroelectrics, 1991, 120: 241– 252.
- [21] Wang Qing-Ming. Electromechanical coupling and output efficiency of piezoelectric bending actuators[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency control, 1999, 46(3): 638– 646.

Analysis of the capacity of energy transmission for piezoelectric bimorph

YE Hui-ying¹, PU Zhao-bang²

(1. Dept. of Electronic Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China;

2. Dept. of Automatic Measurement and Control, School of Computer and Electric Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: The electromechanical conversion, consisted of the capacity of energy transmission, the effectiveness and the maximum mechanical output energy of piezoelectric bimorphs under three constant loading conditions (force, moment, pressure) are quantitatively analyzed based on its cantilever constitutive equations. As a result, the electromechanical conversion mostly depend on the transverse electromechanical coupling factor k_{31} , and they are largest in the case of a moment, smaller in the case of a force, and smallest in the case of a pressure. These conclusions give directions for designing the structure of piezoelectric bimorphs actuators.

Key words: piezoelectric bimorph; effectiveness of actuator; electromechanical coupling factor; microactuator

作者简介: 叶会英(1966-), 女, 河南开封市人, 讲师, 博士生。

浦昭邦(1940-), 男, 教授, 博士生导师。