

ТРЕХКООРДИНАТНЫЙ ПЬЕЗОПРИВОД ДЛЯ СКАНИРУЮЩЕЙ ТУННЕЛЬНОЙ МИКРОСКОПИИ

© 2012 г. Е.Н. ИВАШОВ, К.Д. ФЕДОТОВ

Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ

Основным элементом сканирующей туннельной микроскопии, который и обеспечивает возможность работы прибора в режимах атомных разрешений, является пьезопривод (сканер). Сканер изготавливают из поликристаллических пьезоэлектрических материалов, которые с одной стороны обеспечивают высокую жесткость конструкции, а с другой – возможность перемещения на весьма малые расстояния, вплоть до единиц пикометров. Для расширения функциональных возможностей пьезоприводов целесообразно повышать число степеней подвижности до трех и более.

Трехкоординатный пьезопривод для сканирующей туннельной микроскопии (Рис. 1 и Рис. 2) содержит набор пьезотрубок 1, 2, 3, 4, 5 с электродами 6, 7, 8, 9, 10 и параллельными торцами 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, причем пьезотрубки связаны между собой посредством соединительных элементов 19, 20, 21, 22, 23, последний из которых связан с неподвижным основанием 24, а первый с зондом 25.

Пьезосканер работает следующим образом.

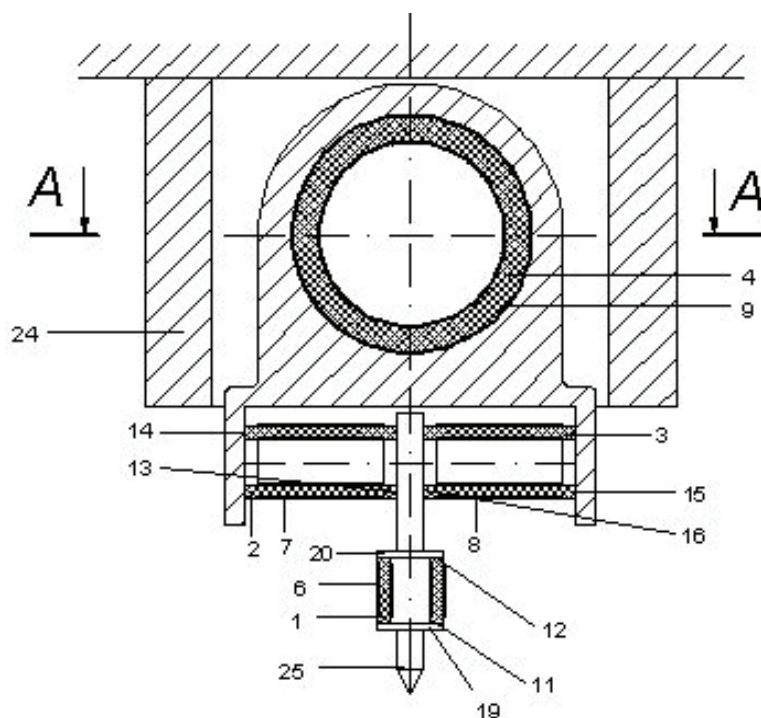


Рис. 1. Продольный разрез пьезопривода.

При подаче напряжения на электрод 6, происходит механическая деформация пьезотрубки 1, вызванная явлением обратного пьезоэффекта. При этом зонд перемещается вдоль оси Z. При подаче напряжения на электроды 7, 8, происходит механиче-

ская деформация пьезотрубок 2, 3. При этом зонд перемещается вдоль оси X. При подаче напряжения на электроды 9, 10, происходит механическая деформация пьезотрубок 4, 5. При этом зонд перемещается вдоль оси Y.

Применение предлагаемого пьезосканера позволяет обеспечить независимое перемещение зонда по трем координатным осям.

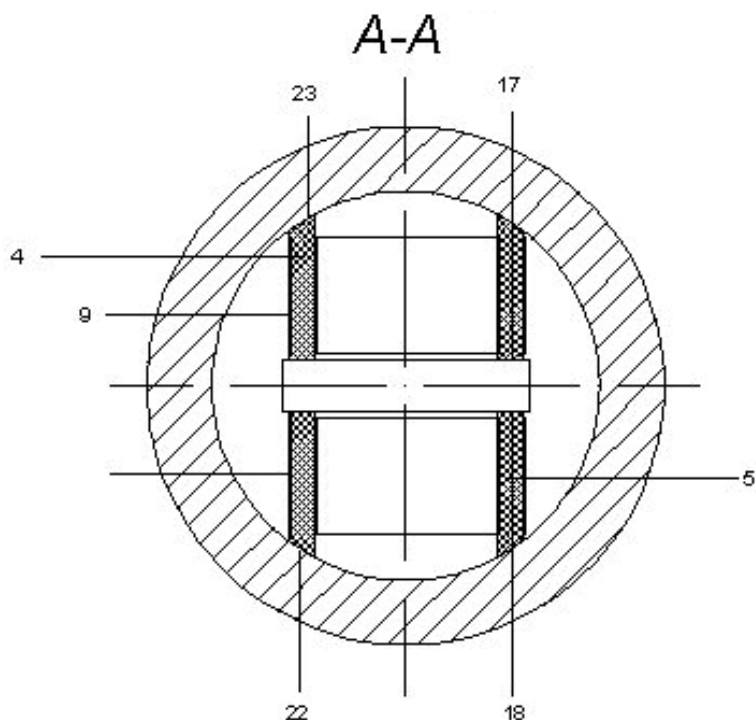


Рис. 2. Поперечный разрез пьезопривода

Таблица 1

Отечественные пьезоматериалы и их свойства

Характеристики		Сегнетомягкие материалы		Материалы средней сегнетожесткости		Высокотемпературные материалы	
Обозначение	Единица измерения	ЦТС-19	НЦТС-1	ЦТБС-8	ЦТС-43	ТНВ-1	ЦТС-26
T_k	°C	290	175	290	280	920	350
$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	-	1750	4000	1400	1400	100	1700
$\epsilon_{11}^T/\epsilon_0$	-	1450	-	-	-	-	-
$\text{tg } \delta$, не более	%	2,5	2,0	0,40	0,6	0,8	2,0
Q_m	-	80	50	1120,0	1100	-	80
v_1^E	10^3 м/с	3,0	2,87	3,2	3,2	-	2,9
σ_p	-	0,37	-	-	0,33	0,20	0,36
k_p	-	0,55	0,60	0,56	0,52	-	0,60
k_{15}	-	0,60	-	-	-	-	-
k_{33}	-	0,67	-	0,68	0,64	-	0,68
d_{31}	10^{-12} Кл/Н	-160	-260	-140	-125	-	-170
d_{33}	10^{-12} Кл/Н	350	550	315	280	7	350
d_{15}	10^{-12} Кл/Н	400	-	-	-	-	-
g_{31}	10^{-3} В*м/Н	-10,3	-7,3	-11,3	-10,1	-	-11,3
g_{33}	10^{-3} В*м/Н	22,6	-15,5	25,4	22,6	7,9	
$T_{\text{раб}}$	°C	200	100	200	200	700	250
ρ_v , (при 100°C)	$10^8, \text{ Ом*м}$	1,0	1,0	5	5	10	1

Для реализации подобного устройства в сфере вакуумных технологий необходимо использовать пьезоэлектрические материалы с T_k (температурой точки Кюри) более 250°C для работы в условиях с повышенными температурами без потери пьезоэлектрических свойств. В настоящее время как отечественные, так и зарубежные производители выпускают несколько наименований.

Для расширения функциональных возможностей, в частности, увеличения диапазона перемещений, вместо отдельных пьезоэлементов рекомендуется использовать в конструкции пьезосканера тонкопленочные многослойные актюаторы. Толщина керамического слоя порядка 20-100 мкм, толщина внутренних электродов до 3-4 мкм. Материал для электродов – сплав серебро-палладий с небольшой добавкой пьезокерамики (для повышенной адгезии металлического сплава и керамики).

Данная конструкция требует меньшее напряжение для заданного уровня деформации, чем, например, в случае пакетного актюатора. Обычно это напряжение не превышает 100 вольт.

К недостаткам многослойного актюатора можно отнести высокую собственную емкость, обусловленную соединением большого количества слоев керамики разной толщины. Этот недостаток вызывает уменьшение быстродействия пьезоэлектрических устройств. Для понижения емкости необходимо на стадии проектирования уменьшать: амплитуду сигнала управления, рабочую температуру и величину сжимающего усилия.

Для предварительного расчета пьезосканера, состоящего из N элементов (Рис. 3), действительны следующие соотношения:

$\Delta l = \frac{Fl}{ES}$, где Δl – деформация одного элемента в продольном направлении. F – сила, действующая на элемент. l – длина элемента. E – модуль Юнга для пьезокерамики. S – площадь поперечного сечения кольца.

$Q = d \cdot F$, где Q – заряд на поверхности пьезокерамики при деформации, d – пьезо-керамический модуль для случая, когда вектор напряженности электрического поля совпадает с направлением деформации ($d_{33} = d$).

В то же время пьезокерамический элемент является конденсатором, тогда силу F можно выразить через емкость C :

$\frac{CU}{d} = F$, где U – напряжение, приложенное к металлическим пластинам.

Тогда Δl можно переписать в виде:

$\Delta l = \frac{CUl}{dE\pi(R^2-r^2)}$, где R, r – внешний и внутренний радиусы пьезотрубки.

Емкость C плоского конденсатора, образованного металлическими пластинками и диэлектриком:

$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0\pi(R^2-r^2)}{l}$, где ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды, ε_0 – электрическая постоянная.

В конечном итоге удлинение одного элемента пьезосканера, м:

$$\Delta l = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 U}{dE}, \text{ и } N \text{ элементов: } \Delta l = \frac{N\varepsilon\varepsilon_0 U}{dE}.$$

Коэффициент упругости элементов пьезосканера $K_{упр}$, Н/м

$$K_{упр} = \frac{E\pi(R^2 - r^2)}{Nl}$$

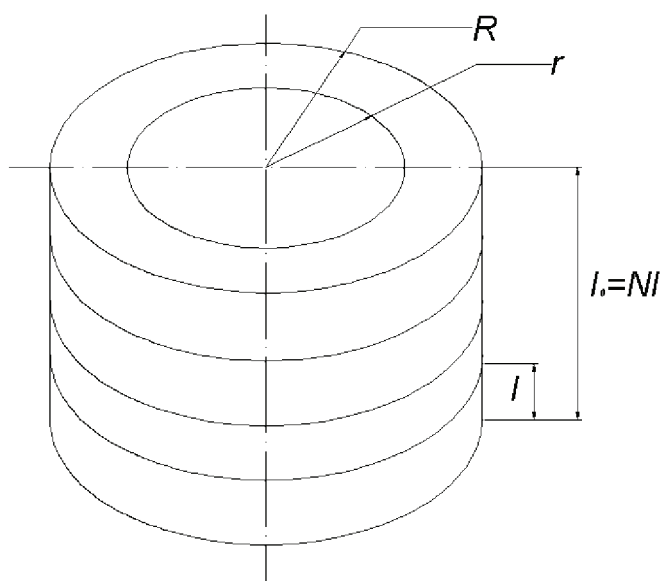


Рис. 3. Конструкция элемента пьезопривода.

В нанотехнологии перемещение и позиционирование связано с малыми размерами. В современном технологическом и аналитическом оборудовании используются различные типы устройств прецизионных перемещений, в частности, устройств на пьезопреобразователях, пьезосканеры, отличительной особенностью которых является их безынерционность. Принцип их действия основан на преобразовании электрической энергии в механическую.

Широкое применение пьезосканеров сдерживается сложностью их проектирования и отсутствием способов оценки конструкций на отдельных стадиях проектирования.

Предложенное техническое решение пьезосканера для электронного машино- и приборостроения удовлетворяет требованиям, предъявляемым к прецизионным устройствам перемещений и соответствует критериям патентоспособной новизны, изобретательского уровня и промышленной применимости.

Инновационные разработки пьезосканеров могут быть применены для решения современных проблем машино- и приборостроения, повышения точности, надежности и быстродействия новых устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационные технологии в проектировании объектов электронного машиностроения: Монография. В 5-ти кн. Кн. 4. В.А. Васин, Е.Н. Ивашов, А.Ю. Павлов, С.В. Степанчиков. Информационная технология в проектировании сканеров зондовых микроскопов. – М.: Издательство НИИ ПМТ, 2011. – 253 с.
2. Агейкин Д.И., Костина Е.Н., Кузнецова Н.Н. Датчики контроля и регулирования. Справочные материалы. – М.: Машиностроения, 1965. – 928 с.
3. Бобцов А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В. исполнительные устройства и системы для микроперемещений. – СПб ГУ ИТМО, 2011. – 131 с.