

Д. т. н. В. М. ШАРАПОВ, д. т. н. А. Н. ГУРЖИЙ,  
С. А. ФИЛИМОНОВ

Украина, Черкасский государственный технологический университет  
E-mail: v\_sharapov@rambler.ru

Дата поступления в редакцию  
19.02—02.07 2007 г.

Оппонент к. т. н. М. В. ЯДРОВА  
(ОНПУ, г. Одесса)

## ТРЕХКООРДИНАТНЫЙ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИЙ СКАНЕР НА БИМОРФНЫХ ПЬЕЗОЭЛЕМЕНТАХ ДЛЯ ЗОНДОВОГО НАНОМИКРОСКОПА

*Предложена и исследована конструкция пьезокерамического сканера для наномикроскопов на основе биморфных пьезоэлементов. Построена и исследована модель сканера при помощи программы MicroCap 7.0.*

Сканирующий зондовый микроскоп предназначен для измерения с высоким разрешением и анализа микро- и субмикрорельефа поверхностей, объектов микро- и нанометрового размерного диапазона. Области его применения — физика твердого тела, тонкопленочные технологии, нанотехнологии, микро- и нанотрибология, микроэлектроника, оптика, испытательные системы прецизионной механики, магнитной записи, вакуумной техники и др. [1, 2].

Принцип работы сканирующего зондового микроскопа удобно рассмотреть на примере атомно-силового микроскопа, в котором используется силовое взаимодействие атомов между зондом и исследуемым образцом. Для регистрации силового взаимодействия используются специальные зондовые датчики, представляющие собой упругую консоль с острым зондом на конце. Радиус кривизны зонда составляет величину порядка десятков нанометров. Сила, действующая на зонд со стороны поверхности, приводит к изгибу консоли. Регистрируя величину изгиба, можно контролировать силу взаимодействия зонда с поверхностью [1, 2].

Конструкция атомно-силового микроскопа (рис. 1) содержит зонд, кантилевер (консоль), пьезокерамический сканер для перемещения зонда или образца, систему отслеживания отклонения зонда, электрон-

ную цепь обратной связи и компьютер для управления процессом сканирования, получения и обработки изображений.

Атомно-силовой микроскоп представляет собой электромеханическую систему с отрицательной обратной связью. Система обратной связи поддерживает постоянное расстояние между зондом и исследуемым образцом. Контроль расстояния между зондом и поверхностью осуществляется посредством перемещения вдоль оси  $Z$  пьезокерамического сканера, на котором расположен образец. То есть сканер здесь является одним из основных элементов, который существенно влияет на качество получаемого изображения.

Широкое распространение получили сканеры на основе биморфных пьезоэлементов (БПЭ), состоящих из пары пьезоэлементов или из пьезоэлемента и металлической пластины, соединенных между собой с помощью эпоксидного клея или легкоплавкого припоя. Биморфные пьезоэлементы, состоящие из двух пьезоэлементов, были названы симметричными. (Здесь речь идет о симметрии материала биморфного элемента относительно нейтральной плоскости при его изгибе.) Биморфные пьезоэлементы, состоящие из пьезоэлемента и металлической пластины, по этим же соображениям были названы асимметричными. Асимметричные биморфные преобразователи отличаются более простой технологией изготовления и большей механической прочностью [3].

Цель настоящей работы — построение и исследование трехкоординатного пьезокерамического сканера на основе биморфных пьезоэлементов. Предложенная авторами конструкция такого сканера изображена на рис. 2 [4, 5].

Четыре биморфных пьезоэлемента 1, 4, 7, 12, состоящие из металлических пластин 11 и пьезоэлементов 13, соединены между собой на основании 14. Парно эти биморфные пьезоэлементы 12, 4 и 1, 7 обеспечивают перемещение биморфного пьезоэлемента 6 по координатам  $X$  и  $Y$ . БПЭ 6 предназначен для перемещения исследуемого образца или зонда (на рис. 2 не показан) по координате  $Z$ . Биморфный пьезоэлемент 6, состоящий из металлической пластины 2 и пьезоэлемента 9, закреплен на биморфных пьезоэлементах 1, 4, 7, 12 с помощью упругих пластин 3, 5, 8, 10, имеющих различную жесткость по координатам  $X, Y, Z$  [4, 5].

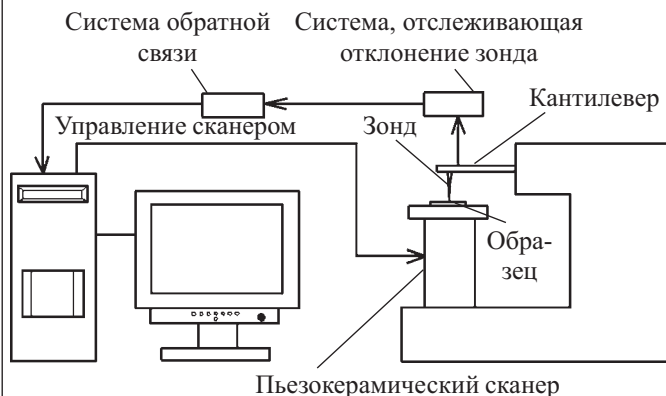


Рис. 1. Схема сканирующего атомно-силового микроскопа

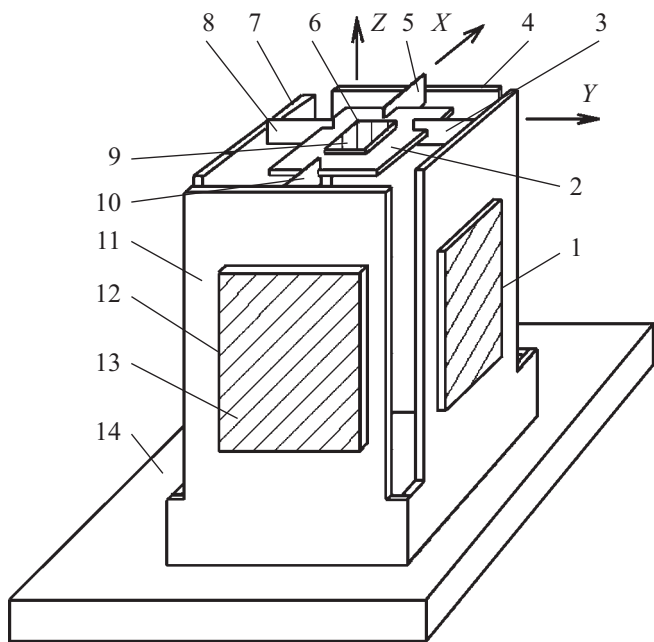


Рис. 2. Трехкоординатный пьезокерамический сканер: 1, 4, 7, 12 — БПЭ для перемещения по координатам X и Y; 2, 11 — металлические пластины; 3, 5, 8, 10 — упругие элементы; 6 — БПЭ для перемещения по оси Z; 9, 13 — пьезоэлементы; 14 — основание

Сканер работает следующим образом. При подаче пилообразного напряжения на два противоположных биморфных пьезоэлемента происходит синфазное перемещение этих элементов, которые используются для сканирования по осям X и Y. При подаче пилообразного напряжения на биморфный пьезоэлемент 6, на котором закреплен объект или зонд, осуществляются перемещения по оси Z, т. е. конструкция позволяет выполнять перемещения по всем трем координатам.

Соединение биморфных элементов через упругие элементы 3, 5, 8, 10, жесткость которых существенно отличается в зависимости от того, по какой координате происходит движение, позволило уменьшить влияние колебаний по одной из координат на перемещение по другим координатам. Следовательно

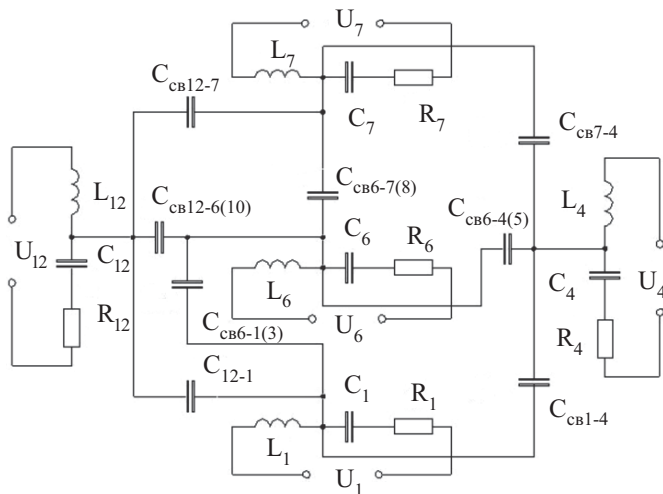


Рис. 3. Уточненная модель трехкоординатного пьезокерамического сканера на основе биморфных пьезоэлементов

но, получаемое с помощью сканера изображение является более адекватным реальному.

Для построения модели используется метод электромеханических аналогий [6]. Эквивалентная электрическая схема пьезокерамического сканера на основе биморфных пьезоэлементов приведена на рис. 3. Числовые индексы на этой схеме соответствуют позициям на рис. 2. Например,  $C_{св\ 12-6(10)}$  характеризует связь БПЭ 12 с БПЭ 6 через упругий элемент 10.

Для расчетов модели использовалась программа MicroCap 7.0.

Определялось влияние колебаний БПЭ 12 на БПЭ 1, 4, 6, т. к. эти связи вызывают нежелательные перемещения зонда (объекта) по другим координатам. При этом на БПЭ 12 подавалось напряжение  $U_1$  в диапазоне 2—3,5 кГц (область резонанса БПЭ 12), а с БПЭ 1, 4, 6 снималось напряжение в этом же диапазоне.

На рис. 4, а показаны расчетные амплитудно-частотные характеристики биморфных пьезоэлементов сканера, а на рис. 4, б — результаты физических экспериментов. Результаты моделирования показыва-

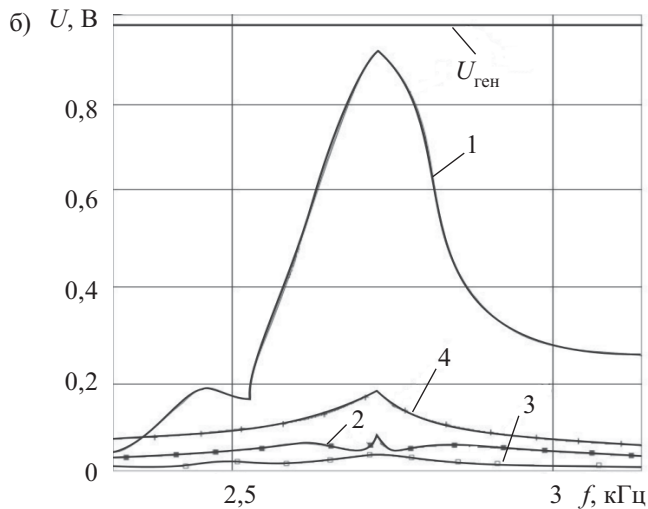
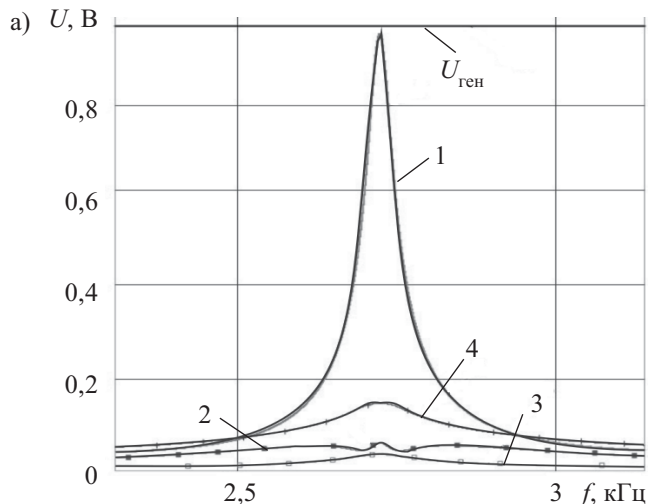


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики биморфных пьезоэлементов сканера: а — результаты компьютерного моделирования; б — экспериментальные результаты:

1 — БПЭ 12; 2 — БПЭ 1; 3 — БПЭ 4; 4 — БПЭ 6

ют хорошее совпадение с экспериментальными результатами.

Из рисунка видно, что на резонансной частоте 2,7 кГц уровень связи между биморфными пьезоэлементами не превышает -20 дБ. В дорезонансной и послерезонансной областях этот уровень составляет около 25 дБ.

#### Выводы

Как показали исследования пьезокерамического сканера для сканирующих зондовых микроскопов на основе биморфных пьезоэлементов, уровень связи между биморфными пьезоэлементами, которые создают колебания по координатам X, Y, Z, не превышает -20 дБ.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии.— М.: Техносфера, 2004.
2. Нанотехнологии в электронике / Под ред. Ю. А. Чаплыгина.— М.: Техносфера, 2005.
3. Шарапов В. М., Мусиенко М. П., Шарапова Е. В. Пьезоэлектрические датчики.— М.: Техносфера, 2006.
4. Пат. 22600U України. П'езосканер / В. М. Шарапов, А. М. Гуржій, С. О. Філімонов.— 2007.— Бюл. № 5.
5. Шарапов В. М., Гуржій А. Н., Філімонов С. А. Трехкоординатные пьезокерамические сканеры для зондовых наномикроскопов на основе компланарных биморфных пьезоэлементов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.— 2006.— № 4.— С. 80—83.
6. Островский Л. А. Основы общей теории электроизмерительных устройств.— Л.: Энергия, 1971.

#### ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ



# AISS-AUTOMATICА-2007

## АВТОМАТИЗАЦИЯ: ПРИМЕНЕНИЕ, ИННОВАЦИИ, РЕШЕНИЯ, СИСТЕМЫ



### 28-30 ноября КИЕВ

[www.aisss-automatica.com.ua](http://www.aisss-automatica.com.ua)



МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:  
**КИЕВЭКСПОПЛАЗА**  
ул. Салютная 2-Б.г. Киев, Украина



