

С. А. Филимонов, к.т.н.

Черкасский государственный технологический университет
б-р Шевченко, 460, г. Черкассы, 18006, Украина
sa.filimonov@mail.ru

УНИВЕРСАЛЬНОЕ ТОЧНОЕ ПОЗИЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ СКАНЕРОВ ДЛЯ СКАНИРУЮЩИХ ЗОНДОВЫХ МИКРОСКОПОВ

Работа посвящена актуальным проблемам создания моделей пьезосканеров. Проведен системный анализ существующих пьезосканеров. Определены основные преимущества и недостатки современных моделей пьезокерамических сканеров. Для устранения недостатков разработана модель универсального точного позиционирующего устройства пьезокерамических сканеров для сканирующих зондовых микроскопов на основе биморфных пьезоэлементов.

В качестве физических моделей пьезокерамических сканеров используются разработанные образцы: биморфный трубчатый пьезокерамический сканер, пьезокерамический сканер на основе планарных биморфных пьезоэлементов, крестообразный пьезокерамический сканер на основе биморфного планарного камертона. Эти модели имеют разные технические характеристики.

Основной отличительной особенностью разработанных физических моделей пьезокерамических сканеров является повышенная точность позиционирования по сравнению с известными конструкциями. Это стало возможным за счет уменьшения влияния взаимной связи колебаний при сканировании по координатам X и Y , а также уменьшения влияния жесткой связи между держателем объекта и участком сканера, который отвечает за перемещение по XU координатам.

Ключевые слова: нанотехнологии, сканирующий зондовый микроскоп, пьезосканер.

Нанотехнологии – это принципиально новые технологии, способные решать проблемы в таких разных областях, как связь, биотехнология, микроэлектроника и энергетика [1].

Прогресс в нанотехнологиях стимулируется развитием экспериментальных методов исследований, наиболее информативными из которых являются методы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ).

Основным элементом сканирующей зондовой микроскопии, который, соответственно, и обеспечивает возможность работы прибора в режимах атомных разрешений и который существенно влияет на качество получаемого изображения, является пьезокерамический сканер [2–4].

Практически во всех сканирующих зондовых микроскопах используются пьезоэлектрические сканеры, как очень тонкое позиционирующее устройство, перемещающее зонд относительно образца или образец относительно зонда. Сканер обеспечивает два независимых движения зонда – сканирование

вдоль поверхности образца (в плоскости XU) и перемещение в направлении, перпендикулярном к поверхности (по оси Z).

В большинстве случаев в наномикроскопах в качестве точного позиционного устройства используется трубчатый пьезокерамический сканер [2].

Одним из основных недостатков трубчатого пьезокерамического сканера при перемещении в плоскости XU является его угол поворота относительно измеряемой поверхности (рис. 1).

А его недостатком при перемещении в плоскости Z является неортогональность, то есть непараллельное перемещение относительно оси Z , она связана с неравномерной толщиной стенок и неравномерным нанесением электродов на поверхность пьезоэлемента (рис. 2).

Существующие сканеры на основе биморфных пьезоэлементов имеют громоздкое основание, которое крепится на биморфных пьезоэлементах, вследствие чего происходит нарушение асимметрии конструкции (рис. 3)

[3]. Существуют также сканеры на основе одного биморфного пьезоэлемента [2]. Однако эти сканеры имеют ограниченные функциональные возможности.

К недостаткам известных пьезокерамических сканеров относятся также гистерезис, крипт, нелинейность, взаимное влияние секторов, отвечающих за перемещение по X и Y координатам.

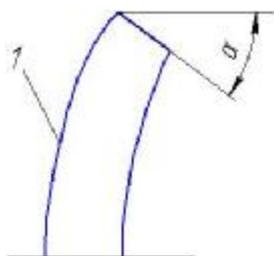


Рис. 1. Перемещение сканера по координатам X, Y вдоль исследуемой поверхности:

1 – трубчатый пьезокерамический сканер [4–6]

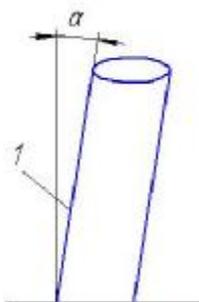


Рис. 2. Перемещение сканера по координате Z перпендикулярно исследуемой поверхности:

1 – трубчатый пьезокерамический сканер [6–8]

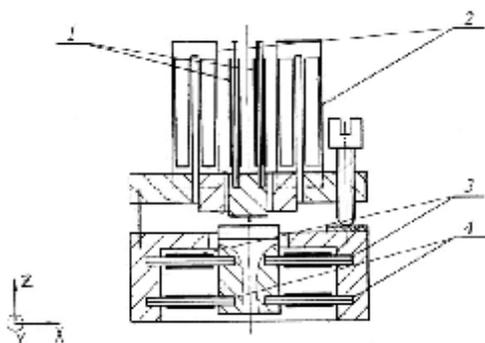


Рис. 3. Сканер на основе биморфных пьезоэлементов компании ЗАО «НТ-МДТ»:

1, 2, 3, 4 – биморфные пьезоэлементы

Кроме вышеописанных проблем, с развитием области нанотехнологии острым становится вопрос разработки универсального пьезокерамического сканера.

Это связано с тем, что большинство сканирующих зондовых микроскопов поддерживают все методики сканирования, которые тесно связаны с характеристиками пьезокерамических сканеров. При этом ведущие производители современных наномикроскопов разрабатывают разнообразные, доустанавливающиеся в наномикроскоп, устройства. Эти устройства очень разнообразны, для примера, охлаждающие, нагревающие, химические, водяные и др. При этом использующийся в сканирующем зондовом микроскопе пьезокерамический сканер может не справляться и, в конце концов, из-за разного рода воздействия на него внешних факторов выходить из строя.

Компанией ЗАО «НТ-МДТ» разработан наномикроскоп, в котором имеется сменный пьезокерамический сканер [6]. Однако его недостатками являются ограниченная функциональность и сложность установки сканера. Имеется в виду следующее: чтобы заменить пьезокерамический сканер на другой, его нужно извлечь из микроскопа, а новый поместить на место прежнего сканера, что затем требует его перекалибровки.

Целью работы является создание универсального устройства точного позиционирования для сканирующих зондовых микроскопов.

Для решения задачи предложено автоматизированное точное позиционное устройство пьезокерамических сканеров. Это устройство содержит набор пьезокерамических сканеров с разными техническими характеристиками, позволяющее выполнять практически любые исследования на наноуровне. Использование сканеров с одинаковыми техническими характеристиками является нерациональным.

Разработанное устройство представляет собой дисковую платформу, на которой расположены пьезокерамические сканеры.

Для смены сканера одного на другой нужно повернуть основание на определенный угол, так, чтобы другой сканер занял место предыдущего. Возможен вариант, что основание стоит неподвижно, а верхняя часть микроскопа вращается. В качестве поворотного двигателя необходимо использовать пьезодвигатель, так как он обладает высокой разрешающей способностью, к примеру, фирмы ООО «Лилея» («Пьезомотор»).

Внешний вид разработанного устройства представлен на рис. 4.

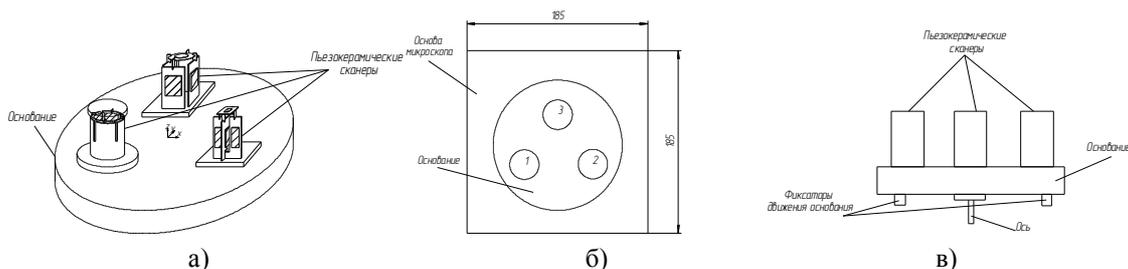


Рис. 4. Универсальное точное позиционное устройство пьезокерамических сканеров для сканирующих зондовых микроскопов:

а) общий вид; б) вид сверху (1, 2, 3 – пьезокерамические сканеры); в) вид сбоку

В качестве сканеров используются разработанные пьезокерамические сканеры: биморфный трубчатый пьезокерамический сканер, пьезокерамический сканер на основе планарных биморфных пьезоэлементов, крестообразный пьезокерамический сканер на основе биморфного планарного камертона, которые имеют разные технические характеристики [7, 9, 10].

Основной отличительной особенностью разработанных пьезокерамических сканеров является увеличенная точность позиционирования по сравнению с известными конструкциями за счет уменьшения влияния взаимной связи колебаний при сканировании между колебаниями по X и Y координатам, а также уменьшенное влияние жесткой связи между держателем объекта и участком сканера, отвечающим за перемещение по XY координатам.

Биморфный трубчатый пьезокерамический сканер состоит из трубчатого монолитного пьезоэлемента, на наружной поверхности которого закрепляется металлический цилиндр (рис. 4). В этой конструкции прорезают четыре сквозных паза, которые образуют четыре биморфных пьезоэлемента (БПЭ 1–4) – актуатора. Держатель зонда (или объекта) 5 закрепляют на биморфных элементах с помощью упругих пластин 6–9.

На рис. 5 представлены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) актуаторов при возбуждении одного из них для определения взаимной связи между актуаторами по координатам X, Y, Z.

Из рис. 5 видно, что влияние колебаний на актуаторы 2, 3, 5 при возбуждении актуатора 1 не превышает -18,3 дБ, что приблизительно в восемь раз меньше чем у неразделенного трубчатого сканера. Аналогичные характеристики были сняты и для других сканеров.

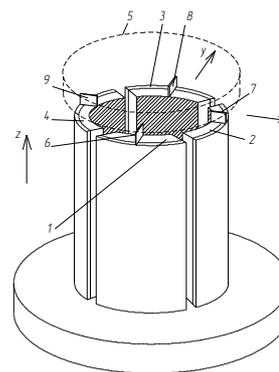


Рис. 4. Биморфный трубчатый пьезокерамический сканер

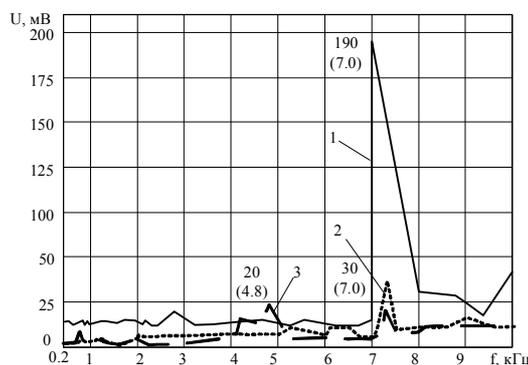


Рис. 5. АЧХ актуаторов сканера при возбуждении актуатора 1: АЧХ актуатора 5 – кривая 2; АЧХ актуатора 2 – кривая 3; кривая 1 соответствует АЧХ актуатора 1

Биморфный трубчатый пьезокерамический сканер [7] отличается высокими резонансными частотами (7 кГц по XY координатам и 8,2 кГц по Z координате, вследствие чего возможно применение его для исследования крупноразмерных и массивных объектов, так как изменение резонансной частоты незначительно. Диапазон сканирования составляет 130 мкм.

Пьезокерамический сканер на основе планарных биморфных пьезоэлементов представлен на рис. 6. Этот сканер состоит из четырех биморфных пьезоэлементов, одним кон-

цом закрепленных на основании, что приводит к образованию четырех биморфных консолей 1–4 (актуаторов), которые попарно обеспечивают перемещение по координатам X и Y. Держатель зонда 5 закрепляют на биморфных элементах с помощью упругих пластин 6–9.

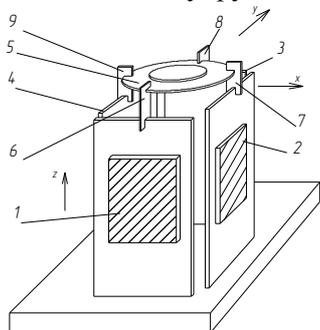


Рис. 6. Пьезокерамический сканер на основе планарных биморфных пьезоэлементов

Пьезокерамический сканер на основе планарных биморфных пьезоэлементов обладает широким диапазоном сканирования 350 мкм, что позволяет использовать его также и при низких температурах 4,2 К [8]. Недостатком данного сканера является низкая резонансная частота 886 Гц по XY координатам и 1,340 кГц по Z координате. Однако, по сравнению с известными биморфными пьезокерамическими сканерами его резонансная частота выше в четыре раза [9].

Конструкция пьезокерамического сканера на основе биморфного планарного камертона представлена на рис. 7. Этот сканер состоит из биморфного пьезоэлемента 2 и биморфного планарного камертона 1 (актуаторы). Биморфный пьезоэлемент и биморфный планарный камертон одной стороной закреплены на основании таким образом, что поперечное сечение образовавшейся при этом фигуры имеет крестообразную форму. Держатель зонда 3 также выполнен в виде биморфного пьезоэлемента, который закреплен на биморфном пьезоэлементе и биморфном планарном камертоне с помощью плоских упругих пластин 4–7.

Крестообразный пьезокерамический сканер на основе биморфного планарного камертона [10], кроме достаточно широкого диапазона сканирования 300 мкм, имеет возможность поворота вокруг своей оси, что позволяет использовать его в случае использования массива зондов в виде линейки или матрицы и, соответственно, массива нанозадающих элементов, например, в запоминающих устройствах.

Разработанное универсальное точное позиционное устройство пьезокерамических

сканеров позволяет использовать, кроме разработанных сканеров, пьезокерамические сканеры других фирм, что делает его более универсальным.

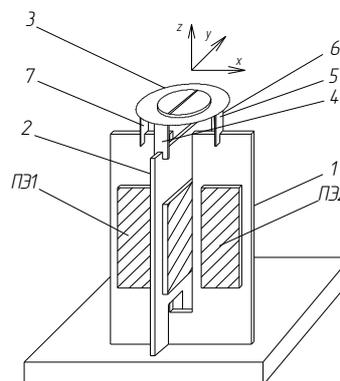


Рис. 7. Пьезокерамический сканер на основе биморфного планарного камертона

Выводы:

1. Предложена модель универсального точного позиционирующего устройства пьезокерамических сканеров.

2. Разработаны и исследованы физические модели пьезоэлектрических сканеров на основе биморфных пьезоэлементов для универсального точного позиционного устройства пьезокерамических сканеров. Особенностью разработанных физических моделей пьезокерамических сканеров является расширение функциональных возможностей сканирующих зондовых микроскопов в три раза.

3. Оригинальность предложенной модели подтверждена патентом Украины.

Список литературы

1. Нанотехнологии в электронике / [под ред. Ю. А. Чаплыгина]. – М.: Техносфера, 2005. – 448 с.
2. Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / В. Л. Миронов. – М.: Техносфера, 2004. – 144 с.
3. Domarkas V. Piezoelectric transducers for measuring devices / V. Domarkas, R. Kazys. – Vilnius: Mintis, 1975. – 258 p.
4. Sharapov V. Piezoceramic sensors / V. Sharapov. – Springer Verlag, 2011. – 498 p.
5. Патент РФ 2210730 C2, G 01 B 5/28, 2003.
6. Патент РФ 2244332 C2, G 01 B 21/00, 2005.
7. Цилиндрические пьезокерамические сканеры для наномикроскопов / В. М. Шарапов, А. Н. Гуржий, А. П. Алпатов, С. А. Филимонов // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2006. – № 4. – С. 106–109.

8. Шарапов В. М. Трехкоординатный пьезо-керамический сканер для зондовых наномикроскопов на основе компланарных биморфных пьезоэлементов / В. М. Шарапов, А. Н. Гуржий, С. А. Филимонов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2006. – № 1. – С. 80–83.
9. Сайт компании nPoint, Inc. – Режим доступа : <http://www.npoint.com>
10. Шарапов В. М. Сканер для зондовых наномикроскопов на основе биморфных пьезоэлементов / В. М. Шарапов, С. А. Филимонов // Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии : VII Междунар. семинар. – Минск, 2008. – С. 204–209.
4. Sharapov, V. (2011) Piezoceramic sensors. Springer Verlag, 498 p.
5. Patent Russian Federation 2210730 C2, G 01 B 5/28 (2003) [in Russian].
6. Patent Russian Federation 2244332 C2, G 01 B 21/00 (2005) [in Russian].
7. Sharapov, V. M., Gurzhy, A. N., Alpatov, A. P. and Filimonov, S. A. (2006) Cylindrical piezoceramic scanners for nanomicroscopes. *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: tehnichni nauky*, (4), pp. 106–109 [in Russian].
8. Sharapov, V. M., Gurzhy, A. N. and Filimonov, S. A. (2006) Three-coordinate piezoceramic scanner for probe nanomicroscopes on the basis of coplanar bimorph piezoelements. *Vymiryuvalna ta obchyslyvalna tehnika v tehnologichnyh protsesah*, (1), pp. 80–83 [in Russian].

References

1. Nanotechnologies in electronics (2005). In: Yu. A. Chaplygin. Moscow: Tehnosfera, 448 p. [in Russian].
2. Mironov, V. L. (2004) Fundamentals of scanning probe microscopy. Moscow: Tehnosfera, 144 p. [in Russian].
3. Domarkas, V. and Kazys, R. (1975) Piezoelectric transducers for measuring devices. Vilnius: Mintis, 258 p. [in Russian].
9. Site of the company nPoint, Inc. Available from: <http://www.npoint.com>
10. Sharapov, V. M. and Filimonov, S. A. (2008) Scanner for probe nanomicroscopes on the basis of bimorph piezoelements. *Methodological aspects of scanning probe microscopy: the VII International seminar*. Minsk, pp. 204–209 [in Russian].

S. A. Filimonov, PhD

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine
sa.filimonov@mail.ru

UNIVERSAL PRECISE POSITIONING DEVICE OF PIEZOCERAMIC SCANNERS FOR SCANNING PROBE MICROSCOPES

The work is devoted to actual problems of creating of piezoscanners models. System analysis of existing piezoscanners is made. The main advantages and disadvantages of current models of piezoceramic scanners are determined. Some of them are the following: during the movement in XY plane rotation angle appears with respect to the surface that is measured, and when moved in Z plane orthogonality principle varies. In addition, with the development of nanotechnology, the problem of the development of universal piezoceramic scanner becomes actual.

To remedy these deficiencies, the model of universal precise positioning device of piezoceramic scanners for scanning of probe microscopes based on bimorph piezoelements is developed.

As physical models of piezoceramic scanners designed patterns, such as: tubular piezoceramic bimorph scanner, piezoceramic scanner on the basis of planar bimorph piezoelements, cross piezoceramic scanner on the basis of bimorph planar fork are used. These models have different specifications.

Increased positioning accuracy as compared to known designs is the main feature of the developed physical models of piezoceramic scanners. This has become possible due to reducing of the impact of vibrations interconnection when scanning along X and Y coordinates, and also reducing of the impact of a hard link between the holder of the object and a part of the scanner, which is responsible for the movement along XY coordinates.

Keywords: nanotechnology, scanning probe microscope, piezoscanner.

Рецензенты: В. А. Ващенко, д.т.н., профессор,
М. П. Мусиенко, д.т.н., профессор.