

УДК 681.586

С.О. ФІЛІМОНОВ

## ПОБУДОВА МОДЕЛІ П'ЄЗОКЕРАМІЧНОГО СКАНЕРА ДЛЯ ЗОНДОВИХ НАНОМІКРОСКОПІВ НА ОСНОВІ БІМОРФНИХ П'ЄЗОЕЛЕМЕНТІВ

*Черкаський державний технологічний університет,  
м. Черкаси, Україна, тел. 80472-730260,  
E-mail: sa.filimonov@mail.ru*

**Анотація:** Стаття присвячена проблемам створення п'єзосканерів. Запропонована і досліджена конструкція п'єзокерамічного сканера для наномікроскопів на основі біморфних п'єзоелементів. Побудована і досліджена модель цього сканера за допомогою пакету програми FemLab 3.2.

**Аннотация:** Статья посвящена проблемам создания пьезосканеров. Предложена и исследована конструкция пьезокерамического сканера для наномикроскопов на основе биморфных пьезоэлементов. Построена и исследована модель этого сканера при помощи пакета программы FemLab 3.2.

**Annotation:** The article is devoted to the problems of creation of piezoscanners. Offered and probed construction of piezoceramic scanner for nanomicroscopes based on bimorph piezoelements. Built and probed model of this scanner with a help the package of the program FemLab 3.2.

**Ключові слова:** нанотехнологія, зондовий наномікроскоп, п'єзокерамічний сканер, FemLab.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Скануюча зондова мікроскопія дозволяє аналізувати на атомному рівні структуру самих різних твердих матеріалів – скла, кераміки, пластиків, металів, напівпровідників. Вимірювання можна проводити не тільки у вакуумі, але і на повітрі, в середовищі будь-якого газу і навіть в краплі рідини. Цей метод незамінний і для дослідження біологічних об'єктів. Окрім дослідницьких функцій, скануюча зондова мікроскопія може виконувати ще і активні - забезпечувати захоплення окремих атомів, перенесення їх в нову позицію, атомарну збірку провідників шириною в один атом, локальні хімічні реакції, маніпулювання окремими молекулами [1, 2].

Основним елементом скануючої зондової мікроскопії, який забезпечує можливість роботи приладу на атомарному рівні, є сканер. Сканери виготовляють з п'єзокерамічних матеріалів, які, з одного боку, забезпечують високу жорсткість конструкції, а з іншого - можливість переміщення на вельми малі відстані, аж до одиниць пікометрів.

Практично у всіх скануючих зондових мікроскопах п'єзоелектричний сканер використовується як дуже тонкий позиціонуючий пристрій, для того, щоб переміщати зонд щодо зразка або зразок щодо зонда. Сканер забезпечує два незалежні рухи зонда: сканування уздовж поверхні зразка (у площині XY) і переміщення в напрямі перпендикулярному до поверхні (по осі Z).

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДЖЕРЕЛ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В скануючій зондовій мікроскопії широке розповсюдження отримали сканери на основі трубчатих п'єзоелементів [2]. Недоліком таких сканерів є те, що при скануванні секції трубчатого п'єзоелемента, що не приймають участі у переміщенні, перешкоджають вигину п'єзокерамічного сканеру у потрібному напрямі, що призводить до отримання неадекватного зображення, а також зменшує діапазон сканування [3].

Широке розповсюдження отримали сканери на основі біморфних п'єзоелементів [4, 5]. З'єднання трьох біморфних п'єзоелементів у вигляді трипода [2] дозволяє створювати переміщення зонда в трьох координатах. Проте недоліком такого сканера є сильна асиметрія конструкції і взаємний зв'язок коливань біморфних п'єзоелементів, що забезпечують переміщення зонда по координатах X, Y, Z, а також низька резонансна частота – порядку 100-200 Гц.

## МЕТА РОБОТИ

Побудова моделі п'єзокерамічного сканера на основі біморфних п'єзоелементів.

### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Була побудована модель п'єзокерамічного сканера зображеного на рис.1 [6, 7].

Сканер виконано з п'яти біморфних п'єзоелементів, кожен з яких складається з металевої пластини, на яку закріплений п'єзоелемент. Чотири біморфних п'єзоелемента однією стороною металевої пластини консольно закріплені на основі таким чином, що поперечний переріз фігури, утвореної чотирма біморфними п'єзоелементами, являє собою квадрат або прямокутник. Утримувач об'єкту або зонду виконаний також у вигляді біморфного п'єзоелемента та закріплений на чотирьох біморфних п'єзоелементах за допомогою плоских пружних пластинок. Загальний вигляд розробленої конструкції представлений на рис.1.

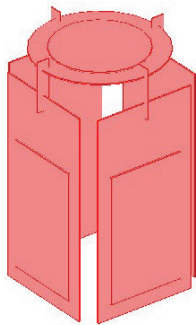


Рис.1. Загальний вигляд розробленої конструкції п'єзокерамічного сканера в Femlab

У цій статті представлені результати моделювання, розробленого сканера, за допомогою пакета програми FemLab 3.2 (COMSOL Multiphysics). COMSOL Multiphysics – це потужне інтерактивне середовище для моделювання та розрахунків багатьох наукових та інженерних задач, основаних на диференційних рівняннях у часткових похідних (PDE) методом кінцевих елементів. Цей програмний пакет розширює стандартні моделі, які використовують одне диференційне рівняння (прикладний режим), у мультифізичні моделі для розрахунку зв'язаних між собою фізичних властивостей. Розрахунок не потребує глибоких знань з математичної фізики та метода кінцевих елементів. Це можливо завдяки вбудованим фізичним режимам, де коефіцієнти PDE задаються у вигляді зрозумілих фізичних властивостей та умов, таких як: теплопровідність, теплоємність, коефіцієнт тепловіддачі, об'ємна потужність, п'єзоефект та інших, в залежності від обраного фізичного розділу. Перетворення цих параметрів у коефіцієнти математичних рівнянь виконується автоматично. Взаємодія з програмою можлива стандартним способом – через графічний інтерфейс користувача (GUI) або програмуванням за допомогою скриптів на мові COMSOL Script, або на мові MATLAB. У даному випадку, для роботи з програмою використовувався тільки графічний інтерфейс.

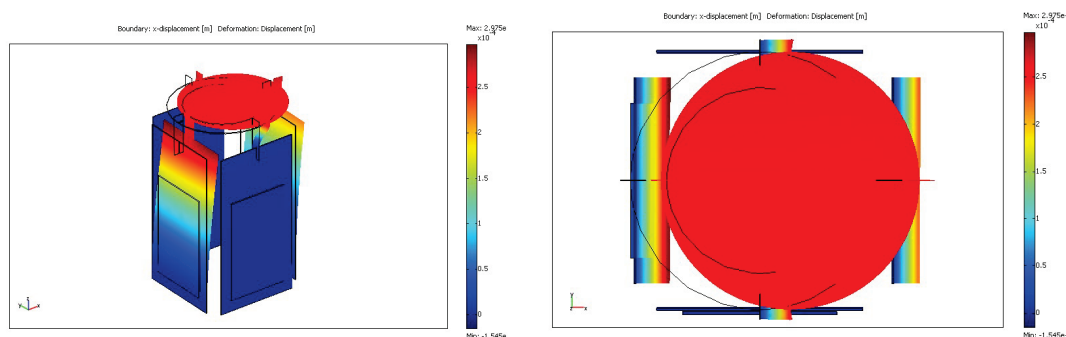


Рис. 2. Розроблений сканер на основі біморфних п'єзоелементів у динаміці

Для полегшення співставлення моделюємо модель розробленого сканера, яка відповідає реальним розмірам дослідного зразку, а саме – п'єзоелемент з п'єзокераміки ЦТС-19 з розмірами: ширина – 13, довжина – 25 та товщиною – 0,3 мм. Металевий пластина з розмірами: ширина – 15, довжина – 40,

товщина – 0,2 мм. Величина прикладеної напруги складає 100 В.

На рис.2 показана розроблена модель сканера в динаміці. Переміщення виконується вздовж вісі X. З рис.2 видно, що прикладена різниця електричної напруги до біморфних п'єзоелементів сканера призводить до їх вигину по одній з координат.

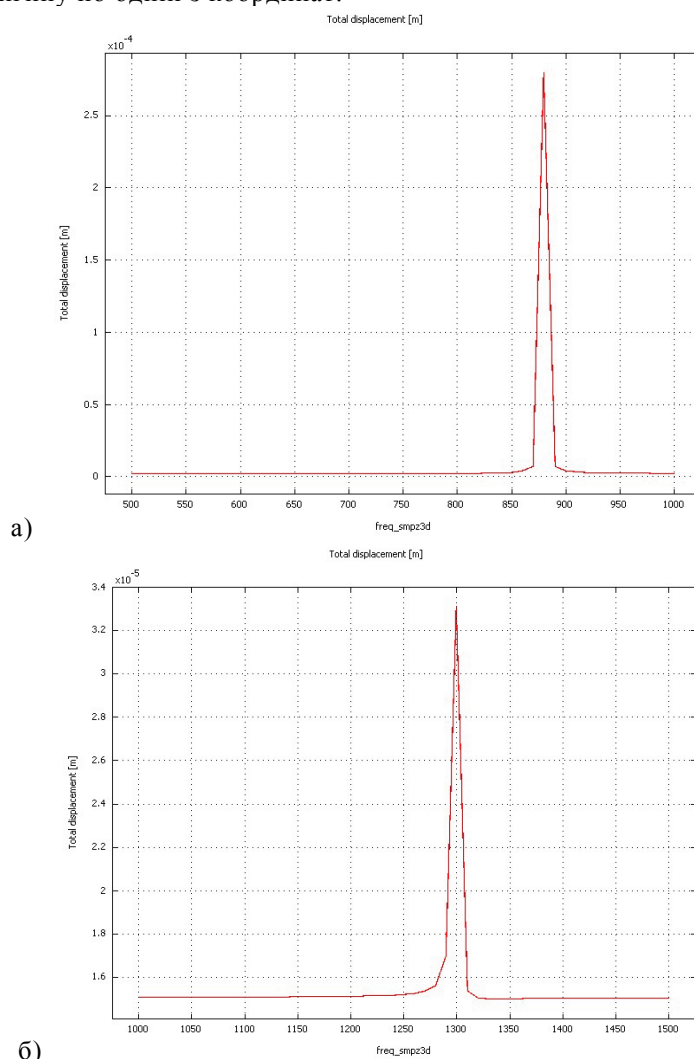


Рис. 3. Амплітудо-частотні характеристики сканера на основі біморфних п'єзоелементів: а) вздовж вісей X, Y; б) вздовж вісі Z

Результати моделювання, які представлені на рис.3, показують добре співпадання з експериментальними результатами. Переміщення вздовж вісей X, Y складає 300 мкм, а переміщення вздовж вісі Z – 35 мкм. Робоча частота сканера вздовж вісей X, Y складає 880 Гц, а вздовж вісі Z – 1,3 кГц.

## ВИСНОВКИ

Запропонована та досліджена конструкція п'єзокерамічного сканера для зондових наномікроскопів на основі біморфних п'єзоелементів.

Побудована та досліджена модель цього сканера за допомогою пакета програми Femlab 3.2.

Збільшення діапазона сканування розробленого сканера досягається не тільки за рахунок застосування біморфних п'єзоелементів, але й за рахунок роз'єднання актуаторів по координатам X, Y від актуатора по Z координаті.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Kasas S., Thomson N.H., Smith B.L., Hansma P.K., Miklossy J., Hansma H.G. // Int. J. Imaging Systems and Technology. 1997. № 8. P. 151.
2. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / В. Л. Миронов. – М: Техносфера, 2004. – 144 с.

3. Шарапов В.М., Гуржий А.Н., Алпатов А.П., Филимонов С.А. Цилиндрические пьезокерамические сканеры для наномикроскопов / «Вісник Черкаського державного технологічного університету», №3, 2006.
4. Патент України №32739. П'єзосканер/ Шарапов В.М., Філімонов С.О. – Кл. G12B 21/20, H01L 41/00 – Бюл. №10 –2008.
5. Патент України №22600. П'єзосканер / Шарапов В.М., Гуржий А.М., Філімонов С.О. – Кл. G12B 21/20, H01L 41/00; – Бюл. №5. – 2007.
6. Филимонов С.А Пьезокерамический сканер для наномикроскопов на основе биморфного планарного камертона / «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций “РТ-2008”», Материалы 4-ой международной научно-технической конференции 21-25 апреля, 2008. – с. 187.
7. Шарапов В.М., Гуржий А.Н., Филимонов С.А. Трехкоординатный пьезокерамический сканер для зондовых наномикроскопов на основе компланарных биморфных пьезоэлементов / “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах”, №4, 2006.

Надійшла до редакції: 05.10.2008р.

**ФІЛІМОНОВ СЕРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ** - аспірант кафедри комп'ютеризованих та інформаційних технологій у приладобудуванні, Черкаського державного технологічного університету, Черкаси, Україна.