

VI МНТК «ДАТЧИКИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ – 2017»



# ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

VI Міжнародної науково-технічної конференції

«ДАТЧИКИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ – 2017»,

*присвяченої пам'яті професора В.М. Шаропова*



ДПС-2017

Міжнародна наукова конференція  
«Датчики, прилади та системи»

# ТЕЗИ

## VI Міжнародної науково-технічної конференції «ДАТЧИКИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ – 2017», присвяченої пам'яті професора Шарапова В.М.

Головний редактор - к.т.н., доцент Бондаренко Ю.Ю.

Відповідальний за випуск - к.т.н., доцент Куницька Л.Г.

### Редакційна колегія:

**Алпатов А.П.** – д.т.н., професор, ІТМ НАНУ та НКАУ, Дніпро  
**Антонюк В.С.** – д.т.н., професор, НТУУ «КПІ», Київ  
**Беглиця В.П.** - д.держ.упр., доцент, ЧНУ ім.П.Могили, Миколаїв  
**Бень А.П.** – к.т.н., доцент, ХДМА, Херсон  
**Гальченко В.Я.** – д.т.н., професор, ЧДТУ, Черкаси  
**Гогунський В.Д.** – д.т.н., професор, ОНПУ, Одеса  
**Гордієнко В.І.** – д.т.н., с.н.с., НВК «Фотоприлад», Черкаси  
**Збруцький О.В.** – д.т.н., професор, НТУУ «КПІ», Київ  
**Квасніков В.П.** – д.т.н., професор (НАУ, Київ)  
**Кветний Р.Н.** – д.т.н., професор (ВНТУ, Вінниця)  
**Клименко Л.П.** - д.т.н., професор, ЧНУ ім.П.Могили, Миколаїв  
**Кошовий М.Д.** – д.т.н., професор, НАКУ «ХАІ», Харків  
**Мусієнко М.П.** – д.т.н., професор, ЧНУ ім.П.Могили, Миколаїв  
**Становський О.Л.** – д.т.н., професор (ОНПУ, Одеса)  
**Тимчик Г.С.** – д.т.н., професор, НТУУ «КПІ», Київ  
**Чижик С.А.** – д.т.н., професор, НАНБ, Мінськ  
**Ходаковський В.Ф.** - к.і.н., професор, ХДМА

### У НОМЕРІ:

- ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ДАТЧИКІВ, ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ**
- КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ**
- ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕМЕНТИ МІКРОСИСТЕМНОЇ ТЕХНІКИ**
- ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ.**
- ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ТА ІННОВАЦІЇ У ПРОЕКТУВАННІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДАТЧИКІВ ТА ПРИЛАДІВ**
- ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ ЄВРОПЕЙСЬКИХ КРИТЕРІЇВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗА СПЕЦІАЛЬНОСТЯМИ ТЕХНІЧНОГО ПРОФІЛЮ**

### АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ:

Україна, 18006, м. Черкаси, бул. Шевченка, 460,  
ЧДТУ, кафедра КІТП  
оргкомітет  
МНТК «Датчики, прилади та системи - 2017»

Збірка тез доповідей за матеріалами МНТК «Датчики, прилади та системи – 2017», Черкаси – Миколаїв – Херсон – Лазурне, вересень 2017.

*Мета конференції:* зустріч спеціалістів в області приладобудування, проектування та конструювання датчиків, приладів та систем для обміну ідеями, обговорення тенденцій розвитку даної області науки, встановлення контактів.

Статті друкуються в авторській редакції.

Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір та точність наведених фактів і цитат, економіко-статистичних та технічних даних, власних імен та інших поданих відомостей.

Редколегія не несе відповідальності за достовірність поданого матеріалу, проте залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали з метою кращого подання читачам.

При повному або частковому передрукуванні матеріалів посилання на тези конференції є обов'язковим.

## Зміст

<b>ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ДАТЧИКІВ, ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ</b>	<b>5</b>
Гальченко В.Я. Оптимальный синтез структур электромагнитных измерительных преобразователей.....	7
Катрук О.В. Математичні методи визначення оптимальних параметрів процесу механічної обробки.....	11
Кошовий М.Д., Кошова І.І., Костенко О. М. Методи оптимізації по вартісним (часовим) витратам планів багатofакторних експериментів.....	13
Лычак Н.Г. Измерение геометрических параметров элементов сложнопрофильных конструкций.....	15
Нестеренко А.О., Вислоух С.П. Имитационное моделирование производственных процессов в приборостроении.....	18
Петрищев О.М., Базіло К.В. Визначення електричних потенціалів у вторинних електричних колах багатосекційного дискового п'єзоелектричного трансформатора.....	20
<b>КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ</b>	<b>24</b>
Белозьоров Ж. О. Взаємодія командира механізованого відділення та безпілотного літального апарата.....	24
Журавська І. М. Забезпечення функціонування суб-роїв безпілотних літальних апаратів за допомогою бортових датчиків.....	27
Кветний Р.Н., Кириленко О.М. Аналіз методів відстеження облич у відеопослідовностях..	33
Крайник Я.М. Інтеграція набору взаємодіючих WI-FI - пристроїв у користувацьке середовище.....	35
Никольский В.В., Бережной К.Ю. Компьютерная система определения реологических характеристик судовых технических жидкостей.....	37
Ухина А.В., Ситников В.С., Ситникова В.А. Применение компонентов специализированных компьютерных систем при проведении экспериментальных медико-биологических исследований.....	39
<b>ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕЛЕМЕНТИ МІКРОСИСТЕМНОЇ ТЕХНІКИ</b>	<b>42</b>
Барандич К.С., Вислоух С.П. Технологічне забезпечення циклічної довговічності відповідальних деталей приладів.....	42
Бондаренко М.А., Базіло К.В., Бондаренко Ю.Ю., Медяник В.В. Изучение микроэлектромеханических пьезоэлектрических структур методом атомно-силовой микроскопии.....	45
<b>ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ</b>	<b>49</b>
Корецька О.О. Выбор беспроводных технологий для информационно-измерительных систем.....	49
Тичков В.В., Требовецька Р.В., Тичкова Н.Б., Базарний А.Г. Оцінка невизначеності пробовідбірної і вимірювального модулів комп'ютеризованої системи автоматичного контролю технологічної води.....	52

**Бондаренко М.А.**, к.т.н., доцент,  
**Базіло К.В.**, к.т.н., доцент,  
**Бондаренко Ю.Ю.**, к.т.н., доцент,  
**Медяник В.В.**, аспірант

Черкаський державний технологічний університет  
вул. Шевченка, 460, Черкаси, 18006, Україна

e-mail: maxxium23@gmail.com; b\_constantine@ukr.net; julybo110976@gmail.com;  
vovamedianik@rambler.ru

## ИЗУЧЕНИЕ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

***Abstract.** Currently leading manufacturers of electronic components serially produced a rather extensive list of elements, in which various microelectromechanical structures are included, such as various accelerometers, which are produced by millions of copies, resonators and electrical signals filters implemented on the their basis, transformers and other microminiature electromechanical systems. The main advantage of using of elements made of piezoceramic materials in measuring devices is determined by their special structure, which allows to implement in one element fundamentally different elements, for example, for simultaneous measurement of temperature, pressure and humidity. The purpose of the work is the investigation of structures, which are formed in piezoelectric ceramics by the combined method of electron micromachining, by the method of atomic force microscopy.*

***Key words:** microelectromechanical structures, atomic force microscopy, combined electron*

В настоящее время ведущие изготовители радиоэлектронных компонентов серийно выпускают достаточно обширный перечень элементов, в состав которых включены различные микроэлектромеханические структуры (МЭМС), например, различные акселерометры, которые выпускаются многомиллионными тиражами, резонаторы и реализованные на их основе фильтры электрических сигналов, трансформаторы и другие микроминиатюрные электромеханические системы [1].

Пьезоэлектрические элементы, изготовленные с помощью микросистемных технологий, имеют много общего с обычными, т. е. не микроскопических размеров, пьезоэлектрическими элементами, которые изготавливаются из пьезокерамики. Отличительной чертой между МЭМС и обычными пьезоэлементами является способ электродирования рабочих поверхностей. В МЭМС, как правило, используется частичное электродирование рабочих поверхностей, когда только часть поверхности поляризованного сегнетоэлектрика покрывается металлической пленкой. Этот способ электродирования позволяет возбуждать в объеме МЭМС несколько типов упругих колебаний [2].

Основное преимущество использования в измерительных устройствах элементов из пьезокерамических материалов обуславливается их особенной структурой, которая позволяет реализовать в одном таком элементе принципиально разные схемы, например, для одновременного измерения температуры, давления и влажности.

В работах [3, 4] было показано, что термическим осаждением в вакууме можно получить упорядоченные наноструктуры на поверхностях пьезокерамических элементов. Дальнейшее воздействие на такие поверхности электронным потоком ленточной формы [5] приводит к формированию в пьезоэлектрической керамике зон с различными значениями пьезомодуля и коэффициента электромеханической связи, что, в свою очередь, позволяет создавать пьезоэлектрическую схему, ограничиваясь объемом такой отдельно взятой зоны.

Среди существующих неразрушающих методов контроля, с помощью которых можно определить как состояние поверхности пьезоэлектрических элементов (ее микрогеометрию и пористость), так и размеры сформированных в ней структур, наиболее перспективным является метод атомно-силовой микроскопии, обладающий высокой точностью (до 1 нм),

чувствительностью (порядка  $10^{-12}$  Н) и производительностью.

**Целью** данной работы является исследование микроэлектромеханических структур, в том числе изучение методом атомно-силовой микроскопии сформированных в пьезоэлектрической керамике упорядоченных структур комбинированным методом электронной микрообработки.

Теоретические основы расчета характеристик пьезоэлектрических элементов с частичным электродированием поверхности и микроэлектромеханических структур приведены в работе [2]. Математическая модель динамического напряженно-деформированного состояния пьезоэлектрического элемента с частичным электродированием поверхности является ключевым соотношением для количественных оценок передаточных характеристик пьезоэлемента при любых вариантах его функционального использования и может быть записана в следующем виде:

$$u_{\ell}(x_k) = \frac{e_{33}U_g}{c_{33}^E [1 - i\omega Z_g C^{\varepsilon}(\omega, \Pi)]} \tilde{u}_{\ell}(x_k, \omega, \Pi),$$

где  $u_{\ell}(x_k)$  – смещение материальных частиц пьезоэлектрического элемента;

$i = \sqrt{-1}$ ;

$e_{33}$  – пьезоэлектрический модуль;

$U_g$  – амплитудное значение электрического потенциала на выходе генератора;

$c_{33}^E$  – модуль упругости, который экспериментально определяется в режиме постоянства (равенства нулю) напряженности электрического поля (верхний символ  $E$ );

$\omega$  – круговая частота;

$Z_g$  – выходной электрический импеданс генератора электрических сигналов;

$C^{\varepsilon}(\omega, \Pi)$  – динамическая электрическая емкость пьезокерамического элемента;

$\tilde{u}_{\ell}(x_k, \omega, \Pi)$  – безразмерные функции координат точки наблюдения и набора физико-механических и геометрических (символ  $\Pi$  в списке аргументов) параметров пьезоэлектрического элемента.

Экспериментальные исследования методом электронной микрообработки состояли из двух этапов. Первый этап заключался в формировании тонкого однородного металлического (Ag) покрытия толщиной до 1000 нм на поверхности элементов из пьезокерамики марки ЦТС-19 методом термического осаждения в вакууме порядка  $(2...3) \cdot 10^{-3}$  Па. Второй этап заключался в формировании упорядоченных структур на полученных таким методом покрытиях, и осуществлялся электронным методом, когда поток низкоэнергетических электронов воздействовал на поверхность таких покрытий через съемную маску и приводил к частичному расплавлению и испарению материала покрытия. При этом управление мощностью электронного потока в процессе такой комбинированной микрообработки позволило, в то же время, отделять зоны с разным значением пьезомодуля и коэффициента электромеханической связи и осуществлять поляризацию этих зон в заданном направлении вектора поляризации.

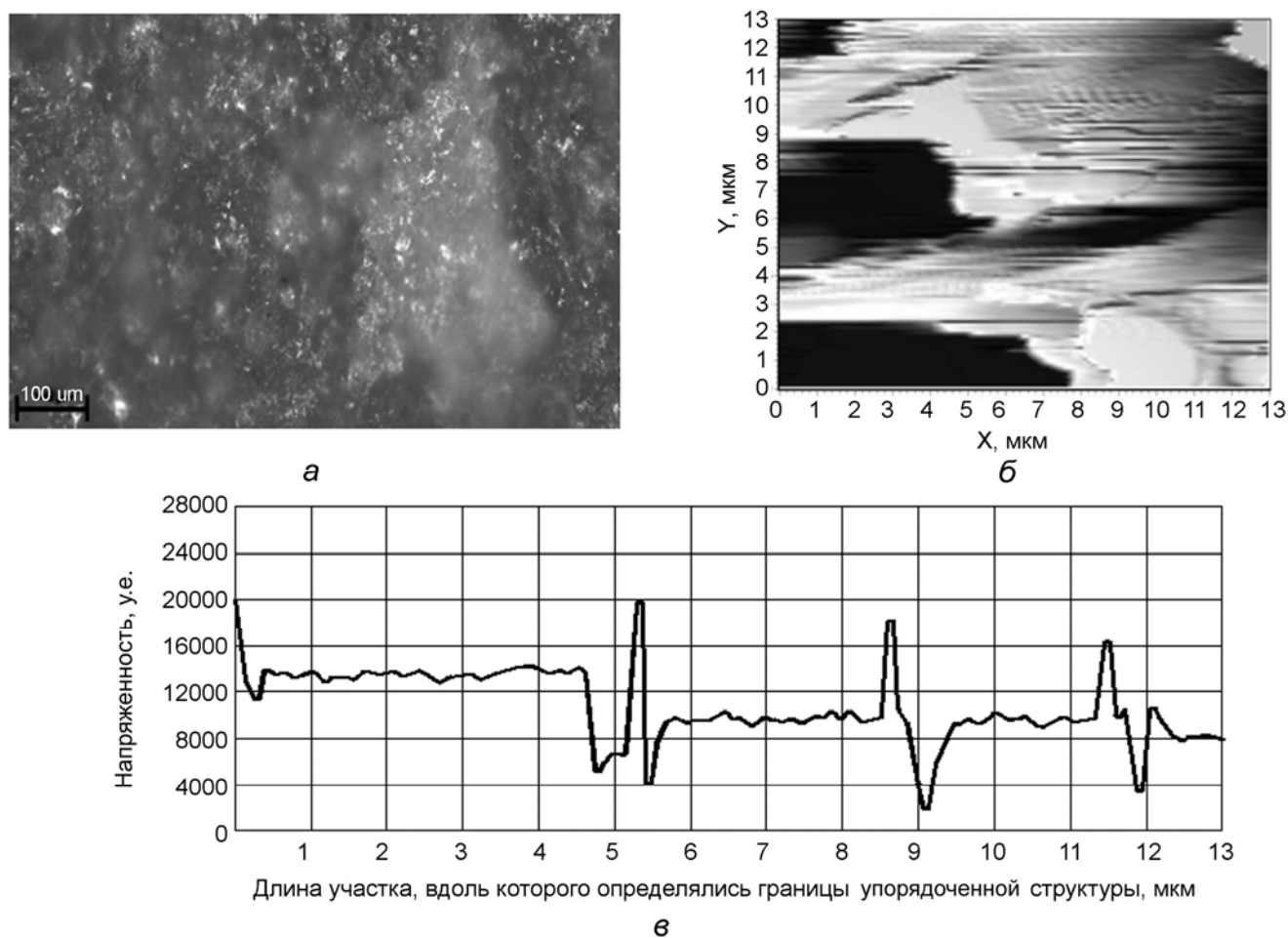
Комбинированная электронная микрообработка проводилась на модифицированной технологической электронной установке УВН-71 в одном технологическом цикле в два этапа. В качестве инструмента обработки выступал электронный поток ленточной формы с длиной и шириной электронного потока на поверхности материала, соответственно, 60 мм и 1,5 мм. Объектами исследования были образцы из пьезоэлектрической керамики марки ЦТС-19.

Исследования поверхности элементов из пьезоэлектрической керамики, а также изучение границ образованных структур после комбинированной электронной микрообработки проводились с применением растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6700F (Япония), а также с помощью атомно-силового микроскопа «NT-206». При этом использовались кремниевые зонды «Ultrasharp CSC12». Измерение микрорельефа поверхности образцов проводилось в статистическом режиме на участках поверхности, максимальным размером  $13 \times 13$  мкм, согласно разработанным методикам и рекомендациям.

Проведенные исследования позволили установить, что воздействие низкоэнергетического электронного потока ленточной формы на металлизированную поверхность образца приводит к

равномерному распределению, как тепловой, так и электрической составляющей электронного потока. При этом материал пьезокерамики не испытывает значительных структурных и химических изменений в результате такого воздействия. Воздействие низкоэнергетического электронного потока ленточной формы непосредственно на поверхность пьезоэлектрической керамики приводит к формированию в объеме пьезокерамического материала зон повышенной плотности с уменьшенным значением свободных диполей. Это и обуславливает границы доменов с определенным направлением вектора поляризации (размеры таких доменов определяются, обычно, по размерам упорядоченной наноструктуры на поверхности керамики).

В результате проведенных исследований были установлены размеры сформированных структур (то есть, зон с различными значениями пьезомодуля и коэффициента электромеханической связи), которые составляют 2,2...8,0 мкм, рис. 1.



**Рис. 1. Фрагмент поверхности образца из пьезокерамики ЦТС-19 со сформированными в нем упорядоченными структурами:**  
**а) микроснимок шлифа поверхности. JEOL JSM-6700F;**  
**б) карта распределения упорядоченных структур в поверхности образца;**  
**в) форма границы упорядоченной структуры в поверхности образца.**  
**NT - 206 (режим латеральных сил)**

**Выводы.** Таким образом, методом атомно-силовой микроскопии проведено изучение упорядоченных структур, сформированных в пьезоэлектрической керамике комбинированным методом электронной микрообработки. При этом было установлено, что коэффициент электромеханической связи в зонах поляризации составлял 0,44...0,48, а пьезомодуль увеличивался несущественно, что является характерным для пьезокерамик системы ЦТС. Вместе с тем, действие электронного потока приводило к уменьшению пористости поверхности на 3...5%, а также к увеличению ее микротвердости на 0,5...0,8 МПа.

Основываясь на полученных результатах, в дальнейшем планируется изучать электродинамические и электромеханические характеристики упорядоченных структур,

сформированных методом комбинированной электронной микрообработки в пьезоэлектрической керамике марки ЦТС-19.

### Список литературы

1. Varadan V., Vinoy K., Jose K. (2002). RF MEMS and their applications. *John Wiley & Sons Ltd*, 406 p.
2. Petrishchev O., Bazilo C., et al. (2014). Principles of calculation of piezoelectric elements with surfaces partial covering by electrodes //Вісник Черкаського державного технологічного університету. – № 3. –С. 47–55.
3. Бондаренко М.А. Формирование упорядоченных наноструктур на пьезоэлектрической керамике системы ЦТС термическим осаждением в вакууме / М. А. Бондаренко [и др.] // Материалы X Юбилейной международной промышленной конференции [«Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях»]. – сел. Славське, Львовской обл., 18-22 февраля 2010. - С. 159-160.
4. Шарапов В.М. Исследование характеристик токопроводящих электропроводных пьезокерамических элементов / В.М. Шарапов, А.М. Гуржий, М.А. Бондаренко и др. // Вестник Черкасского государственного технологического университета, Черкассы: ЧДТУ. – 2007 (спецвыпуск). – С. 258-260.
5. Бондаренко М.А. Формирование упорядоченных тонких структур на поверхностях пьезокерамических элементов комбинированным электронным методом / М.А. Бондаренко, Ю.Ю. Бондаренко // Вестник Черкасского государственного технологического университета, Черкассы: ЧДТУ. – 2008 (спецвыпуск). – С.122-123.