

УДК 537.226.86

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫМ ПОТОКОМ, МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

М.А. Бондаренко ¹, Ю.Ю. Бондаренко ¹, Г.В. Канашевич ¹, И.В. Яценко ¹,
В.А. Ващенко ¹, Л.И. Конопальцева ²

¹Черкасский государственный технологический университет, 18006, Черкассы, бульвар Шевченко, 460
Украина, E-mail: maXX@rambler.ru

²Научно-исследовательский инженерно-внедренческий центр приоритетных технологий оптической
техники, 01010, Киев, ул. Московская, 10, Украина, E-mail: maXX@rambler.ru

Введение

Керамические пьезоэлементы все чаще находят применение в изделиях пьезотехники для точного приборостроения, медицины, гидроакустики, аэрокосмической техники и других отраслей народного хозяйства [1]. При этом специфика изделий, в которых применяются такие пьезоэлементы, предусматривает их использование при повышенных температурах, давлениях, вибрациях, а также в условиях агрессивных сред. Поэтому сроки надежной эксплуатации пьезоэлементов, точность и воспроизводимость результатов их работы в значительной степени зависят от состояний и качества подготовки поверхностей.

В работах [2, 3] показано, что как в процессе эксплуатации, так и при долговременном хранении электрофизические параметры токопроводящих покрытий (Ag, Ni) пьезоэлементов значительно ухудшаются. Это приводит к уменьшению срока эксплуатации и/или хранения таких элементов до 6–8 лет, что, в свою очередь, связано с образованием и развитием микро- и нанодфектов (трещин, пор, локальных отслоений покрытия от материала основы) на поверхностях электродов пьезоэлементов, а также с их окислением в результате химической реакции между материалом электродов и атмосферными газами или агрессивной средой. Это приводит к уменьшению добротности и амплитуды основного резонанса радиальных колебаний, а также к увеличению значения поверхностного сопротивления.

Устранение этих дефектов, на наш взгляд, представляется возможным за счет воздействия на поверхности токопроводящих покрытий низкоэнергетического электронного потока ленточной формы.

В то же время установлено [2], что своевременное выявление дефектов и прогнозирование их развития возможно путем применения метода атомно-силовой микроскопии, который в отличие от других неразрушающих методов контроля обладает высокой точностью (до 1 нм) и продуктивностью.

Целью работы является исследование методом атомно-силовой микроскопии токопроводящих поверхностей пьезокерамических элементов, модифицированных низкоэнергетическим электронным потоком.

Методика эксперимента

В ходе эксперимента исследовались образцы из пьезокерамики ЦТС-19 (диски диаметром 35 мм, толщиной 1 мм) с токопроводящими электродами (Ag, Ni), изготовлен-

ные на ОАО «Укрпьезо» (г. Черкассы, Украина), общим количеством 15 штук, которые были разделены на три группы:

1-я группа – пять образцов, не модифицированных электронным потоком (изготовлены в 2008 году), не эксплуатировались;

2-я группа – пять образцов, модифицированных электронным потоком (изготовлены в 2008 году), не эксплуатировались;

3-я группа – пять образцов, не модифицированных электронным потоком (изготовлены в 1989 году), эксплуатировались на протяжении 12 лет.

В качестве инструмента обработки использовался электронный поток ленточной формы (длина и ширина электронного потока на поверхности материала соответственно 60 и 1,5 мм). Технологический режим электронной обработки: ускоряющее напряжение 1,5 кВ; ток электронного потока 160 мА; расстояние от электронной пушки до обрабатываемой поверхности 15 мм; обработка в один проход.

Обработка проводилась на модифицированной технологической электронной установке УВН-71 (МННЦ «Микронанотехнологии и оборудование», ЧГТУ, г. Черкассы).

Исследования микрогеометрии поверхностей оптических пластин после обработки осуществлялись на приборе NT-206V (изготовитель: ОДО «Микротестмашины», Беларусь). При этом были использованы кремниевые зонды «Ultrasharp CSC12» (изготовитель: «MikromaschCo»). В состав прибора также входит система микропозиционирования и встроенная оптическая система, которые позволяют проводить выбор необходимого участка на поверхности образца.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований было установлено, что при обработке токопроводящих поверхностей образцов из пьезокерамики ЦТС-19 низкоэнергетическим ($E < 6$ кэВ) электронным потоком ленточной формы их остаточная микронеровность уменьшалась со 120–160 нм (рис. 1, 1-я группа образцов, профиль 1) до 78–103 нм (рис. 1, 2-я группа образцов, профиль 2).

Наблюдалось также устранение отдельных микро- и нанодфектов (40 % микротрещин шириной до 5 нм и 65 % пор), которые возникли в процессе осаждения токопроводящих покрытий в вакууме и при их длительной эксплуатации (хранении). Это позволило повысить срок безотказной эксплуатации таких пьезоэлементов на 25–50 %.

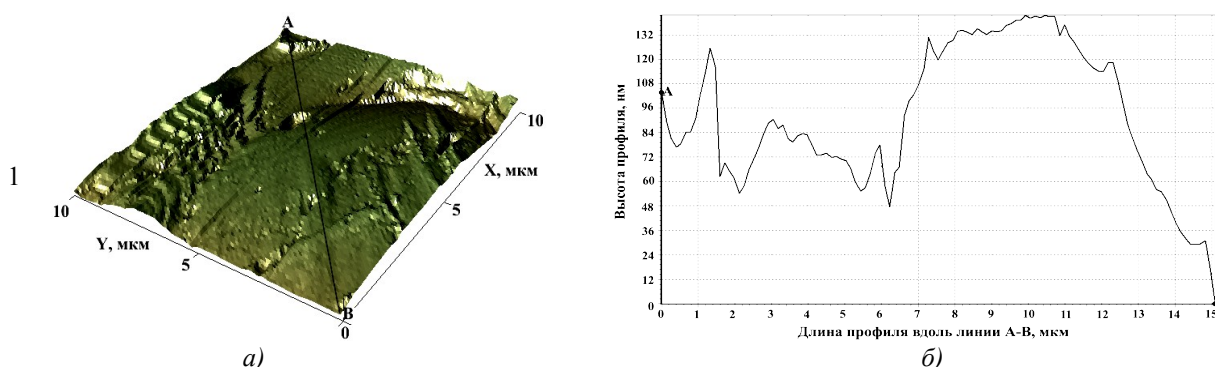


Рис. 1. Топограмма (а) и профиль вдоль линии АВ участка 13×13 мкм (б) токопроводящей поверхности пьезокерамического элемента, не бывшего в эксплуатации: 1 – немодифицированного; 2 – модифицированного электронным потоком (окончание см. на с. 25)

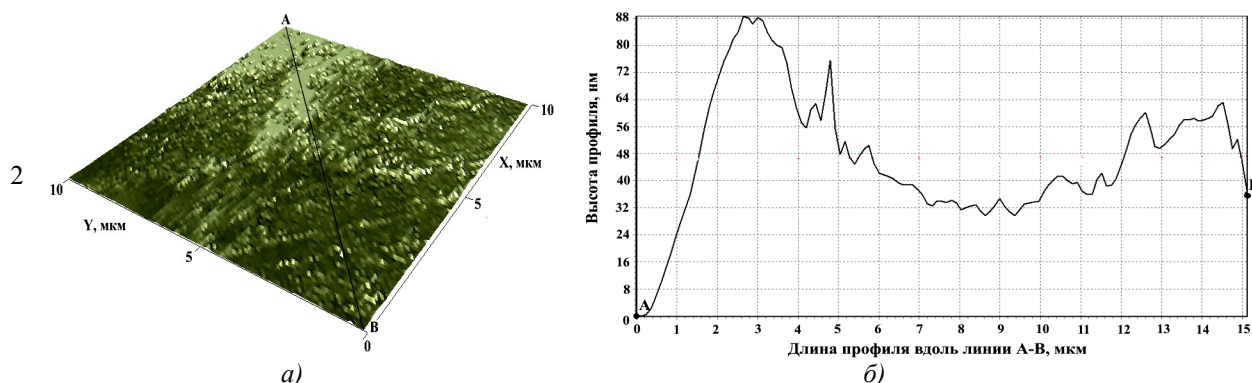


Рис. 1. Окончание (начало см. на с. 24)

В результате анализа образцов 3-й группы установлены частичное разрушение и эрозия токопроводящих электродов пьезоэлементов (рис. 2, а). При этом в отличие от образцов 1-й группы, для которых микронеровности поверхности составили 120–160 нм, для образцов 3-й группы наблюдалось увеличение микронеровностей до 320–450 нм, а также появление микротрещин, сколов и других микродефектов поверхности.

В то же время дальнейшая электронная обработка образцов данной группы позволила частично устранить ряд микродефектов (рис. 2, б). При этом химический состав и микронеровности поверхностей после их обработки электронным потоком изменялись незначительно.

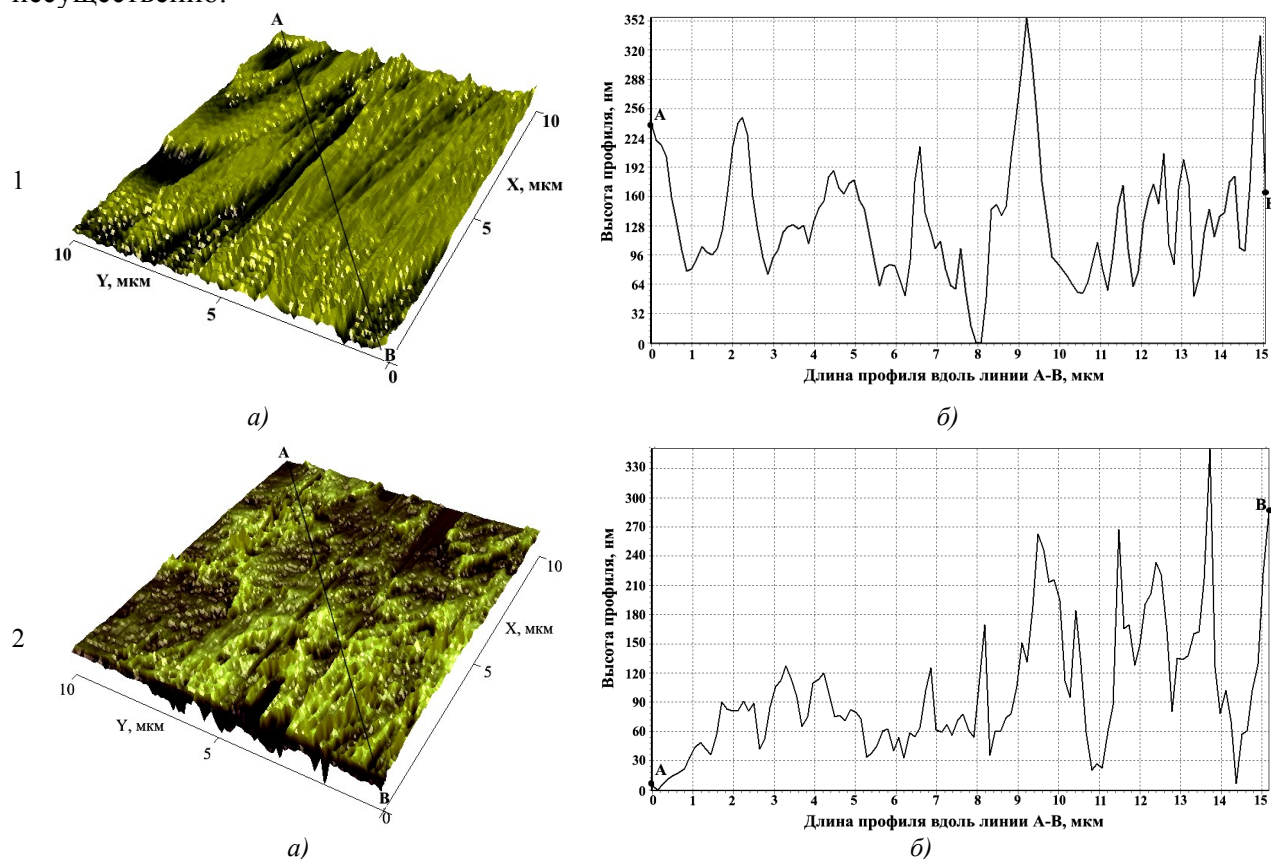


Рис. 2. Топограмма (а) и профиль вдоль линии А–В участка 13×13 мкм (б) токопроводящей поверхности пьезокерамического элемента после 12 лет эксплуатации: 1 – немодифицированного; 2 – модифицированного электронным потоком

Выводы

Токопроводящие покрытия пьезоэлементов в процессе долговременной эксплуатации и/или хранения изменяют свои свойства, что приводит к ухудшению электрофизических параметров пьезоэлементов (увеличению поверхностного сопротивления от 0,18–0,2 Ом до 0,77–0,83 Ом и уменьшению добротности с 35–38 до 21,5–24).

Модификация поверхностей токопроводящих электродов пьезоэлементов из керамики ЦТС-19 низкоэнергетическим электронным потоком ($E < 6$ кэВ) позволила улучшить микрогеометрию этих поверхностей (микронеровности поверхностей уменьшились со 120–160 нм до 78–103 нм), устранить ряд микро- и нанодефектов, которые возникают в процессе осаждения токопроводящих покрытий в вакууме и при их длительной эксплуатации (хранении) и повысить срок безотказной эксплуатации таких пьезоэлементов (ОСТ 31-140) с 8 до 10–12 лет.

Литература

1. Пьезоэлектрические преобразователи: справочное пособие / В.М. Шарапов, И.Г. Минаев, М.П. Мусиенко, Ю.Ю. Бондаренко, и др. / Под ред. В.М. Шарапова Черкасы: ЧГТУ, 2004. 435 с.
2. Бондаренко М.А., Бондаренко Ю.Ю., Бабаев А.К., Яценко И.В., Рева И.А., Канашевич Г.В., Ващенко В.А. Применение метода атомно-силовой микроскопии в прогнозировании срока эксплуатации пьезоэлектрических преобразователей медицинских приборов // Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии. VII Междунар. семинар (1–3 ноября 2006). Сб. науч. тр. Минск, 1–3 ноября 2006. С. 143–147.