

УДК 621.38-022.532

**О.А. Агеев, В.А. Смирнов, Н.И. Сербу, Д.Г. Самканашвили,  
А.К. Уртаев, З.Х. Епхив**

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРЫ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ  
МИКРОКАНАЛЬНЫХ ПЛАСТИН МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ  
МИКРОСКОПИИ**

*Представлены результаты исследования наноструктуры внутренней поверхности микроканала (ВПМ) микроканальных пластин (МКП) методом атомно-силовой микроскопии (АСМ). Установлено, что внутренняя поверхность микроканала МКП имеет зернистую наноразмерную структуру с диаметром зерен  $59 \pm 10$  нм и высотой  $2,8 \pm 0,7$  нм. Выявлены области с повышенной проводимостью, ток растекания которых составлял около 10,6 нА. Исследован профиль распределения и глубина напыления хромовых контактов внутри поверхности микроканалов МКП.*

*Микроканальная пластина; атомно-силовая микроскопия; морфология поверхности; отображение сопротивления растекания; наноструктура.*

**O.A. Ageev, V.A. Smirnov, N.I. Serbu, D.G. Samkanashvili,  
A.K. Urtaev, Z.H. Ephiev**

**RESEARCH OF MICROCHANNEL PLETES PARAMETERS BY ATOMIC  
FORCE MICROSCOPY**

*Results of microchannel internal surface of the microchannel plates (MCP) nanostructure by atomic force microscopy research are presented. It is established that the MCP microchannel internal surface has granular nanostructure with diameter of grains  $59 \pm 10$  nm and height  $2,8 \pm 0,7$  nm. Areas with the raised conductivity are revealed, the current of regions 10,6 nA. The profile of distribution and sputtering depth of chromic contacts in the MCP microchannels surface is investigated.*

*Microchannel plate; atomic force microscopy; surface morphology; spreading resistance; nanostructure.*

Разработка современных способов исследования параметров микро- и наноразмерных структур связана с развитием атомно-силовой микроскопии, основным достоинством которой является возможность исследования геометрических, физических и электрических свойств структур с высоким пространственным разрешением [1, 2]. Кроме того, при приложении к системе “зонд–подложка” различных механизмов воздействий, метод АСМ может использоваться для формирования структур элементов наноэлектроники [3].

Метод отображения сопротивления растекания (ОСР) основан на детектировании тока при приложении напряжения смещения к системе “проводящий зонд–подложка” и может быть использован при исследовании дефектов в структурах с различной проводимостью, для определения удельного сопротивления и распределения концентрации легирующих примесей в полупроводниковых структурах [4, 5].

Микроканальная пластина представляет собой стеклянную пластину толщиной 300 мкм, состоящую из большого количества тонких свинцово-силикатных стеклянных трубок – микроканалов, которая выполняет роль многоканального усилителя, с большим коэффициентом усиления фотоэлектронов, высокими пространственным разрешением и быстродействием [6]. Применяются МКП в приборах ночного видения, аппаратуре электронной спектроскопии и микроскопии, масс-спектрометрии, рентгеновской астрономии, при проведении ядерных исследований и т.д. [6].

Целью работы являются исследование морфологии и электрических параметров внутренней поверхности микроканальных пластин, определение глубины и анализ распределения материала контактов внутри микроканала, а также исследование проводимости вдоль микроканала МКП на наноуровне.

Исследования параметров микроканальных пластин (производитель – ООО ВТЦ «Баспик», г. Владикавказ) проводились на зондовой нанолaborатории (ЗНЛ) Ntegra Vita (производитель – ЗАО «Нанотехнология-МДТ», г. Зеленоград). На рис. 1 представлено АСМ-изображение топологии поверхности МКП, полученное в полуконтактном режиме АСМ. Диаметр каналов МКП составил 6 мкм, толщина стенки 2 мкм.

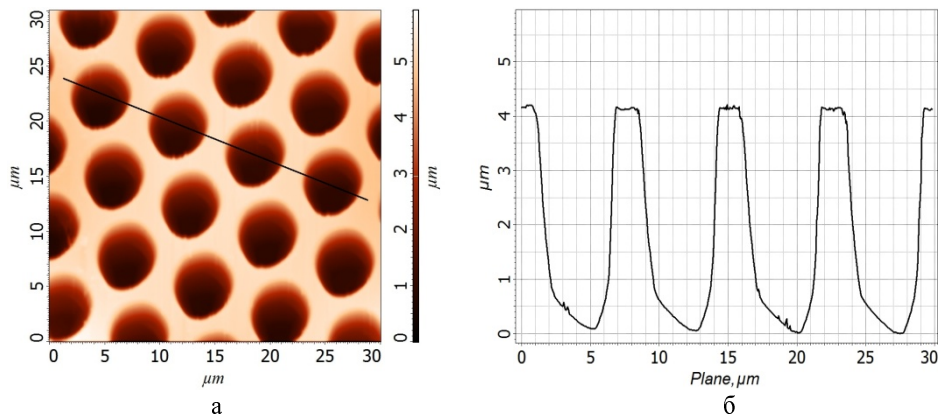


Рис. 1. АСМ-изображение поверхности МКП: а – рельеф поверхности; б – профилограмма

Для исследования внутренней поверхности микроканала МКП пластина скрайбировалась и помещалась в специальное приспособление поверхностью скола вверх. К боковым сторонам МКП были подведены контакты таким образом, чтобы при сканировании поверхности скола МКП методом АСМ осуществлять подачу напряжения смещения и контроль тока в системе “проводящий зонд-подложка”. На рис. 2 приведена схема методики исследования внутренней поверхности микроканала МКП.

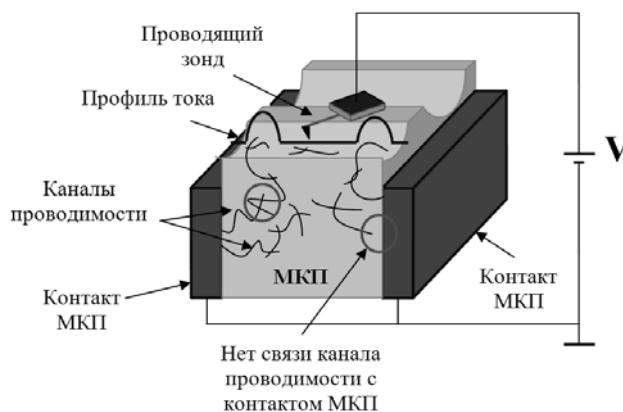


Рис. 2. Схематическое изображение методики исследования ВПМ МКП

При исследовании ВПМ МКП острие кантилевера помещалось внутрь микроканала и проводилось сканирование методом АСМ. Измерения параметров внутренней поверхности микроканала проводились в нескольких областях, для формирования выборки статистических данных, свидетельствующих о структурных особенностях МКП по длине всего канала.

На рис. 3 приведено АСМ-изображение поверхности ВПМ МКП, полученное по разработанной методике. Обработка полученных АСМ-изображений осуществлялась с использованием программного пакета Image Analysis 3.5 [7].

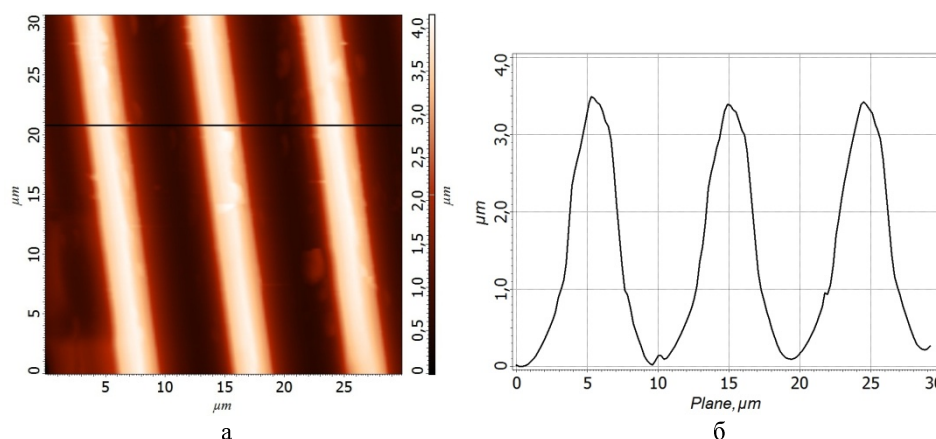


Рис. 3. АСМ-изображения внутренней поверхности микроканала МКП: а – рельеф поверхности; б – профилограмма

Исследование структуры ВПМ МКП осуществлялось в полуконтактном режиме АСМ с использованием метода отображения фазового контраста, с помощью которого получена карта распределения фазового контраста поверхности ВПМ, отражающая характеристические особенности материала МКП [2]. В качестве зондового датчика использовался кантилевер марки HA NC, радиус закругления острия которого около 10 нм и аспектное соотношение сторон острия 1:5 [7]. В результате сканирования были получены АСМ-изображения ВПМ, представленные на рис. 4.

Анализ полученных АСМ-изображений показал, что морфология внутренней поверхности микроканала МКП имеет зернистую наноструктуру, диаметр и высота зерен которой составили около  $59 \pm 10$  нм и  $2,8 \pm 0,7$  нм соответственно. Также на поверхности микроканала были выявлены субмикронные артефакты длиной около  $420 \pm 100$  нм, шириной  $192 \pm 50$  нм и высотой  $32 \pm 10$  нм (рис. 4,а). Из анализа АСМ-изображения фазового контраста ВПМ МКП следует, что контрасты артефактов и зерен ВПМ существенно не отличаются, поэтому можно сделать вывод об однородности материала структуры поверхности микроканала.

Исследование проводимости ВПМ МКП проводилось в контактном режиме АСМ методом определения сопротивления растекания с использованием низковольтной головки ЗНЛ Ntegra, позволяющей детектировать токи порядка нескольких пикоампер [7]. В качестве зондового датчика применялся кантилевер марки NSG 11 с проводящим  $W_2C$  покрытием [7]. В результате были получены АСМ-изображения распределения тока по внутренней поверхности микроканала МКП, представленные на рис. 5.

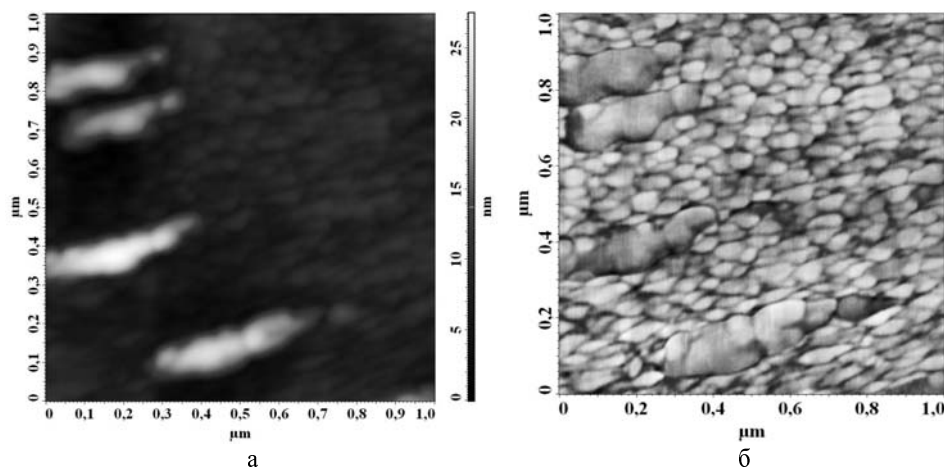


Рис. 4. АСМ-изображения внутренней поверхности канала МКП: а – рельеф поверхности; б – фазовый контраст

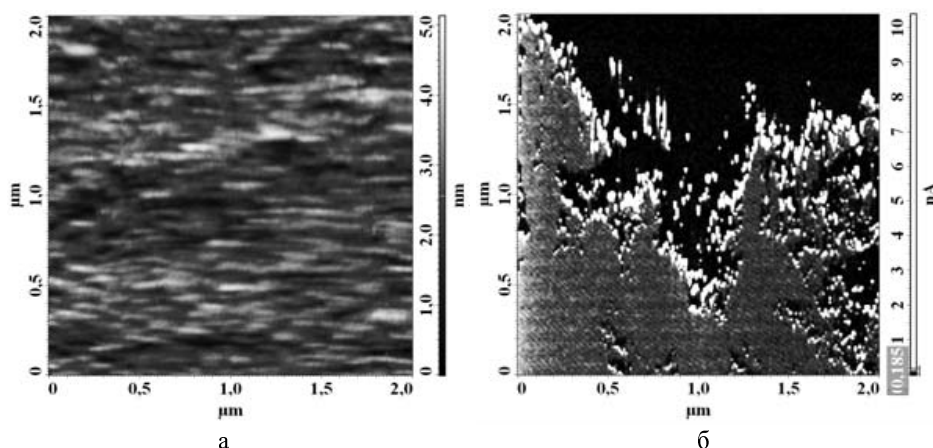


Рис. 5. АСМ-изображения поверхности внутри канала МКП: а – рельеф поверхности; б – распределение тока растекания

Анализ полученных АСМ-изображений (рис. 5) показал, что ВПМ МКП содержит области с повышенной электропроводностью. При подаче напряжения смещения 10 В к системе “зонд–подложка” максимальный ток растекания (ток каналов проводимости) составлял около 10,6 нА, а средний ток растекания по всей области сканирования составлял около  $0,5 \pm 0,08$  нА. Точковый контраст, процесс формирования которого представлен на рис. 2, может быть отражением выхода проводящих каналов на ВПМ МКП, имеющих электрический контакт с боковыми электродами МКП. Возникновение этих каналов проводимости на ВПМ вероятно связано с процессом термоводородного восстановления микроканальной пластины.

Кроме того, в работе методом ОСР исследовался профиль распределения хромовых контактов по ВПМ МКП. Анализ полученных АСМ-изображений (рис. 6) показал, что глубина напыления хромовых контактов внутри микроканала МКП составляет около 12 мкм, а средний ток растекания, при напряжении смещения зонд–подложка 2 В, составляет около 23 нА.

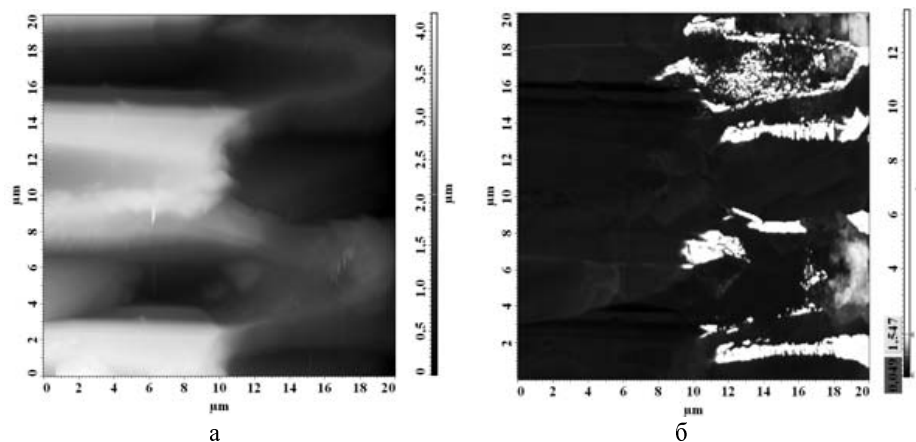


Рис. 6. АСМ-изображения скола выхода МКП: а – рельеф поверхности; б – распределение тока растекания

В результате проведенных исследований установлено, что внутренняя поверхность микроканала МКП имеет зернистую наноразмерную структуру. Выявлено наличие на ВПМ субмикронных артефактов, АСМ-фазовый контраст которых соответствует контрасту основного материала МКП. Вдоль внутренней поверхности микроканала МКП обнаружены зоны с повышенной электропроводностью, возникновение которых может быть связано с выходом свинца на поверхность микроканала в результате операции термоводородного восстановления. Исследованы закономерности распределения хромовых контактов внутри микроканала МКП.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке и оптимизации технологических процессов изготовления микроканальных пластин.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнов В.А., Сербу Н.И. Исследование наноструктуры и электрических параметров внутренней поверхности каналов микроканальных пластин методами АСМ // Труды международной научно-технической конференции и молодежной школы-семинара «Нанотехнологии – 2010». – Ч. 2. – 2010. – С. 97-99.
2. Paul E. West, Ph.D. Introduction to Atomic Force Microscopy // Pacific Nanotechnology. – 2007. – Р. 68-96.
3. Агеев О.А., Алябьева Н.И., Коноплев Б.Г., Поляков В.В., Смирнов В.А. Фотоактивация процессов формирования наноструктур методом локального анодного окисления пленки титана // Известия вузов. «Электроника». – Ч. 2. – 2010. – № 2 (82). – С. 23-31.
4. Kalinin S., Gruverman A. Electrical and electromechanical phenomena at the nanoscale // Springer Handbook of Nanotechnology. – 2007. – Р. 31-49.
5. Clarysse T., Vanhaeren D., Hoflijk I., Vandervorst W. Characterization of electrically active dopant profiles with the spreading resistance probe // Materials Science and Engineering R 47. – 2004. – Р. 123-206.
6. Официальный сайт ООО ВТЦ «Баспик» <http://www.baspik.com>.
7. Официальный сайт ЗАО «Нанотехнология-МДТ» <http://www.ntmdt.ru>.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. Е.А. Рындин.

**Агеев Олег Алексеевич**

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: ageev@fep.tti.sfedu.ru.

347928, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2.

Тел.: 88634371611.

Кафедра технологии микро- и нанoeлектронной аппаратуры; заведующий кафедрой; д.т.н.; профессор.

**Смирнов Владимир Александрович**

E-mail: sva@fep.tti.sfedu.ru.

Кафедра технологии микро- и нанoeлектронной аппаратуры; к.т.н.; доцент.

**Сербу Наталья Ивановна**

E-mail: mail\_natik@list.ru.

Кафедра технологии микро- и нанoeлектронной аппаратуры; магистрант.

**Самканашвили Давид Геннадьевич**

Владикавказский технологический центр «Баспик».

E-mail: baspik-nt@rambler.ru.

РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, корп. 6.

Тел.: +78672241961.

Начальник лаборатории нанотехнологий.

**Уртаев Асламбек Казбекович**

E-mail: baspik-nt@rambler.ru.

Старший научный сотрудник.

**Епхийев Заурбек Хетагович**

E-mail: baspik-nt@rambler.ru.

Исполняющий обязанности начальника ОТК.

**Ageev Oleg Alexeevich**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: ageev@fep.tti.sfedu.ru.

2, Shevchenko Street, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634371611.

The Department of Micro- and Nanoelectronics; Head the Department; Dr. of Eng. Sc., Professor.

**Smirnov Vladimir Alexandrovich**

E-mail: sva@fep.tti.sfedu.ru.

The Department of Micro- and Nanoelectronics; Cand. of Eng. Sc.; Associate Professor.

**Serbu Natalie Ivanovna**

E-mail: mail\_natik@list.ru.

The Department of Micro- and Nanoelectronics Undergraduate.

**Samkanashvili David Gennad'evich**

Vladikavkaz Technological Center «Baspik».

E-mail: baspik-nt@rambler.ru.

44, Nikolaev Street, Building 6, Vladikavkaz, Alania, Russia.

Phone: +78672241961.

Head of Laboratory.

**Urtaev Aslambek Kazbekovich**

E-mail: baspik-nt@rambler.ru.

Superior Researcher.

**Ephiev Zaurbek Hetagovich**

E-mail: baspik-nt@rambler.ru.

Head of Control Department.