

ФОРМИРОВАНИЕ ЗОНДОВ ДЛЯ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ МЕТОДОМ ЛОКАЛЬНОГО ИОННО-СТИМУЛИРОВАННОГО ОСАЖДЕНИЯ

А.С. Коломийцев, С.А. Лисицын, О.А. Агеев

*Южный федеральный университет, Институт нанотехнологий, электроники
и приборостроения, ул. Шевченко 2, 347900 Таганрог, Ростовская обл., Россия,
askolomiytsev@sfedu.ru, lisitsyn.s.a@gmail.com, ageev@sfedu.ru*

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по формированию острия зондов для атомно-силовой микроскопии методом локального ионно-стимулированного осаждения. Изготовлены экспериментальные образцы зондов с радиусом закругления острия 50 нм и аспектным соотношением 30:1. Показано, что применение таких зондов позволяет минимизировать артефакты исследования, повысить точность измерения рельефа поверхности. Установлено, что модифицированные методом ионно-стимулированного осаждения зонды обладают повышенной долговечностью в сравнении со стандартными кантилеверами. Показана перспективность метода ФИП при формировании острия зондов для атомно-силовой микроскопии.

Введение

В настоящее время одним из наиболее перспективных методов диагностики поверхности материалов с нанометровым пространственным разрешением является метод атомно-силовой микроскопии (АСМ). Различные методики АСМ позволяют получить информацию о рельефе поверхности, ее механических, электрических параметрах при различных условиях. Качество результатов исследований с использованием АСМ во многом определяется формой и параметрами используемого зонда. Зонды, как правило, изготавливаются с использованием технологических процессов традиционной микроэлектроники, что существенно ограничивает параметры острия и приводит к возникновению артефактов при исследованиях. Таким образом, важной задачей является минимизация артефактов АСМ-изображений, что может быть достигнуто за счет разработки новых методов создания зондов с улучшенными параметрами острия [1].

Одним из наиболее перспективных методов формирования наноразмерных структур с высокой точностью и разрешающей способностью является метод фокусированных ионных пучков (ФИП) [2,3]. Метод ФИП позволяет в условиях высокого вакуума производить технологические операции локального ионно-лучевого травления и ионно-стимулированного осаждения материалов из газовой фазы без необходимости применения резистов, масок и химических травителей. При подаче в зону воздействия ФИП химически активных газов, происходит диссоциация их молекул, в результате которой один из компонентов газа осаждается на поверхности, а летучие продукты реакции удаляются вакуумной системой [4]. Широкая номенклатура осаждаемых таким методом материалов, позволяет применять ФИП при формировании наноразмерных структур для электроники (квантовых точек, автоэлектронных эмиттеров, точечных контактов) и нанодиагностики (острия зондов, рельефные меры нанометрового диапазона для СЗМ) [2].

Целью данной работы является формирование зондов для атомно-силовой микроскопии с улучшенными геометрическими параметрами

острия методом ионно-стимулированного осаждения и их экспериментальное исследование.

Экспериментальная часть

В настоящей работе экспериментальные исследования по формированию зондов для АСМ проводились с использованием растрового электронного микроскопа Nova NanoLab 600 (FEI Company), оснащенного системой ФИП. Анализ результатов экспериментальных исследований производился методами сканирующей зондовой микроскопии с использованием сканирующего зондового микроскопа Ntegra Vita (ЗАО «НТ-МДТ», Россия).

В работе в качестве подложки для проведения ионно-стимулированного осаждения использовался чип коммерческого АСМ-кантилевера NSG-11 (ЗАО «НТ-МДТ»), острие которого было сломано после интенсивного использования. На начальном этапе экспериментальных исследований в программе управления Nova NanoLab 600 формировался растровый графический шаблон для проведения ионно-стимулированного осаждения, представляющий собой потоковый файл формата ASCII, представляющий собой ряд концентрических окружностей диаметром от 100 до 10 нм. Ионно-стимулированное осаждение острия зонда производилось при следующих значениях параметров ФИП: время воздействия пучка в точке - 100 мкс, ток ФИП - 10 пА, ускоряющее напряжение пучка 30 кВ. Количество проходов ФИП по шаблону выбиралось фиксированным, равным 2500. В ходе проведения процесса вакуум в рабочей камере поддерживался на уровне $1 \cdot 10^{-5}$ Па. Контроль процесса формирования острия зонда осуществлялся методом РЭМ (рис. 1).

Таким образом, был сформирован зонд высотой около 7 мкм, радиусом закругления острия около 50 нм и аспектным соотношением 30:1. После проведения ионно-стимулированного осаждения зонд со сформированным острием устанавливался в микроскоп Ntegra Vita для проведения исследований.

В качестве объекта исследований была использована стандартная калибровочная решетка

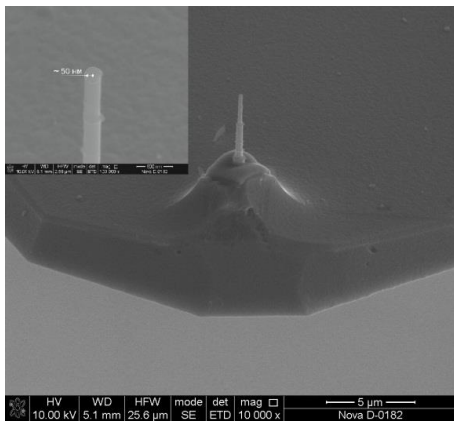


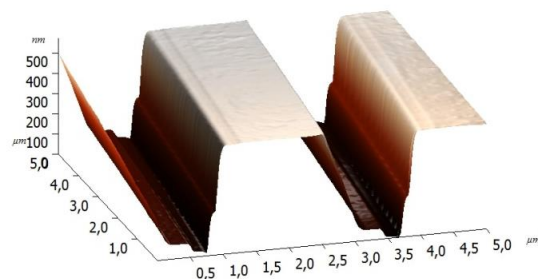
Рис. 1. РЭМ-изображение кантилевера NSG-11 с острием, сформированным методом ионно-стимулированного осаждения углерода

TGZ-3. Сначала профиль TGZ-3 исследовался в полуконтактном режиме с использованием стандартного АСМ-кантилевера (рис. 2а), а затем с использованием кантилевера модифицированного методом ФИП (рис. 2б).

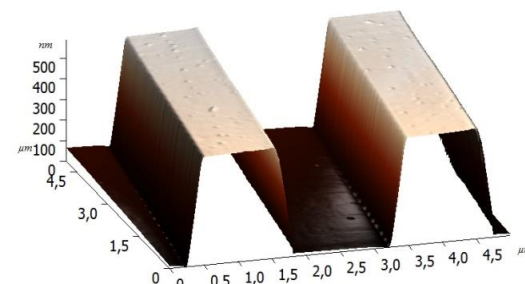
Анализ результатов показывает, что применение модифицированного зонда позволило улучшить точность исследования профиля тестового объекта. Так паспортные значения ширины выступов TGZ-3 составляют 1.5 ± 0.01 мкм, измеренные стандартным зондом – 2.3 ± 0.2 мкм, модифицированным зондом – 1.5 ± 0.07 мкм, паспортные значения периода решетки установлены 3.0 ± 0.01 мкм, измеренные стандартным зондом – 2.9 ± 1.7 мкм, модифицированным зондом – 3.0 ± 0.5 мкм.

Заключение

Таким образом, определено, что одним из важнейших параметров зонда АСМ, определяющих точность измерения профиля поверхности является аспектное соотношение острия. Показано, что применение метода ионно-стимулированного осаждения позволяет формировать острия зондов с заданными в широком диапазоне геометрическими параметрами. Экспериментально установлено, что долговечность сформированных зондов составляет около 120 циклов сканирования, тогда как у стандартных зондов – около 80 циклов.



а



б

Рис. 2. АСМ-изображение калибровочной решетки TGZ-3: а – с использованием стандартного зонда АСМ б – с использованием зонда, сформированного методом ионно-стимулированного осаждения

Полученные результаты могут быть использованы для разработки зондов с улучшенными параметрами для различных задач зондовой диагностики поверхности твердых тел.

Работа выполнена в рамках Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (Проект № МК-6163.2016.8).

Список литературы

1. Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике. М.: Техносфера, 2006. 160 с.
2. Лучинин В.В. Нанотехнологии: физика, процессы, диагностика, приборы. М.: Физматлит. 2006. 522 с.
3. Ageev O.A., Kolomiitsev A.S., Konoplev B.G. // Microelectronics reliability. 2015. V. 55. P. 2131–2134.
4. Ageev O.A., Kolomiitsev A.S., Konoplev B.G., Serbu N.I., Smirnov V.A. // Russian Microelectronics. 2012. V. 41. № 1. P. 41–50.

FABRICATION OF PROBES FOR ATOMIC FORCE MICROSCOPY USING FOCUSED ION BEAM-INDUCED DEPOSITION

Alexey Kolomiitsev, Sergey Lisitsyn & Oleg Ageev

Southern Federal University, Institute of Nanotechnologies, Electronics and Electronic Equipment Engineering, 2 Shevchenko str., 347900 Taganrog, Rostov region, Russia,
askolomiitsev@sfedu.ru, lisitsyn.s.a@gmail.com, ageev@sfedu.ru

The paper presents the results of experimental studies on the formation of probes for atomic force microscopy using local ion-induced deposition method. Experimental samples of probes with a tip radius of 50 nm and an aspect ratio of 30:1 are made. It is shown that the use of such probes makes it possible to minimize the artifacts of the investigation, to improve the accuracy of measuring the surface relief. It has been established that the probes modified by ion-stimulated deposition have an increased durability in comparison with standard cantilevers. The prospects of the FIB method for the formation of the probe tips for atomic force microscopy are shown.