

УДК 621.38-022.532

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР МЕДИ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ ТУННЕЛЬНОЙ МИКРОСКОПИИ

¹Смирнов В.А., ¹Ткачук В.В., ¹Полякова В.В., ²Бирюков М.И.

¹ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, e-mail: sva@fep.tti.sfedu.ru;

²ООО «Владикавказский технологический центр "Баспик»,
Владикавказ, e-mail: 2008maks@mail.ru

Сканирующая зондовая микроскопия является одним из основных методов анализа и модификации поверхности подложки, который широко используется в области нанотехнологий, при проведении научных исследований физических и химических свойств объектов с высоким пространственным разрешением. Проведен анализ существующих литографических методов профилирования поверхности подложки. Представлены результаты экспериментальных исследований по разработке методики изготовления зондов для электрохимической сканирующей туннельной микроскопии. Показано, что использование разработанной методики позволяет получать зонды с радиусом закругления менее 50 нм, применение которых позволило проводить осаждение наноразмерных структур меди на поверхности подложки золота методом электрохимической сканирующей туннельной микроскопии. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологических процессов формирования наноразмерных структур, элементов нанoeлектроники и наносистемной техники.

Ключевые слова: нанотехнологии, электрохимическое осаждение, сканирующая туннельная микроскопия, наноразмерные структуры

FORMATION OF COPPER NANOSTRUCTURES BY ELECTROCHEMICAL SCANNING TUNNELING MICROSCOPY

¹Smirnov V.A., ¹Tkachuk V.V., ¹Polyakova V.V., ²Biryukov M.I.

¹Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education
«Southern Federal University», Rostov-on-Don, e-mail: sva@fep.tti.sfedu.ru;

²LLC Vladikavkaz Technological Center «BASPIK», Vladikavkaz, e-mail: 2008maks@mail.ru

Scanning probe microscopy is one of the main methods of analysis and modification of the substrate surface, which is widely used in the field of nanotechnology, the conduct of scientific research on the physical and chemical properties of objects with high spatial resolution. We will drive through the analysis of existing lithographic methods of profiling the substrate surface. Results of experimental researches of a technique development of probes manufacturing for electrochemical scanning tunneling microscopy are presented. It is shown that use of the developed technique allows to receive probes with tip radius less than 50 nm which application has allowed to spend deposition of copper nanostructures on a gold substrate surface by electrochemical scanning tunnel microscopy method. The received results can be used by development of technological processes of nanoelectronics and nanosystems elements structures formation.

Keywords: nanotechnology, electrochemical deposition, scanning probe microscopy, nanostructures

Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) является одним из основных методов анализа и модификации поверхности подложки, который широко используется в области нанотехнологий при проведении научных исследований физических и химических свойств объектов с высоким пространственным разрешением [1, 2, 3, 5]. Анализ существующих литографических методов профилирования поверхности подложки, таких как электронно-лучевая литография, рентгеновская литография и ионная литография, показал, что применение таких методов ограничено из-за сложности и высокой стоимости литографических систем, поэтому для формирования структур нанoeлектроники требуется разработка новых методов модификации поверхности подложки с нанометровым разрешением. Актуальным решением этой

проблемы является разработка процессов профилирования поверхности подложки на основе зондовой нанолитографии методом электрохимической сканирующей туннельной микроскопии (ЭХ СТМ), позволяющей создавать наноразмерные структуры нанoeлектроники и наносистемной техники на поверхности подложки, формировать каталитические центры, проводить исследования процессов электрохимического осаждения и электрохимического растворения различных материалов [4, 6, 7].

В электрохимической сканирующей туннельной микроскопии одним из основных параметров, оказывающих влияние на параметры формируемых наноструктур, является качество зонда, основой которого является покрытие химически стойким диэлектрическим материалом.

Изоляция наносится на всю поверхность зонда, кроме непосредственно самого кончика острия, причем диаметр неизолированной области должен быть минимальным. Такие требования к изготовлению ЭХ СТМ зондов обусловлены спецификой электрохимической СТМ, т.к. процессы осаждения наноразмерных структур проводятся в электрохимической ячейке с четырьмя электродами, одним из которых является зонд с потенциальным контролем при помощи бипотенциостата. Формирование наноструктур происходит из электролита на область подложки, находящейся под неизолированным острием зонда за счет протекания туннельного тока, стимулирующего возникновение электрохимических реакций в системе зонд-подложка. Таким образом, диаметр неизолированной области кончика острия зонда будет определять геометрические размеры формируемых наноразмерных структур.

Целью работы является разработка методики изготовления зондов для ЭХ СТМ и исследование их параметров, а также проведение электрохимического осаждения наноразмерных структур меди на поверхности подложки.

Материалы и методы исследования

Анализ литературных данных показал, что для изготовления ЭХ СТМ зондов широкое распространение получил метод, основанный на нанесении диэлектрического вакуумного воска «Ariezon» с помощью специальной оснастки и нагревателя [1]. На первом этапе заготовку в виде вольфрамовой проволоки затачивают методом электрохимического травления, затем наносят изоляцию по поверхности заготовки, а на завершающем этапе снимают изоляцию с острия зонда. На основе существующей методики была разработана новая методика изготовления ЭХ СТМ зондов, особенность которой состоит в том, что сначала заготовку в виде вольфрамовой проволоки покрывают изолирующим материалом, а затем методом электрохимического травления формируют острие зонда.

После изготовления экспериментальных образцов ЭХ СТМ зондов проводилось исследование их параметров на растровом электронном микроскопе Nova NanoLab 600 (FEI Company, Нидерланды). На рис. 1 представлены РЭМ-изображения ЭХ СТМ зондов, сформированных по существующей и разработанной методике соответственно. Анализ полученных РЭМ-изображений показал, что острие зонда, полученного по существующей методике (рис. 1, а), покрыто частицами изолирующего материала, которые будут негативно влиять на параметры процесса формирования наноразмерных структур методом ЭХ СТМ. Тогда как острие зонда, полученного по разработанной методике, имеет радиус закругления острия около 56 нм без наличия частиц изоляционного материала на его рабочей поверхности (рис. 1, б).

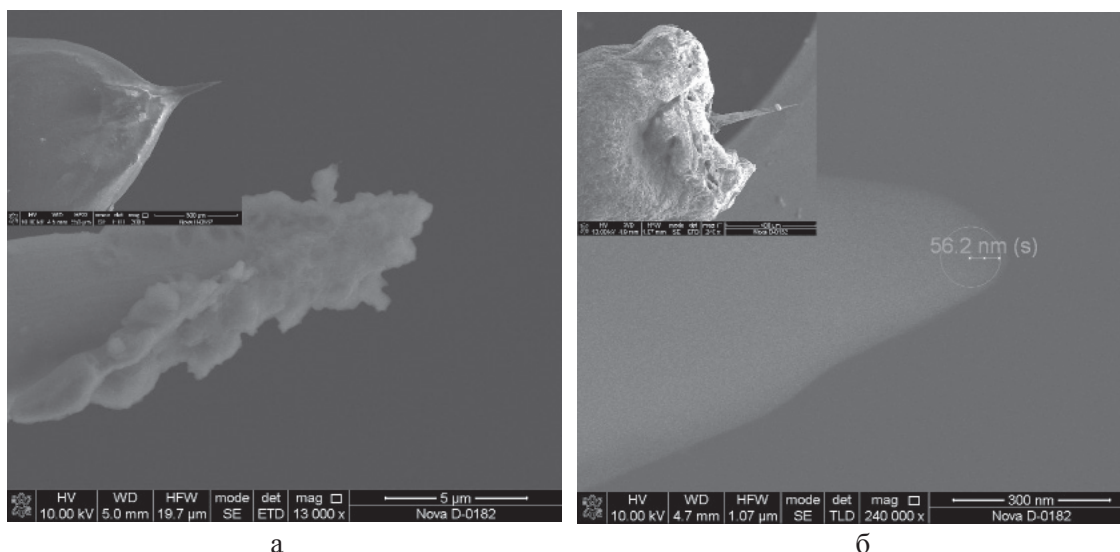


Рис. 1. РЭМ-изображение ЭХ СТМ зондов, полученных:
а – по существующей методике; б – по разработанной методике

Результаты исследования и их обсуждение

С использованием зондов, изготовленных по разработанной методике, проводилось электрохимическое осаждение наноразмерных структур меди в режиме ЭХ СТМ с использованием зондовой нанолaborатории Ntegra (НТ-МДТ, Россия) на поверхности подложки Au (111) в растворе электролита 50 мМ H_2SO_4 + 1 мМ $CuSO_4$. Сначала по

вольтамперограмме, построенной методом циклической вольтамперометрии (рис. 2), проводились операции по определению режимов осаждения меди, настройке бипотенциостата, контролю чистоты электрохимической ячейки и состояния поверхности рабочего электрода. После определения и установки оптимальных параметров проводилось электрохимическое осаждение наноразмерных структур меди, результаты которого представлены на рис. 3.

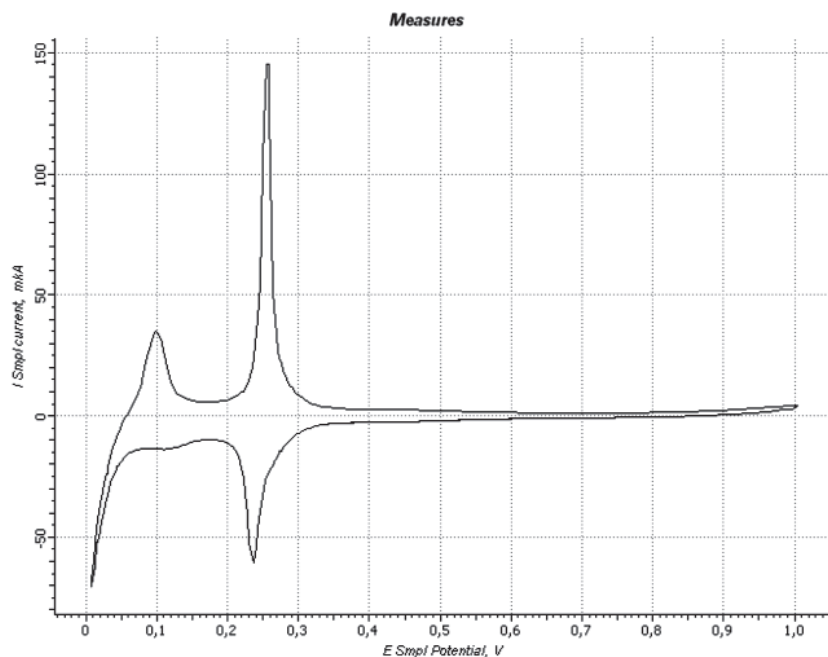


Рис. 2. Вольтамперограмма процесса ЭХ СТМ

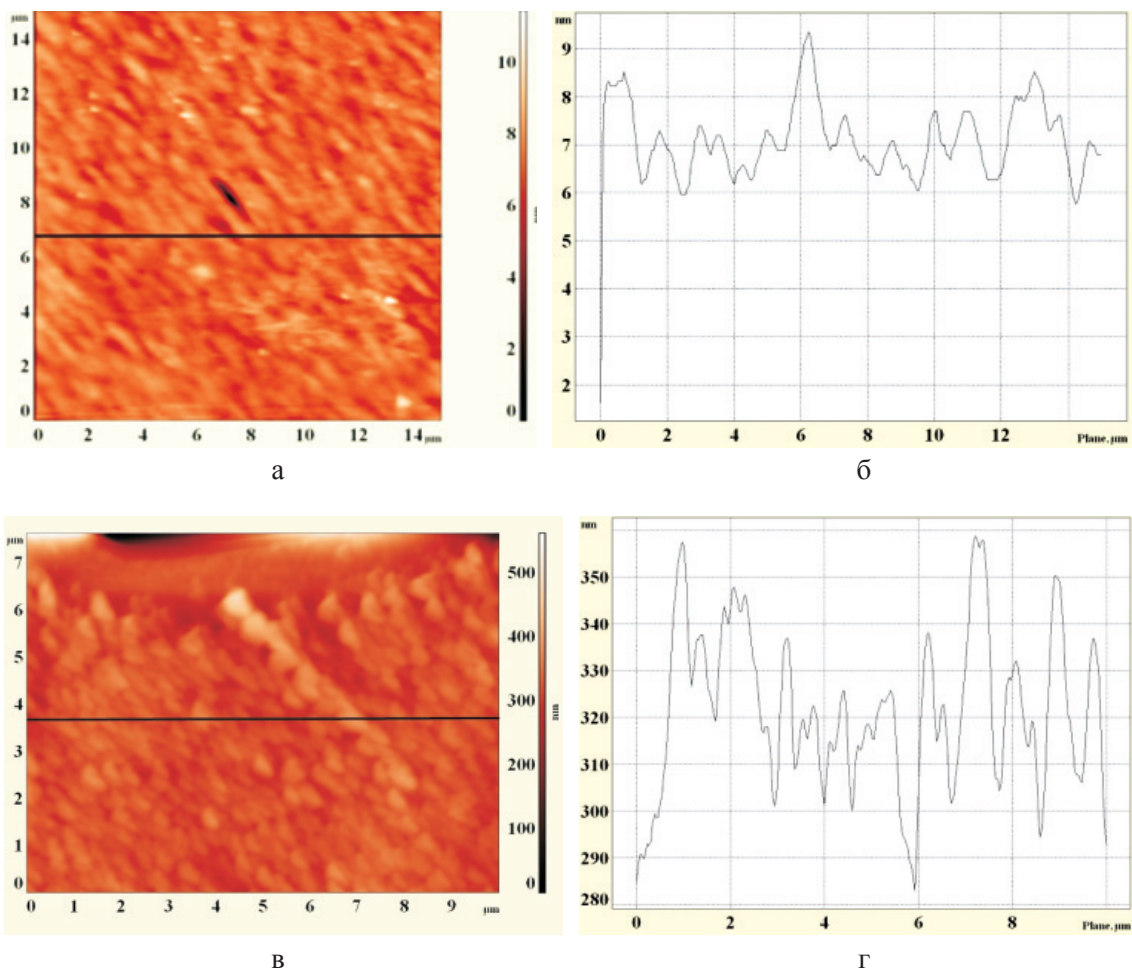


Рис. 3. СТМ-изображение поверхности подложки золота и профилограммы вдоль линии:
а, б – до ЭХО; в, г – после ЭХО

Анализ полученных СТМ-изображений (см. рис. 3) показал, что на поверхности подложки золота были сформированы наноразмерные структуры меди шириной около 122 нм и высотой около 315 нм.

Заключение

В результате работы разработана методика изготовления зондов для электрохимической сканирующей туннельной микроскопии. Изготовлены экспериментальные образцы ЭХ СТМ-зондов. Показано, что разработанная методика позволяет формировать зонды с радиусом закругления острия менее 50 нм. Показана перспективность применения полученных зондов при исследовании процессов формирования наноразмерных структур меди на поверхности золотой подложки методом электрохимической сканирующей туннельной микроскопии. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологических процессов формирования наноразмерных структур, элементов нанoeлектроники и наносистемной техники.

Работа выполнена при поддержке государственных соглашений № 12-08-90045/12, № 14.A18.21.0126, № 14.A18.21.0923, № 14.A18.21.0933, № 14.A18.21.0900, № 14.A18.21.0887, № 14.A18.21.1206 в рамках проектов РФФИ и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Список литературы

1. Зондовая фотонно-стимулированная нанолитография структур на основе пленки титана / О.А. Агеев, Б.Г. Коноплев, В.А. Смирнов и др. // Микроэлектроника. – 2007. – Т. 36. – № 6. – С. 403–408.
2. Получение наноразмерных структур на основе нанотехнологического комплекса НАНОФАБ НТК-9 / О.А. Агеев, А.С. Коломийцев, В.А. Смирнов и др. // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2011. – Т. 114. – № 1. – С. 109–116.
3. Фотоактивация процессов формирования наноструктур методом локального анодного окисления пленки

титана / О.А. Агеев, Б.Г. Коноплев, В.А. Смирнов и др. // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2010. – № 2 (82). – С. 23–30.

4. Асеев А.Л. Нанотехнологии в полупроводниковой электронике. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 368 с.

5. Коноплев Б.Г., Агеев О.А. Элионные и зондовые нанотехнологии для микро- и наносистемной техники // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2008. – Т. 89. – № 12. – С. 165–175.

6. Dawn A.B. Scanning probe microscopy and spectroscopy: theory, techniques, and applications / 2 nd ed. Wiley-Vich, 2001. – 493 p.

7. Said R.A. Microfabrication by localized electrochemical deposition: experimental investigation and theoretical modeling // Nanotechnology. – 2003. Vol. 14. – P. 523–531

References

1. Ageev O.A., Konoplev B.G., Smirnov V.A. i dr. Zondovaya fotonno-stimulirovannaya nanolitografiya struktur na osnove plenki titana // Mikroelektronika. 2007. T. 36. no. 6. pp. 403–408.

2. Ageev O.A., Kolomiytcev A.S., Smirnov V.A. i dr. Poluchenie nanorazmernykh struktur na osnove nanotechnologicheskogo kompleksa NANOFAB NTK-9 // Izvestiya UFU. Technicheskie nauki. 2011. T. 114. no. 1. pp. 109–116.

3. Ageev O.A., Konoplev B.G., Smirnov V.A. i dr. Fotoaktivaciya processov formirovaniya nanostruktur metodom lokalnogo anodnogo okisleniya plenki titana // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Elektronika, 2010. no. 2 (82). pp. 23–30.

4. Aseev A.L. Nanotechnologii v poluprovodnikovoy elektronike / Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2004. 368 p.

5. Konoplev B.G., Ageev O.A. Eliionnae i zondovye nanotechnologii dly micro- i nanosistemnoy tehniki // Izvestiya UFU. Technicheskie nauki. 2008. T. 89. no. 12. pp. 165–175.

6. Dawn A.B. Scanning probe microscopy and spectroscopy: theory, techniques, and applications / 2 nd ed. Wiley-Vich, 2001. 493 p.

7. Said R.A. Microfabrication by localized electrochemical deposition: experimental investigation and theoretical modeling // Nanotechnology. 2003. Vol. 14. pp. 523–531.

Рецензенты:

Рындин Е.А., д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник ЮНЦ РАН;

Жорник А.И., д.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической, общей физики и технологии ФГБОУ ВПО ТГПИ.

Работа поступила в редакцию 26.10.2012.