

## Формирование низко-размерных проводящих каналов с помощью технологии перьевой нанолитографии

А.В. Лукьяненко<sup>1,2</sup>, Т.Е. Смолярова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *ИФ СО РАН, 660036, Красноярск, Россия*  
lav@iph.krasn.ru

<sup>2</sup> *Сибирский федеральный университет, 660041, Красноярск, Россия*

Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) занимает важное место в современной нанотехнологии. СЗМ может быть использована не только для анализа и характеристики поверхности, но и для её модификации посредством зондовой литографии. Одним из методов зондовой литографии является «перьевая нанолитография». Перьевая нанолитография является мощным инструментом на основе атомно-силового микроскопа. Она обеспечивает идеальный «конструктивный» литографический инструмент с прямой записью, который позволяет наносить материалы с помощью зонда СЗМ на поверхность с высокой точностью. Стабильная технология, позволяющая воспроизводить объекты с высокой точностью может найти применение в ряде областей, от полупроводниковой промышленности до медицины и биотехнологии. В работе рассматривается изготовление низко-размерных проводящих каналов с помощью технологии нанолитографии и жидкостного химического травления.

## Fabrication of low-dimensional conducting channels by Dip-Pen Nanolithography

A.V. Lukyanenko<sup>1,2</sup>, T.E. Smolyarova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Kirensky Institute of Physics, 660036, city, Krasnoyarsk, Russia*  
lav@iph.krasn.ru

<sup>2</sup> *Siberian federal university, 660041, Krasnoyarsk, Russia*

Scanning probe microscopy (SPM) occupies an important place in modern nanotechnology. SPM can be used not only for analysis and surface characteristics, but also for its modification through probe lithography. One of the methods of probe lithography is "Dip-Pen nanolithography." Dip-Pen nanolithography is a powerful tool based on an atomic force microscope. It provides an ideal "constructive" lithographic tool with direct recording, which allows you to apply materials with the help of the SPM probe to the surface with high accuracy. A stable technology that allows reproducing objects with high accuracy can find application in a number of areas, from the semiconductor industry to medicine and biotechnology. The paper deals with the fabrication of low-dimensional conducting channels by means of nanolithography and liquid chemical etching.

Метод перьевой нанолитографии (DPN) использует в качестве пишущего элемента зонд атомно силового микроскопа, покрытого «чернилами», в качестве которых используется полимер МНА-Acetonitrile. Кроме того, используя метод DPN, возможно работать с широким разнообразием «чернил», таких как ДНК, полимеры, белки и может создавать шаблоны на ряде различных материалов (золото, кремний, металл, стекло). Таким образом, используя технологию перьевой нанолитографии, возможно создавать наноструктуры различной геометрии.

В настоящее время ведутся интенсивные исследования по созданию высокочувствительных биохимических сенсоров на основе наноразмерных каналов (нанопроводов) [1]. Для нужд клинической медицины, для ранней диагностики заболеваний существует необходимость регистрировать белковые биомаркеры с очень низким уровнем концентрации в биологической жидкости пациентов. Решение этой задачи кроется в использовании биосенсоров, позволяющих проводить регистрацию макромолекул в режиме реального времени. Именно с этим связаны активные разработки

нанопроволочных биосенсоров. Биосенсор дает возможность улавливать различные типы изменений, такие как высвобождение тепла, свет, изменения pH или массы, поток электронов или образование новых химических веществ. Благодаря использованию биосенсоров снижается риск ошибок при постановке диагноза.

Ввиду их небольших размеров и простоты эксплуатации, а так же высокой чувствительности, диагностика, например, раковых заболеваний на ранней стадии, приобретает более удобный и эффективный характер. В настоящее время, для анализа биомолекул, кремниевые нанопровода, выполненные в виде полевых транзисторов, представляются одним из наиболее перспективных и мощных инструментов. Кремниевые нанопроволоки это квазиодномерные (1D) структуры с диаметром менее чем 100 нм. Небольшие размеры проволок дают возможность их широкого использования в электронных устройствах [2]

Метод перьевой нанолитографии позволяет создавать низко-размерные токопроводящие каналы различной ширины. Изменяя скорость движения зонда по поверхности подложки, можно с высокой точностью задавать размеры шаблонов. Таким образом, для создания нанопроводов была выбрана структура Au/Fe/Si/SiO<sub>2</sub>/Si(111). Пленки Au, Fe и Si были получены методом термического испарения в сверхвысоком вакууме на атомарно чистой подложке SiO<sub>2</sub>/Si(111) [3]. Эксперимент проводился с использованием заостренного SiN зонда, с покрытием наконечника полимером ODT-Acetonitrile.

После подготовки шаблона и проведения процедуры DPN подложка с полученным МНА-узором обрабатывалась в 1:1:1:1 (v/v/v/v) водном растворе 0.1M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1.0M KOH, 0.01M K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>, и 0.001M K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> в течение ~ 18 минут для травления Au и в 5% водном растворе HCl для травления Fe [4].

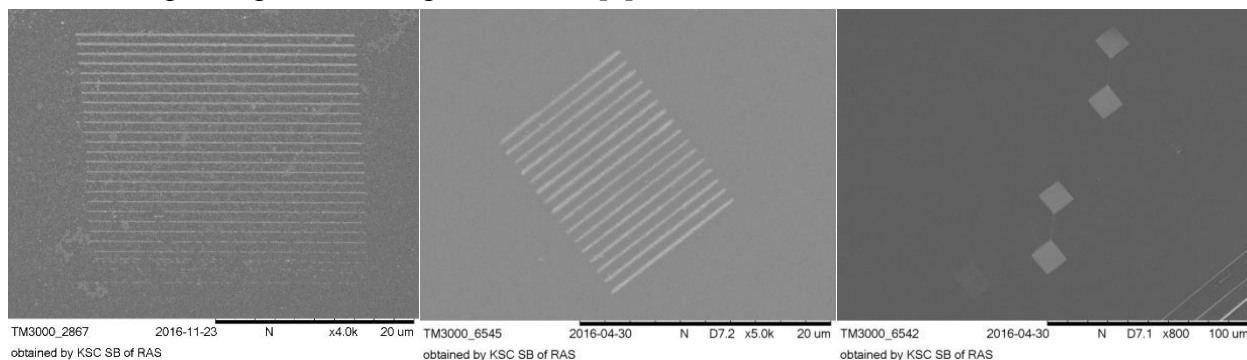


Рисунок 1. СЭМ изображения линий различной ширины, полученные с помощью технологии нанолитографии и жидкостного химического травления.

С точки зрения применения, электронные устройства на основе кремниевых нанопроводов являются естественным развитием МДП полупроводникового транзистора. Из материалов, используемых в изготовлении сенсоров, кремний занимает особое положение ввиду его превосходных полупроводниковых, механических и оптических свойств, а также хорошо налаженной технологией изготовления структур на его основе.

1. F. Patolsky, G. Zheng, Ch.M. Lieber, *Anal. Chem.* **78**, 4261 (2006).
2. T. Mikolajick, A. Heinzig, J. Trommer, S. Pregl, M. Grube, G. Cuniberti, W.M. Weber, *Phys. Status Solidi Rapid Res. Lett.* **7**, 793–799 (2013)
3. С.Н. Варнаков, А.А. Лепешев, С.Г. Овчинников, А.С. Паршин, М.М. Коршунов, *ИТЭ* **6**, 126 (2004).
4. D.H. Kim, E.A. Rozhkova, I.V. Ulasov, S.D. Bader, M.S. Lesniak, *Nature Materials* **10**, 165 (2010).
5. D. Liu, Kangxin Mo, Xidong Ding, Liangbing Zhao, Guocong Lin, Yueli Zhang, Dihu Chen, *Applied Physics Letters* **107**, 103 (2015).