

Формирование наноструктур для применения в биомедицине методом перьевой нанолитографии

Т.Е. Смолярова^{1,2}, А.В. Лукьяненко^{1,2}

¹*Сибирский федеральный университет, 660041, Красноярск, Россия
smol.nano@yandex.ru*

²*ИФ СО РАН, 660036, Красноярск, Россия*

Сканирующая зондовая микроскопия может быть использована не только для анализа и характеристики поверхности, но и для её модификации зондовой литографией. Перьевая нанолитография (Dip Pen Nanolithography – DPN), основанная на переносе молекул с зонда на подложку диффузией частиц через мениск воды, соединяющей зонд и подложку, может быть использована для получения любой низкоразмерной структуры.

Fabrication of nanostructures applied in biomedicine by Dip-Pen Nanolithography

T.E. Smolyarova^{1,2}, A.V. Lukyanenko^{1,2}

¹*Siberian federal university, 660041, Krasnoyarsk, Russia*

²*Kirensky Institute of Physics, 660036, Krasnoyarsk, Russia*

Scanning probe microscopy (SPM) usually used for surface analysis and characteristic can be used also for surface modification by SPM lithography. Dip-Pen Nanolithography based on transport of molecules from the tip to the surface by diffusion through water meniscus connecting tip and surface can be used for creation of almost any low-dimensional structure.

Метод перьевой нанолитографии (DPN) использует в качестве пишущего элемента зонд атомно силового микроскопа (АСМ), покрытого “чернилами” - полимером МНА-Acetonitrile. В качестве чернил можно использовать ДНК, полимеры и белки и создавать шаблоны на ряде различных материалов (золото, кремний, металл, стекло) и структуры нанометрового разрешения для электроники, фотоники и биомедицины.

В настоящее время большое внимание уделяется биосовместимым магнитным частицам, которые применяются в медицине для удаления злокачественных опухолей. С помощью DPN возможно получать массивы точек (нанодисков) различного диаметра. В переменном магнитном поле происходит смещение вихря магнитных сил внутри диска, создавая колебания, передающие механическую силу в клетку опухоли, разрушающие мембрану и приводящие к гибели клетки [1].

Эксперимент проводился с использованием заостренного Si зонда, с покрытием наконечника МНА-Acetonitrile, подготовленного погружением кончика зонда в раствор и сушкой сжатым N₂. При проведении эксперимента с помощью камеры контроля искусственного климата поддерживалась температура 26-28°C и влажность RH = 36-40%.

В качестве образца для получения структурированного массива дисков, была выбрана гетероструктура Si(111)/Fe₃Si/Au. Пленки Fe₃Si толщиной 16 нм и Au толщиной 18 нм были нанесены термическим испарением в сверхвысоком вакууме [2,3]. 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 Na₂S₂O₃, 1.0M KOH, 0.01M K₃Fe(CN)₆, и 0.001M K₄Fe(CN)₆ [4] в течение 22 минут при постоянном помешивании, чтобы полностью удалить Au из областей, не покрытых МНА. Затем образец обрабатывался в 5% растворе HNO₃ в течение 8 минут для травления Fe₃Si. В результате был получен структурированный массив Fe₃Si/Au дисков на Si(111) подложке. После промывки в ацетоне (CH₃—C(O)—CH₃), воде (H₂O) и сушки с азотом (N₂), образец был исследован на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) TM3000.

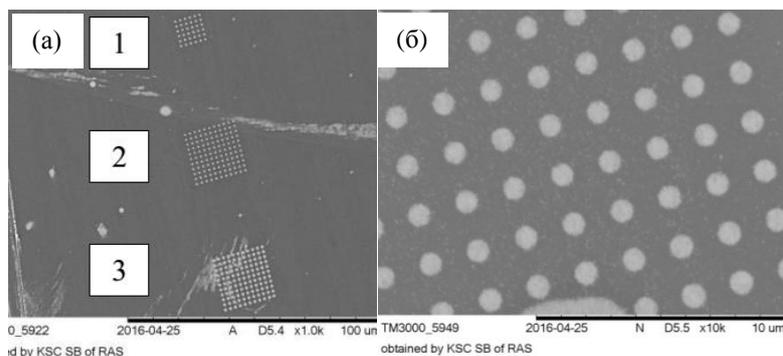


Рисунок 1. СЭМ изображения структуры Au/Fe₃Si/Si(111).

На Рисунке 1(а) показаны структурированные массивы дисков с различным временем выдержки зонда: 1 – 8 с, 2 – 9 с, 3 – 10 с. На Рисунке 1(б) изображены диски радиусом 500 нм и расстоянием между центрами дисков 2000 нм.

В режиме магнитной силовой микроскопии (МСМ) была исследована топография поверхности и распределение магнитных сил (рис. 2).

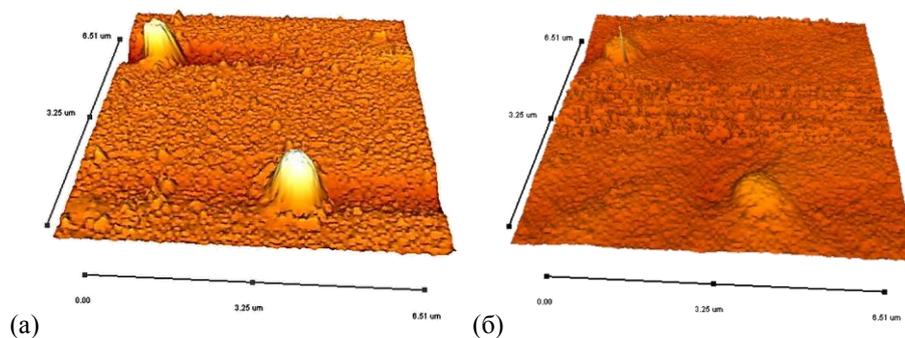


Рисунок 2. МСМ изображения структуры Au/Fe₃Si/Si(111): (а) топография поверхности, (б) фазовое распределение сил.

Светлые точки на дисках, подтверждают наличие магнитного вихревого состояния. Профиль поверхности фазового распределения магнитных сил с исследованием магнитных вихрей представлен на Рисунке 3. Результаты обработаны в программе Pacific Nanotechnology.

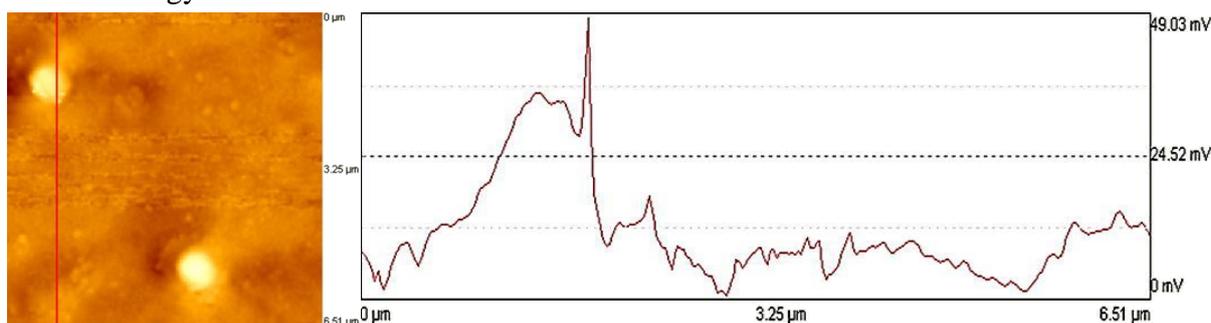


Рисунок 3. Профиль фазового распределения магнитных сил структуры Au/Fe₃Si/Si(111).

Таким образом, с помощью DPN можно получать магнитные нанодиски для терапии злокачественных опухолей.

1. D.H. Kim, E.A. Rozhkova, I.V. Ulasov, S. D. Bader¹, M.S. Lesniak, *Nature Materials* **10**, 165 (2010).
2. С.Н. Варнаков, А.А. Лепешев, С.Г. Овчинников, А.С. Паршин, М.М. Коршунов, *ИТЭ* **6**, 126 (2004).
3. J.C. Hulteen, R.P. Van Duyne, *Vac. Sci. J. Technol* **13(1)**, 155 (1995).
4. D. Liu, K. Mo, X. Ding, L. Zhao, G. Lin, Y. Zhang, D. Chen, *Applied Physics Letters* **107**, 103 (2015).