

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НАНОСФЕРНОЙ ЛИТОГРАФИИ НА РАЗМЕРЫ ОСТРОВКОВЫХ НАНОСТРУКТУР

### STUDY OF THE INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE NANOSPHERIC LITHOGRAPHY PROCESS ON ISLAND NANOSTRUCTURES SIZES

М.А.Швырева / marinasoshina1@gmail.com, О.Г.Андреасян / ovs.andreasyan@gmail.com

**M.A.Shvyreva, O.G.Andreasyan**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г.Москва

*Статья раскрывает актуальность регулярных массивов островковых тонких пленок. Построена математическая модель зависимости высоты металлических островков от диаметра наносфер и толщины покрытия. Проведено исследование влияния мощности источника ионов и времени на толщину металлизации для последующего формирования островков.*

*The article reveals the relevance of regular arrays of island thin films. A mathematical model of the dependence of the height of metal islands on the diameter of the nanospheres and the thickness of the coating is constructed. The study of the influence of the ion source power and time on the metallization thickness for the subsequent formation of islands is carried out.*

Ключевые слова: *тонкая плёнка, наноструктура, массив островков, островковая наноструктура, наносферы, наносферная литография, математическая модель.*

Keywords: *thin film, nanostructure, array of islands, islet nanostructure, nanospheres, nanosphere lithography, mathematical model.*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Островковые наноструктуры (ОНС) или островковые тонкие плёнки (ОТП) – это пленки, формирование которых завершили на этапе образования островков. Интерес к себе они вызывают из-за особенных свойств, связанных с нано-размерностью этих структур как минимум в одном из трёх направлений. Ярким представителем таких эффектов является размерное квантование энергетических уровней электрона, находящегося внутри островка [1].

Использование квантовых свойств островковых наноструктур размером 2-10 нм (квантовых точек) позволяет улучшить характеристики различных устройств (например, транзистор – МОП-транзистор на квантовых точках; или конденсатор – тонкоплёночный конденсатор с дополнительным проводящим островковым слоем на обкладках). Использование особенных свойств наноструктур позволяет не только улучшить параметры названных устройств, но и добавить качественно новые свойства [2,3]. Например, использование ОТП в транзисторах повышает их быстродействие за счет туннельного тока, а квантование энергетического спектра электрона внутри островков позволяет уменьшить электрические потери. Нанесение дополнительного островкового слоя на обкладки тонкоплёночного конденсатора влечёт 5-кратное увеличение ёмкости, а также прирост в быстродействии и эффективности.

Для получения качественной топологии покрытия ОНС необходимо выбрать и смоделировать способ формирования регулярного массива ОТП.

Как наиболее приемлемый способ изготовления регулярного массива является метод наносферной литографии, который позволяет создавать монодисперсные, непокрытые наночастицы в геометрических массивах поверхности подложки практически любых размеров. Помимо этого, наносферная литография имеет широкий выбор материалов, а также позволяет наносить несколько слоев наночастиц.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИАМЕТРА НАНОСФЕР И ТОЛЩИНЫ МЕТАЛЛИЗАЦИИ НА ВЫСОТУ ОСТРОВКОВ

Однослойные периодические массивы частиц образуются путем самосборки полимерных наносфер в плотноупакованный монослой, который действует как маска для осаждения материала (рис. 1, поз. а).

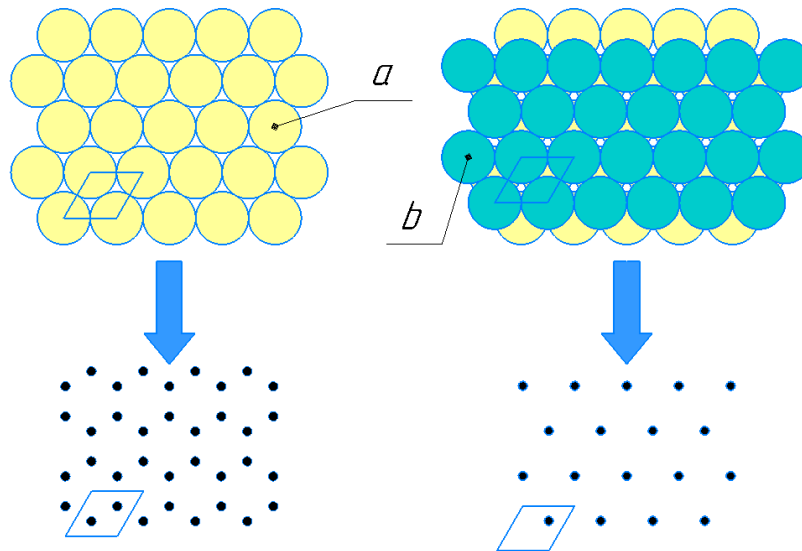


Рис. 1. Принципиальные схемы однослойных и двухслойных наносферных масок и соответствующих периодических массивов частиц поверхностей.

Двухслойные наносферные маски формируются путем самосборки более концентрированных растворов полимерных наносфер с образованием 2D структур. В данном случае наносферы второго плотноупакованного слоя лежат в углублениях первого слоя (рис. 1, поз. б). Формирование этой плотноупакованной структуры происходит посредством одностадийного процесса, а не последовательного осаждения двух наносферных монослоев [4].

Проведение моделирования выбранного технологического процесса необходимо для того, чтобы определить какие из входных факторов наиболее существенно влияют на выходной параметр, а какие оказывают наименьшее воздействие на выходной параметр. Поэтому, исходя из полученных результатов, мы сможем выбрать требуемые режимы процесса нанесения островков алюминия магнетронным методом.

Моделирование проводилось на основе данных, приведённых в работе [4].

Итак, полученная математическая модель для монослоя имеет вид:

$$y = 27,25 + 11,25X_1 - 1,75X_1X_2,$$

где  $X_1$ ,  $X_2$  – диаметр наносфер и толщина покрытия в безразмерных единицах, соответственно;

$y$  – высота островка, нм.

Исходя из полученной модели, можно сделать вывод, что на высоту островка наибольшее влияние оказывает диаметр наносфер. Влияние толщины покрытия не значительно.

Математическая модель, полученная для двойного слоя, имеет вид:

$$y = 35,5 + 17,5X_1 + 3X_2 + 3X_1X_2.$$

Исходя из полученной модели, можно сделать вывод, что на высоту островка наибольшее влияние оказывает диаметр наносфер. Влияние толщины покрытия меньше влияния диаметра примерно в 6 раз.

Следует отметить, что при получении двухслойной маски наносфер фактор толщины покрытия оказывает значительное влияние на высоту островка, в то время как в

монослое влияние одной лишь толщины – не существенно. Варьирование обоих параметров (и диаметра, и толщины покрытия) оказывает меньшую значимость для высоты островка в обоих случаях.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОЩНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА И ВРЕМЕНИ НАНЕСЕНИЯ НА ТОЛЩИНУ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ФОРМИРОВАНИЯ ОСТРОВКОВ**

Проведение моделирования выбранного технологического процесса необходимо для того, чтобы определить какие из входных факторов наиболее существенно влияют на выходной параметр, а какие оказывают наименьшее воздействие на выходной параметр. Поэтому, исходя из полученных результатов, появляется возможность выбрать оптимальные режимы процесса нанесения островков алюминия магнетронным методом.

Для исследования влияния технологических режимов на топологию ОТП был проведен эксперимент по нанесению алюминия на кремневую подложку с помощью магнетронного модуля на установке ВУП-11М (таблица 1). Толщину полученных покрытий исследовали на микроскопе МИИ-4 (рис. 2). Входные параметры – время (от 15 до 20 мин) и мощность (от 100 до 300 Вт). Выходной параметр – толщина получаемой тонкой пленки.

Таблица 1.

Режимы и результаты измерений

Номер образца	Мощность, Вт	Время, с	Толщина, нм
1	100	15	98
2	100	20	160
3	300	15	303
4	300	20	533

Выбор интервала мощностей обусловлен возможностями установки, а временной промежуток подобран на основе проведенных ранее экспериментов.

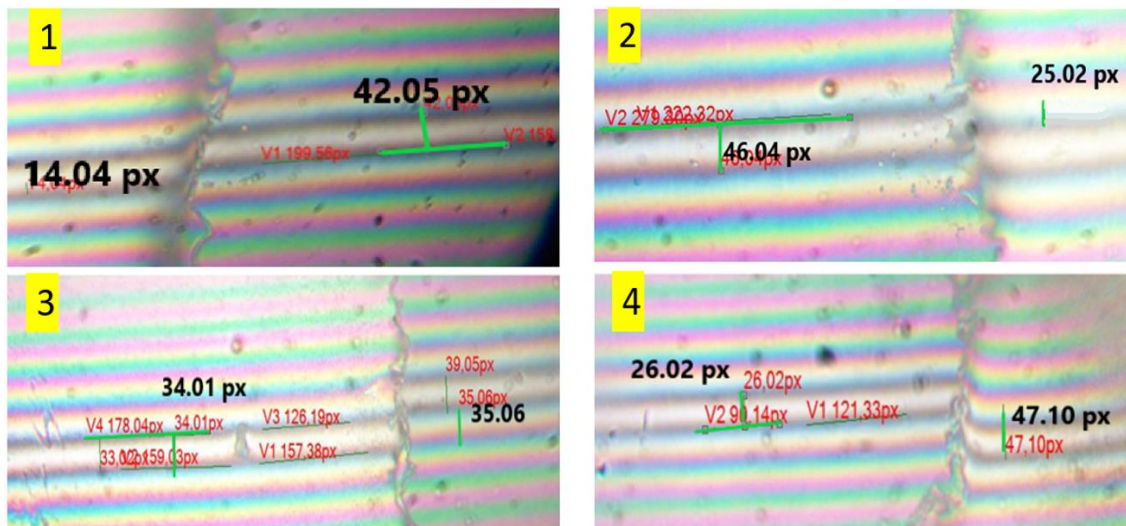


Рис. 2. Полученные сканы экспериментальных образцов на МИИ-4.

Итак, полученная математическая модель имеет вид:

$$y = 294,4 + 37,25X_1 + 125,75X_2,$$

где  $X_1$  и  $X_2$  - время и мощность источника в безразмерных единицах, соответственно;  $y$  – толщина плёнки, нм.

Полученная математическая модель показала, что мощность более значима, чем время при варьировании в выбранных интервалах. Варьирование обоих параметров не оказывает влияние на толщину покрытия. Сравнение дисперсии адекватности и дисперсии воспроизводимости показало, что полученная математическая модель адекватно описывает процесс нанесения тонкопленочных алюминиевых структур.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В работе представлена актуальность применения регулярного массива ОНС. Разработаны математические модели, описывающие зависимость высоты металлических островков от диаметра наносфер и толщины покрытия для монослоя и двойного слоя наносфер. Фактор толщины металлизации оказывает существенное влияние при формировании массива ОНС с помощью двуслойной маски наносфер. По этой причине является актуальным отработка режимов формирования слоя металлизации на существующем оборудовании.

Проведена отработка режимов нанесения алюминия на кремневую подложку с помощью магнетронного модуля с целью исследования их влияния на топологию ОНС. На основе экспериментальных данных построена зависимость толщины металлизации от мощности источника ионов и времени нанесения. Оба фактора оказывают существенное влияние на выходной параметр – толщину покрытия. С помощью математической модели возможно подобрать режимы формирования покрытия требуемой толщины.

В дальнейшем разработанные зависимости предполагается использовать для выбора режимов процесса нанесения для создания тонких плёнок регулярных массивов островков.

## **ЛИТЕРАТУРА**

Андреасян О.Г. Туннелирование в островковых тонких плёнках: разработка модели. [Электронный ресурс] // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии»: материалы конференции, 8 – 12 апреля, 2019, Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2019.– № гос. регистрации 0321900970. – URL: [studvesna.ru?go=articles&id=2669](http://studvesna.ru?go=articles&id=2669) (дата обращения: 08.12.2019).

Турцевич А.С., Ануфриев Л.П., Наливайко О.Ю., Лесникова В.П. Пленки поликристаллического кремния с полусферическими зёрнами // Доклады БГУИР. 2005. №1 (9). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/plenki-polikristallicheskogo-kremniya-s-polusfericheskimi-zernami> (дата обращения: 08.12.2019).

Сидорова С.В. Расчёт технологических режимов и выбор параметров оборудования для формирования островковых тонких плёнок в вакууме: автореферат дисс. ... канд. техн. наук. М: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016.

Song, Yujun. «Controlled Fabrication of Noble Metal Nanomaterials via Nanosphere Lithography and Their Optical Properties.», 2011, 509-513.