

## АПРОБАЦИЯ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ОСТРОВКОВЫХ ТОНКИХ ПЛЁНОК

## APPROBATION OF THE MODEL OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF ISLAND THIN FILMS

О.Г.Андреасян / ovs.andreasyan@gmail.com,  
С.В.Сидорова / sidorova@bmstu.ru

**O.G.Andreasyan, S.V.Sidorova**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г.Москва

*Статья раскрывает актуальность островковых тонких пленок. Разработана программа, которая позволяет рассчитать расстояние между островками в определенный момент времени. Построена новая модель туннелирования в островковых тонких пленках. Проведена апробация модели, которая показала совпадение теоретических и экспериментальных данных.*

*The article reveals the relevance of islet thin films. A program has been developed that allows you to calculate the distance between the islands at a certain point in time. A new model of tunneling in island thin films is constructed. The approbation of the model is carried out, which shows the concurrence of theoretical and experimental data.*

Ключевые слова: тонкая плёнка, наноструктура, островковая тонкая плёнка, островковая наноструктура, электрическая проводимость, туннельный эффект, модель, визуализация, программа.

Keywords: thin film, nanostructure, islet thin film, islet nanostructure, electrical conductivity, tunneling effect, model, visualization, program.

### ВВЕДЕНИЕ

Островковые тонкие пленки (ОТП) и наноструктуры (ОНС) привлекают к себе внимание как исследователей, так и разработчиков приборов и устройств различного назначения. Малые размеры ОНС позволяют интегрировать их в устройства микро- и нанoeлектроники, использовать в качестве сенсоров, проводников и т.д., повышая функциональные и эксплуатационные характеристики устройств. Свойства ОТП существенно зависят от метода формирования, температуры подложки, энергии осаждаемых частиц и других параметров процесса.

Анализируя результаты экспериментов, подтверждающих влияние морфологии ОНС на ее свойства [1–5], принято решение смоделировать процесс формирования ОТП с целью реализации возможности создавать плёнки с заранее прогнозируемыми параметрами. Показателем процесса роста пленки на диэлектрической подложке будет являться изменение проводимости.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

При комнатной температуре доминирующим механизмом проводимости на поверхности ОТП является туннелирование электронов. Для определения тока на поверхности ОТП необходимо определить расстояние между островками.

Эта задача была решена с помощью моделирования случайного распределения островков на поверхности подложки в ПО MATLAB R2019a. Были сформированы центры островков на рассматриваемой области. Полученное распределение островков по поверхности подложки носит случайный характер и демонстрирует хаотичность возникновения островков в разных областях подложки (рис.1).

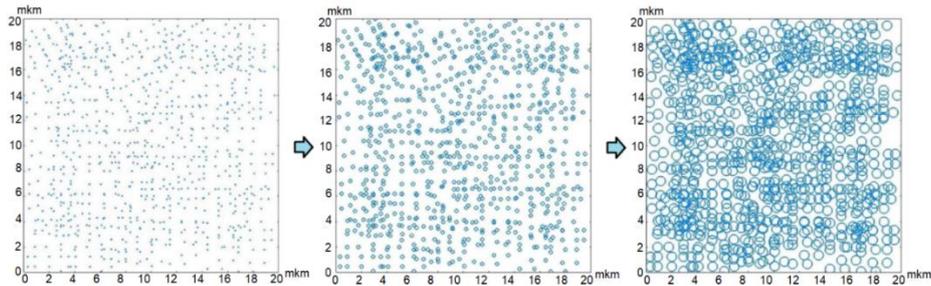


Рис.1. Визуализация этапов роста островков на поверхности подложки.

Для определения расстояния между островками разработана функция «Distance» в ПО MATLABR2019a. Для ее использования предварительно получили массив исходных данных – размеры островков в каждый момент времени – с помощью математической модели, полученной обработкой экспериментальных исследований [6]. На вход функция получает значения координат центров островков, их диаметр и количество. Таким образом, было определено расстояние между островками для каждого момента времени процесса формирования ОТП.

Расстояние между островками то увеличивается, то уменьшается, что связано с многократной коалесценцией, происходящей в процессе роста пленки. Помимо изменения размера островков в процессе их формирования, изменяется и расстояние между ними.

Используя значения расстояния между островками и зависимость плотности туннельного тока, установив напряжение, была получена зависимость туннельного тока на поверхности пленки от времени роста структуры, которая также демонстрирует скачкообразный характер роста значения тока в процессе формирования ОТП.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате анализа результатов проведенного моделирования зависимости туннельного тока от времени роста ОТП обнаружено, что характер теоретической кривой похож на аналогичную экспериментальную зависимость в работе авторов (рис.2) [7].

Из рис.2 видно, что при времени нанесения до 40 секунд эмпирическая и теоретическая кривые совпадают. Однако, после прохождения точки «А» теоретическая кривая растёт дальше в то время, как экспериментальная «ложится» и приближается к константе. Данный факт обусловлен тем, что эмпирическая зависимость построена в условиях прекращения нанесения плёнки как раз в этом промежутке времени.

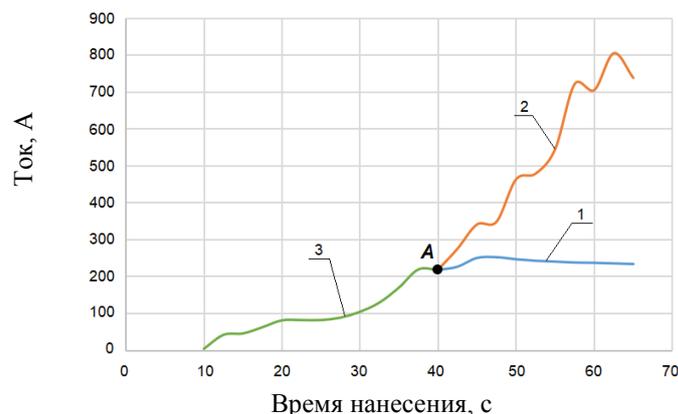


Рис.2. Зависимость туннельного тока на поверхности ОТП от времени нанесения. 1 – экспериментальная зависимость после завершения процесса формирования ОТП; 2 – теоретическая зависимость, рассчитанная по модели; 3 – область совпадения теоретической и экспериментальной зависимостей; «А» - точка пересечения трёх кривых.

Таким образом, применяя разработанную модель проводимости ОТП, можно предсказать время формирования ОНС заданного размера. Это может иметь существенное значение для автоматизации процесса контроля роста ОТП.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

С учетом зависимости свойств плёнок от их морфологии, ранее разработанной и представленной авторами в работе [8] модели электропроводности островковой тонкой пленки, обоснована доработка зависимости электропроводности пленки от времени нанесения.

Предложена визуализация процесса роста островковых тонких пленок на поверхности подложки, позволяющая наглядно демонстрировать этапы распределения ОНС на подложке в зависимости от времени формирования. Разработана программа в среде MATLAB R2019a, которая позволяет рассчитать расстояние между островками с учетом времени и расстояния испаритель–подложка.

Апробирована разработанная модель, описывающая формирование островковой тонкой плёнки, учитывая влияние параметров процесса (время, расстояние испаритель–подложка, температура подложки). Подтверждено совпадение теоретической и экспериментальной зависимостей туннельного тока от времени формирования ОТП. Предоставлена возможность с помощью применения разработанной модели прогнозировать характер зависимости туннельного тока от времени формирования ОТП, что позволяет использовать разработанную модель для автоматизации процесса формирования ОТП.

В дальнейшем разработанную модель предполагается использовать для создания тонких плёнок из различных материалов с заранее спрогнозированными и спланированными свойствами и параметрами.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Торопов Н.А., Камалиева А.Н., Набиуллина Р.Д. Резонансное и нерезонансное взаимодействие полупроводниковых нанокристаллов с локализованными плазмонами // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 2. С. 189–195.
2. Дыбов В.А., Сериков Д.В., Рыжкова Г.С., Половинкин А.А. Кинетика роста пленок ниобата лития на неориентирующей подложке в процессе высокочастотного магнетронного распыления // Формирование наноматериалов и наноструктур. 2019. N4, pp. 378–380.
3. Турцевич А.С., Ануфриев Л.П., Наливайко О.Ю., Лесникова В.П. Пленки поликристаллического кремния с полусферическими зёрнами // Доклады БГУИР. 2005. №1. С. 87–92.
4. Леонов Н.Б., Гладских И.А., Полищук В.А., Вартанян Т.А. Эволюция оптических свойств и морфологии тонких металлических пленок в процессах роста и отжига // ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ. 2015. Том 119. № 3. С. 458–463.
5. Leonov N.B., Przhibel'skii S.G., Vartanyan T.A. Optical properties of plasmonic silver nanoparticles exposed to organic solvents // Optical and Quantum Electronics - 2017, Vol. 49, No. 3, pp. 127.
6. 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.
7. Panfilov Y.V., Kolesnik L.L., Ryabov V.T., Sidorova S.V. Research and development complex with remote access. IOP Conf. Serial.: 2017, 872 01201 Handbook of Semiconductor Manufacturing Technology, second edition. Ed. By R. Doering and Y. Nishi. // CRC press, 2008, 1722 pages.
8. Андреасян О.Г., Сидорова С.В. Математическое моделирование электропроводности островковых тонкопленочных наноструктур // Научно-технический журнал «Наноиндустрия». 2020. Т. 13. № S2. С. 162-164.