



Рисунок 1 – Образцы структур (а – структурная ячейка, б – элемент из ячеек, в – фото готового образца, г - структура под микроскопом)

Список использованных источников

1. But V.S., Kobelev A. A., Karlin E. S., Karpeev S. V. Development and investigation of micro- and nanostructures of metamaterials to form the necessary characteristics and coefficients of piezoelectric elements // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. Andrianova A.V., Vinogradova I. L., Sultanov A.Kh., Meshkov I.K., Abdrakhmanova G.I., Grakhova E.P., Ishmiyarov A.A., Yantilina L.Z., “An approach to synthesizing a 3D nanostructured glass-ceramic material based on intensive high-pressure torsion”, Computer optics 40(4), 489-500 (2016).
2. Skidanov R.V., Doskolovich L.L., Ganchevskaya S.V., Blank V.A., Podlipnov V.V., Kazanskiy N.L., “Experiment with a diffractive lens with a fixed focus position at several given wavelengths”, Computer optics 44(1), 22-30 (2020).
3. Tripathi N., Paveleyev V. S., But V. S., Lebedev S. A., Kumar S., Sharma P., Mishra P., Sovetkina M. A., Fomchenkov S. A., Podlipnov V. V. and Platonov V., “Analysis and optimization of photonics devices manufacturing technologies based on Carbon Nanotubes”, Journal of Physics: Conference Series 1368 (2019)

Бут Валентин Сергеевич, аспирант кафедры наноинженерии, E-mail: mister_byt@mail.ru.

Карпеев Сергей Владимирович, д. ф-м. н., профессор кафедры наноинженерии.

УДК 621.396

ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТРИЦЫ ДЛЯ СИНТЕЗА ЭЛЕМЕНТОВ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Д.Н. Жукова, З.Я. Халитов

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань.

Ключевые слова: квазиодномерные системы, нанотрубки, хризотил-асбест.

Системы с пониженной размерностью занимают важное место в современной технологии вследствие присущих им особых физических свойств. Несмотря на то, что данная область технологии является сравнительно молодой, ряд разработок уже дал существенный прогресс в различных областях промышленности.

Реализация систем с пониженной размерностью осуществляется либо путем прямого синтеза, либо путем использования внутренних полостей кристаллических и полимерных матриц. В области квазиодномерных матриц отсутствие удобных реальных объектов с соответствующими полостями является серьезным препятствием на пути к широкому применению квазиодномерных систем в промышленной технологии, несмотря на очевидные преимущества, которыми обладают эти объекты, по сравнению с квазидвумерными. К таким преимуществам следует отнести в первую очередь то, что квазиодномерные матрицы позволяют реализовать объекты типа «квантовая нить» и «квантовая точка», важность которых как принципиально новой основы для микроэлектронной технологии признается широким кругом специалистов.

Одним из немногих природных объектов, особенности структуры которого позволяют рассматривать его нанотрубки как квазиодномерные матрицы, является хризотил-асбест – силикат магния со слоистой структурой [1-3]. Нанотрубка хризотил-асбеста имеет внутреннюю цилиндрическую полость, радиус которой оценивается в несколько десятков ангстрем, а длина может достигать десяти сантиметров. Стенки полости образованы основаниями кремнекислородных тетраэдров, т.е. обладают диэлектрическими свойствами и представляют весьма высокий потенциальный барьер для электронов.

Структура нанотрубки хризотилового асбеста в самой грубой модели представляет собой систему вставленных друг в друга и плотнейшим образом друг к другу прилегающих коаксиальных цилиндров, каждый из которых является цилиндрическим слоем, образованным тетраэдрической (кремнекислородной) и октаэдрической (магниевой) сетками. Исследования структуры хризотилового асбеста ведутся с 1950-х годов. Установлены структура элементарной ячейки и политипные модификации, методики дифракционного измерения толщины стенок нанотрубок и их радиусов. Несмотря на то, что полости природных нанотрубок хризотила частично заполнены (например, молекулами воды), нам практически ничего не известно ни о структуре, ни о физических свойствах вещества-наполнителя. Возможность же структурных аналогий между этим веществом и самой нанотрубкой следует признать весьма проблематичной за исключением, тех случаев, когда в полости создается заведомо слоистая цилиндрическая структура. Если же возникающая структура будет не слоистой, а лишь иметь цилиндрическую «подложку», то и характер упаковки атомов, вблизи стенки, может оказаться совершенно особым [4].

Анализ модели электронного газа в цилиндрической потенциальной яме показывает, что с повышением энергии электронов максимум электронной плотности смещается к стенке полости. Это дает основание полагать, что уже при комнатной температуре в структуре с металлической связью такая тенденция вызовет «размазывание» металла по стенке полости. При этом

образуется весьма специфический объект, который можно было бы назвать «квантовый цилиндр», такой эффект мог бы позволить в некоторых пределах регулировать диаметр внутренней полости нанотрубки и создавать новую цилиндрическую потенциальную яму меньшего диаметра.

Примером применения квазиодномерных цилиндрических матриц может, на наш взгляд, быть при использовании квантовых ям на основе нанотрубок хризотила в области микроэлектроники. Этому способствует ряд обстоятельств. Возможность формирования в полости нанотрубки структуры типа «квантовая точка» с использованием механизма диффузии представляется вполне реальной. Во всяком случае, процессы роста и перекристаллизации хризотила в природных и лабораторных условиях дают примеры диффузии атомов во внутреннюю полость нанотрубки. Расстояние между нижними энергетическими уровнями электрона в такой потенциальной яме составляет величину 0.01–0.1 эВ, что вполне достаточно для устойчивой работы переключающих элементов на фоне тепловых помех. Варьирование внутреннего диаметра цилиндрического проводящего слоя позволяют изменять расстояние между энергетическими уровнями с целью достижения оптимального их соотношения с уровнем Ферми в подводящих контактах.

Важным обстоятельством с нашей точки зрения является то, что любой функциональный микроэлемент, сформированный в отдельном отрезке нанотрубки, в отличие от аналогичных элементов, реализованных в других матрицах, обладает свойством «транспортабельности», т.е. его, в принципе, можно перенести в нужную точку пространства. Это позволяет, при условии разработки соответствующей технологии, изготавливать необходимые элементы в отдельном технологическом процессе, а затем размещать их относительно друг друга на некоторой основе. Оценки предельной плотности размещения таких элементов на плоскости дают величину $10^5/\text{см}^2$. Автоматизация последовательного конструирования электронной схемы из наноэлементов на основе цилиндрических «квантовых точек» обеспечит максимальную гибкость технологии. Ограниченность требований, предъявляемых при таком подходе к структуре и форме подложки электронного устройства, позволяет наиболее оптимальным образом расположить или рассредоточить устройство в пределах объекта управления.

Список использованных источников

1. Wicks F.J., Whittaker E.J.W. A reappraisal of the structures of the serpentine minerals // *Can. Miner.* – 1975. v.13, № 3. – p. 227-243.
2. Jagodsinski H., Kunze G. The rollend structure of chrysotile // *Newes Jb. Mineral. Mh.* - 1954. - p. 95-150.
3. Z. Khalitov, A. Khadiev, D. Valeeva and D. Pashin. Structure of ordered coaxial and scroll nanotubes: general approach. *Acta Cryst.* (2016). **A72**, 36-49.

4.O. Figovsky, I. Nasyrov, D. Pashin, Z. Khalitov, D. Valeeva. Structure and Diffraction by Radial Cylindrical Crystals: Two-Dimensional Case. Scientific Israel – Technological Advantages, vol. 14, 1, 2012, p. 79-86.

Жукова Дарья Николаевна, студент 3 курса, E-mail: 79821160570darya@gmail.com.
Халитов Зуфар Яхъич, к.т.н., Доцент кафедры НТвЭ, zufar.khalitov@mail.ru

УДК 004.942; 543.544.33

МЕТОД РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЙ КОЛОНКИ ПИЛЛАРНОГО ТИПА

К.И. Миланина, А.Н. Агафонов, Т.А. Андреев, Т. Мурагиджимана
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева», г. Самара

Ключевые слова: пиллар, газовая хроматография, моделирование

На сегодняшний день наиболее распространенными газохроматографическими колонками являются колонки из плавленного кварца, которые могут быть заменены более совершенными микроколонками пилларного типа. Такие колонки представляют собой реализованные в кремниевой подложке каналы с вертикальными столбцами (пилларами), герметизированные кремниевой или стеклянной пластиной.

Преимущество пилларных колонок заключается в лучшей управляемости параметрами потока внутри канала, а также большей площадью контакта компонентов анализируемой пробы со стенками, что обусловлено наличием вертикальных столбцов [1].

При разработке подобных колонок важно иметь возможность прогнозировать их параметры еще на этапе проектирования. Решение такой задачи требует комплексного моделирования широкого класса явлений, в частности, газовой динамики и адсорбционных процессов.

В рамках данной работы была разработана модель течения газа внутри пилларного микроканала газохроматографической колонки с учетом диффузионных и адсорбционных процессов.

Предлагаемая модель имеет следующую структуру:

- Модуль расчета газовой динамики, реализованный в Comsol Multiphysics, предназначенный для расчета поля скоростей и поля давлений для стационарного случая с учетом геометрии канала;

- Модуль моделирования физико-химических процессов, разработанный в программной системе GNU Octave, позволяющий моделировать кинетику диффузии молекул внутри потока газа и их адсорбции на стенках канала и пилларов, при этом предварительно рассчитанные поля скоростей и давлений используются как исходные данные.