

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САРАТОВСКИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения, технологии
и управления качеством

**ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИБРИДНЫХ
СТРУКТУР**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 421 группы
по направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»
факультета нано- и биомедицинских технологий
Резяпова Рустама Ренатовича

Научный руководитель

доцент, к.т.н.

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

И. В. Маляр

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

С.Б. Вениг

инициалы, фамилия

Саратов 2018

Введение. Гибридные наноструктурные материалы – новое направление в материаловедении. Под гибридными материалами понимаются композиты особого типа, обладающие свойствами, не достижимыми при использовании их отдельных составляющих. При этом архитектуру гибрида, определяемую формой и расположением «элементарных кирпичиков», из которых он составлен, можно рассматривать как дополнительную степень свободы, использование которой в разработке новых материалов может привести к радикально новым свойствам. Объединение такой стратегии с правильным выбором материалов открывает возможности для создания уникальных композитов. Этот принцип лежит в основе нового подхода к разработке высокотехнологичных материалов с огромным потенциалом для инноваций.

Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) – один из мощных современных методов исследования морфологии и локальных свойств поверхности твердого тела с высоким пространственным разрешением. За последние 10 лет сканирующая зондовая микроскопия превратилась из экзотической методики, доступной лишь ограниченному числу исследовательских групп, в широко распространенный и успешно применяемый инструмент для исследования свойств поверхности. В настоящее время практически ни одно исследование в области физики поверхности и тонкопленочных технологий не обходится без применения методов СЗМ. Развитие сканирующей зондовой микроскопии послужило также основой для развития новых методов в нанотехнологии – технологии создания структур с нанометровыми масштабами [1].

Целью данной работы является сравнение влияния фотостимулированной адсорбции золотых наночастиц и наночастиц оксида кремния на электрические свойства получаемых гибридных структур «кремний/полиэтиленмин/наночастицы».

Для этого решались следующие задачи:

- проведение литературного обзора о свойствах нанокompозитных покрытий и факторах, влияющих на нанесение слоев методом послойной адсорбции;

- измерение электрических характеристик нанокompозитных покрытий, представляющие собой слой полиэлектролита с наночастицами золота и оксида кремния;

- анализ полученных результатов посредством различных моделей.

Дипломная работа занимает 48 страниц, имеет 22 рисунка и 5 таблиц.

Обзор составлен по 21 информационному источнику.

Во введении рассматривается актуальность работы, устанавливается цель и выдвигаются задачи для достижения поставленной цели.

В первом разделе описываются был рассмотрен теоретический материал. Рассмотрены электрические свойства гибридных структур, механизмы токопереноса, методы характеристики тонких пленок, обработка вольт-амперных характеристик.

Во втором разделе описывается влияние фотостимулированной адсорбции на электрические свойства гибридных структур, описание образцов, описание микроскопа и режима измерения, описание туннельного микроскопа и режима измерения, обработка вольт-амперных характеристик.

Основное содержание работы

Описание образцов. Для исследования были выбраны монокристаллические подложки *p*-Si и *n*-Si с кристаллографической ориентацией (100), удельным сопротивлением около 10 Ом·см. Пластины раскалывали на квадраты размером 10×10 мм² с учетом кристаллографической ориентации. Далее следовала продувка сколотых подложек потоком сухого воздуха.

Для создания композитных покрытий на слой полиэтиленimina адсорбировались золотые наночастицы (образцы 1-4), стабилизированные в лимонной кислоте, диаметром 8 нм из их водного раствора с концентрацией 0,01 вес. % в течение 30 минут, а также на слой полиэтиленimina наносили

наночастицы SiO₂ размером 8 нм из раствора с концентрацией 0,0125 вес. % (образцы 5-8) тоже в течение 30 минут. Кроме того, было использовано дополнительное освещение части образцов во время адсорбции наночастиц с целью модификации свойств получаемых покрытий, как показано на рисунке 8. В качестве осветителя использовался галогеновый осветитель ОВС-1, генерирующий освещенность 3000 лк [2-5].

Описание микроскопа и режима измерения. Для измерений методом АСМ использовалась зондовая нанолaborатория NTGRA-Spectra (НТ-МДТ, Россия). Измерения проводились в полуконтактном режиме с помощью кантилеверов NSG10 с частотой сканирования 0,5 Гц [6].

Описание туннельного микроскопа и режима измерения. Туннельные вольт-амперные характеристики измерялись на воздухе с помощью сканирующего туннельного микроскопа «Nanoeducator II».

Сначала поверхность образца сканировалось в режиме постоянного тока. Сканирование каждого образца проводилось в двух областях, в каждой из областей в 7 различных точках не менее 10 раз проводились измерения зависимостей туннельного тока от напряжения. Измерения ВАХ проводились в режиме спектроскопии в интервале напряжений смещения V между зондом и образцом от -5 до $+5$ В. В качестве зонда использовалось платино-иридиевое острие радиус кривизны, которого составляет менее 0,1 мкм. В работе для вольфрамовых зондов было показано, что их радиус порядка 40 нм. Тогда площадь туннельного контакта $\sigma = 248,7 \text{ нм}^2$, а, следовательно, $\ln(A^*T^2)$ для n -Si составляет -9.81 , для p -Si будет равно -10.29 [7-8].

Обработка вольт-амперных характеристик. Поскольку измеренные вольт-амперные характеристики имеют выпрямляющий характер, то для их анализа использовали модель Шоттки. Для оценки барьера Шоттки и коэффициента неидельности в соответствии с уравнением прямые ветви ВАХ строились в координатах $(\ln I)-V$.

Были проанализированы полученные зависимости и рассчитаны коэффициент неидельности (n) и барьерная разность (ϕ) для электронов.

Исходя из усредненных данных были рассчитаны коэффициент неидельности по формуле:

$$n = \frac{q}{k_B T} \left(\frac{I}{A} \right)^{-1} \quad (1)$$

где q – заряд электрона;

k_B – постоянная Больцмана;

T – температура;

k – коэффициент из экспериментальных вольт-амперных характеристик.

А величина потенциального барьера по формуле:

$$\phi = \frac{b}{q} \ln \left(\frac{I}{A^* \sigma} \right) \quad (2)$$

где b – коэффициент из экспериментальных вольт-амперных характеристик;

σ – площадь туннельного контакта;

A^* – эффективная постоянная Ричардсона;

$q\phi$ – эффективная барьерная разность потенциалов [9-11].

При расчете предполагали, что радиус зонда составляет порядка 40 нм. Тогда площадь туннельного контакта $\sigma = 248,7 \text{ нм}^2$, а, следовательно, для p -Si будет равно -10.29.

Также для оценки величины потенциального барьера по модели Фаулера-Нордгейма прямые ветви ВАХ строились в координатах $(\ln I/V^2) - 1/V$.

Исходя из усредненных данных была рассчитана величина потенциального барьера, воспользовавшись модифицированным уравнением Фаулера-Нордгейма (формула 16). Из этой формулы следует, что величина барьера для n -Si равна:

$$\phi = \frac{k_B T}{q} \ln \left(\frac{I}{A^* \sigma} \right) \quad (3)$$

а для p -Si:

Коэффициент β может быть рассчитан по формулам 1 и 3 из рисунка 6, так как можно предполагать, что система анод-катод носит сферически-симметричный характер, и, что зонд представляет собой острие в форме параболоида вращения. Далее значения, посчитанные по разным формулам усредняем, чтобы получить приблизительно истинные значения. Для образцов n-Si и p-Si с наночастицами оксида кремния R бралось 28 и 36 нм, а для образцов n-Si и p-Si с наночастицами золота – 14 и 25 нм соответственно. Из площади туннельного контакта, радиус закругления вершины автоэммиттера равен 8,9 нм [12].

Заключение. В ходе дипломной работы был выполнен ряд задач:

- были рассмотрены метод сканирующей туннельной микроскопии и методы обработки зависимостей туннельного тока от напряжения;
- были измерены зависимости тока от напряжения гибридных структур «кремний-органический монослой-наночастицы оксида кремния» и «кремний-органический монослой-наночастицы золота»;
- были проанализированы полученные зависимости и рассчитаны коэффициент неидеальности и потенциального барьера.

В результате было установлено, что фотостимулированная адсорбция наночастиц существенно влияет на электрические свойства получаемых гибридных структур. В частности, она влияет на потенциальный барьер для электронов в образцах на основе n-Si, а также критически влияет на коэффициент неидеальности, который связан с токопереносом в структурах [13].

Список использованных источников

1 Malyar, I. V. Photocontrolled adsorption of polyelectrolyte molecules on a silicon substrate / I. V. Malyar, D. A. Gorin, S. Santer, S. V. Stetsyura // Langmuir. 2013. Vol. 29, № 53. P. 16058-16065.

2 Миронов, В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / В. Л. Миронов. М. : Изд-во Техносфера, 2004. С. 44- 58.

3 Неволин, В. К. Основы туннельно-зондовой технологии / В. К. Неволин. М. : Изд-во Наука, 1996. 91 с.

4 Кулаков, Ю. А. Электронная микроскопия / Ю. А. Кулаков. М. : Изд-во Знание, 1981. 64 с.

5 Володин, А. П. Сканирующая микроскопия / А. П. Володин. М. : Наука, 1998. 114 с.

6 Рыков, С. А. Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов / С. А. Рыков. СПб: Изд-во Наука, 2001. 53 с.

7 Маляр, И. В. Материаловедение технических и биотехнических материалов / И. В. Маляр, С. В. Стецюра, А. М. Захаревич // Сборник заданий для проведения лабораторных работ по дисциплине «Материаловедение: технические и биотехнические материалы». 2014. С. 18- 27.

8 Malyar, I. V. et al. Photo-assisted adsorption of gold nanoparticles onto a silicon substrate //Applied Physics Letters. 2017. Т. 110. №. 13. С. 104-133.

9 Зи, С. М. Физика полупроводниковых приборов / С. М. Зи. М. : Изд-во Энергия, 1973. 654 с.

10 Malyar I. V. et al. Electrical characterization of organic monolayers/silicon hybrid structures //Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2016. Т. 690. №. 1. С. 012025

11 Добрецов Л. Н. Эмиссионная электроника / Л. Н. Добрецов, М. В. Гомоюнова. М. : Изд-во Наука, 1966. 564 с.

12 Елинсон, М. И. Автоэлектронная эмиссия / М. И. Елинсон, Г. Ф. Васильев. М. : Изд-во физ.-мат. лит., 1958. 272 с.

13 Malyar, I. V., Gorin, D. A., & Stetsyura, S. V. Effect of nanodimensional polyethylenimine layer on surface potential barriers of hybrid structures based on silicon single crystal. В International Conference Micro- and Nano-Electronics 2012. Т. 8700. Р. 870009.