



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

# Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук

Политехническая ул., 26, С.-Петербург, 194021  
Телефон: (812) 297-2245 Факс: (812) 297-1017  
post@mail.ioffe.ru http://www.ioffe.ru

№ \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам.директора Федерального  
государственного бюджетного  
учреждения науки «Физико-  
технический институт им. А.Ф. Иоффе  
РАН», кандидат физ.-мат. наук.



С.О.Когновицкий

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

## ОТЗЫВ

Ведущей организации на диссертационную работу Гостевой Екатерины Александровны «Градиентно-пористые структуры кремния с графеноподобными слоями», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – «Физика полупроводников».

Диссертационная работа Гостевой Е.А. посвящена созданию новых наноразмерных кремниевых структур, исследованиям по модификации их свойств для последующего применения в области биологии и медицины, в устройствах фотовольтаики и водородной энергетики. В этой связи тема диссертации Гостевой Е.А., основной целью которой являлась разработка и создание градиентно-пористых структур кремния методом глубокого анодного травления, синтез графеноподобных слоев на стенках пор по всей глубине пористого слоя и исследование свойств полученных структур, несомненно, является **актуальной**.

На основании большого объема проведенных экспериментальных исследований и анализа их результатов диссертантом решен ряд задач, определенных поставленной в работе целью получен ряд важных,

принципиально **новых результатов**, среди которых наиболее значимыми на наш взгляд, являются следующие:

1. Разработан метод формирования градиентно-пористых структур кремния с плавно изменяемой (вариативной) морфологией пор по глубине. В едином процессе анодного травления формируются структуры, характеризующиеся нанопористым слоем, на поверхности переходящим в губчатую, а затем и в столбчатую структуру пор на глубине.

2. Установлена зависимость физических свойств градиентно-пористых структур кремния от режимов их формирования (состав раствора электролита, плотность тока анодного травления, параметры исходных пластин монокристаллического кремния).

3. Разработана модель формирования градиентно-пористых структур кремния на основе электрохимического взаимодействия.

4. Разработан способ синтеза графеноподобных пленок на стенках пор, по всей глубине структуры, включая наноразмерные пористые слои. Новизна этого раздела работы подтверждается заявкой на получение патента на изобретение (Способ синтеза графено-подобных слоев по заданной глубине пористых кремниевых структур. Заявка № 2018106508 от 21.02.2018).

5. Изучены характеристики градиентно-пористых структур кремния со сформированным графеноподобным слоем (устойчивость в водных и слабощелочных растворах, оптические характеристики, величина шероховатости поверхности, удельное сопротивление) в зависимости от режимов их формирования.

Полученные в работе результаты представляются **достоверными**, а выводы и основные положения, выносимые на защиту – **обоснованными**, что обеспечивается использованными в работе современными методами исследования структуры и свойств материалов (СЭМ, ПЭМ, АСМ и тд.), воспроизводимостью экспериментов и их согласованием с основными физическими закономерностями, а также с результатами, представленными в научной литературе.

Диссертация включает в себя введение, 4 главы, заключение, список литературы, который состоит из 179 наименований. Текст изложен на 130 страницах машинописного текста и включает 51 рисунок и 3 таблицы.

*Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.*

Изложенные в диссертации результаты достаточно хорошо обоснованы и прошли *апробацию* на 9 международных и всероссийских конференциях. На основе проведенных исследований опубликовано четыре научных работы, опубликованные в журналах, входящих в базы данных РИНЦ, Scopus и Web of Science в том числе **четыре** - в изданиях, *рекомендованных ВАК РФ*.

Основные результаты диссертационной работы основываются на исследованиях, выполненных лично или при непосредственном личном участии автора. Вклад в получение экспериментальных результатов заключается в полном проведении работ по глубокому анодному травлению монокристаллического кремния, отжигу, осаждению графеноподобных пленок в градиентно-пористые структуры кремния, измерении электрофизических и механических свойств и другие технологических операций. Автором в процессе

работы предложены технологические режимы и составы электролитов для проведения анодного травления и модификации свойств получаемых структур, в частности, способ осаждения графеноподобных пленок в градиентно-пористые структуры кремния.

**Практическое значение** результатов работы определяется тем, что:

1. Полученные экспериментальные результаты изменения морфологии пор по глубине подтверждают предложенную в работе модель электрохимического травления и, в частности, механизм формирования столбчатой структуры с увеличением толщины слоя.

2. Определены режимы процесса анодного травления, позволяющие формировать глубокие пористые слои и мембраны на их основе с нанопористым внешним слоем.

3. Разработан режим синтеза многослойных графеноподобных слоев на внутренней поверхности пор, в том числе наноразмерных и замкнутых пор. Это позволяет уменьшить электрическое сопротивление пористых слоев и мембран на их основе, а также повысить устойчивость таких структур при применении во влажных условиях.

Установленные в работе закономерности могут быть востребованы такими научными и производственными коллективами, как ИПТМ РАН, ФТИ им.А.Ф.Иоффе, ФГАОУВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», ФГАОУВО «НИУ Московский институт электронной техники», ООО «НТЦ ТПТ», ООО «Наноцентр» и др.

Вместе с тем, диссертация не лишена недостатков, из которых отметим следующие:

1. В работе используется термин «шероховатость» поверхности, однако с физической точки зрения он мало применим для пористых слоев, тем более мембран с аспектным отношением сквозных пор более 100. Необходимо было пояснить, что подразумевалось при проведении таких измерений.

2. В работе не приведена зависимость антибликовых характеристик от толщины нанопористого слоя. Такие слои наиболее распространены при изготовлении ФЭП устройств.

3. Имеет место небрежность в оформлении подписей к рисункам (например: рис.36, 38 в тексте диссертации не переведены англоязычные обозначения, неточность в обозначениях изображений на рис.7 в автореферате).

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы. Результаты диссертации имеют высокую научную значимость, поскольку работа направлена на развитие одной из важных задач современной физики полупроводников – кремниевые наноструктурные материалы и устройства на их основе.

**Заключение.** Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу на актуальную для науки и практического применения тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом в работе, имеют существенное значение для науки и практики в области физики полупроводников. Представленные выводы обоснованы. Диссертационная работа Гостевой Екатерины Александровны соответствует специальности 01.04.10 – «Физика полупроводников» (пункты 1,2 и 17) и критериям

«Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертационная работа обсуждена и отзыв одобрен на научном семинаре лаборатории Физико-химических свойств полупроводников ФТИ им.А.Ф.Иоффе РАН (Протокол № 1/04 от 12 апреля 2018 г.)

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий лабораторией физико-  
химических свойств полупроводников  
ФГБУН Физико-технический институт  
им. А.Ф. Иоффе РАН

Теруков Евгений Иванович

Служебный адрес и телефон:  
194021, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26  
тел.: (812) 2927173, e-mail: [eug.terukov@mail.ioffe.ru](mailto:eug.terukov@mail.ioffe.ru)

