

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию **ГАЛУШКА ВИКТОРА ВЛАДИМИРОВИЧА** на тему: *"Влияние излучений и электрического поля на ионный перенос в структурах на основе иодида серебра и пористого кремния"*, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2. – Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств.

В настоящее время все более широкое применение в твердотельной электронике находят нанокompозитные структуры с ионным переносом, позволяющие, в частности, увеличить степень интеграции микросхем. При этом, однако, недостаточно внимания уделяется исследованиям в области наноионики, в том числе изучению пористого кремния с включениями из металла и твердых электролитов. Диссертационная работа В.В. Галушка посвящена установлению возможности управления проводимостью структур металл-диэлектрик-металл (МДМ) благодаря массопереносу в слоях с ионной проводимостью, нахождению влияния внешних воздействий на ионный перенос в наноструктурах, а также возможности учёта и управления процессом осаждения углерода электронным лучом. Такие исследования безусловно актуальны для решения фундаментальных проблем физики поверхности, так как несут ценную информацию о механизмах насыщения структур пористого кремния металлами и твердыми электролитами, и очень важны в практическом отношении, поскольку имеют прямое отношение к решению проблем приборостроения. В связи с этим работа Галушка В.В. *"Влияние излучений и электрического поля на ионный перенос в структурах на основе иодида серебра и пористого кремния"*, является **актуальной и практически значимой**.

Для выполнения этой работы диссертантом использован системный подход, в частности, поставлены и выполнены следующие задачи:

- Исследована динамика образования слоёв твёрдого электролита AgI на поверхности Ag в процессе образования и определены оптимальные его свойства, при которых наблюдается массоперенос Ag;
- Экспериментально исследованы токовые характеристики туннельных структур, содержащих слои AgI/Ag, и разработана модель, описывающая изменение проводимости барьера при массопереносе вещества;
- Созданы структуры с обратимо управляемым изменением сопротивления на основе слоёв пористого Si и твёрдого электролита и показана возможность получения ионопроводящего композита из пористого Si и насыщенных AgI приповерхностных слоёв.
- Следует подчеркнуть, что на основе экспериментальных данных диссертанту удалось выявить факторы, позволяющие снизить влияние артефактов осаждения углерода из газовой среды электронного микроскопа.

Структура диссертации.

Сама диссертация состоит из введения, из введения, четырёх глав с выводами, заключения, библиографии, и содержит 3 таблицы, 92 рисунка. Общий объем работы изложен на 146 страницах машинописного текста, включая 8 страниц списка использованной литературы из 147 наименований.

В **первой** главе представлен обзор по теме исследования и проведён анализ современного состояния исследований массопереноса в наноразмерных структурах с ионной проводимостью и измерительных системах. МДМ структуры с управляемым изменением сопротивления слоя диэлектрика и с сохранением памяти состояния (ReRAM) получили известность благодаря созданию мемристоров и на их основе устройств адаптивной логики и искусственного интеллекта. Обобщены известные из литературы основные направления по созданию резистивных ячеек памяти “Atom Switch” и показано, что наиболее перспективным материалом в качестве ионного проводника является иодид серебра (AgI). При этом автором продемонстрировано безусловное умение анализировать и обобщать результаты, известные из литературных источников.

Вторая глава посвящена исследованиям массопереноса в структурах, содержащих твердый электролит. Приведены технология и методы контроля свойств структур непосредственно в ходе их получения (тонкие слои AgI получали на поверхности слоя металлического серебра в парах йода). Методом спектральной эллипсометрии выполнялся контроль оптических свойств и толщины слоя в процессе роста. Подробно описана конструкция реакционной камеры, позволявшая контролировать толщину слоя AgI на поверхности слоя Ag, а также перемешивать и осуществлять подачу паров йода. С увеличением толщины слоя AgI скорость его образования слоя уменьшалась, а показатель преломления увеличивался.

В **Третьей** главе рассмотрено влияние воздействий электрического поля, УФ- и γ -излучения на процессы переноса Ag в приповерхностных слоях пористого Si и показано, что УФ-излучение оказывает влияние на перераспределение концентрации Ag.

Наконец, в **четвертой** главе приведены результаты исследований переноса Ag, индуцированного электронным пучком, в структурах Ag/AgI, а также слоя AgI, которые показали, что сначала на поверхности Ag образуются отдельные кластеры AgI размером $\sim 20 \pm 5$ нм, число которых увеличивается с ростом количества йода.

В диссертации представлены следующие результаты, обладающие научной новизной и оригинальностью:

1. Впервые установлено, что в слоях пористого Si, поверхность которого насыщена Ag, электрическое поле или УФ-излучение вызывает перенос Ag как вдоль, так и перпендикулярно поверхности Si, а прямое воздействие потока электронов на поверхность структуры вызывает образование Ag кластеров.

2. Экспериментально показано, что в слоистых структурах, образован-

ных ионопроводящими AgI/Ag и диэлектрическими слоями при протекании тока возникает обратимое изменение проводимости за счет массопереноса Ag, управляемого направлением и количеством перенесенного заряда.

3. Детально разработаны методика и устройство, с помощью которого можно контролируемо получать структуры AgI/Ag, и определены оптимальные технологические режимы обработки материалов, которые могут быть рекомендованы для промышленного применения при создании мемристоров.

Таким образом, В.В. Галушка получен значительный объем новых результатов, имеющих важное значение для теории и практики, достоверность которых обеспечена применением обоснованных моделей и апробированных методов и подходов. Степень обоснованности и достоверности полученных результатов и выводов диссертации обеспечивается также использованием стандартного аппарата основ физики твердого тела и подтверждается сходимостью результатов моделирования и проведенных экспериментальных исследований, а также воспроизводимостью результатов исследований.

Полученные данные позволяют гораздо лучше понимать процессы, происходящие в приповерхностном слое структур пористого кремния, что, безусловно, придает им практическую ценность. Основные положения работы сформулированы и изложены ясным литературным языком, а ключевые термины и определения представлены в различных вариантах их использования в отечественной и зарубежной научной литературе.

Однако, несмотря на общую высокую оценку, диссертация В.В. Галушка не свободна от недостатков. Основные замечания по соответствующим разделам работы состоят в следующем:

- В тексте диссертации (раздел Введение, стр. 3) постулируется важность зондовых методов исследования для развития технологии получения микро- и наноструктур и часть поставленных задач могла бы быть решена методами сканирующей зондовой микроскопии/спектроскопии, однако автор ограничился лишь снятием вольтамперных характеристик контакта W-AgI/Ag (рис. 2.12 ÷ 2.18, стр. 39÷44) и не привел ни одного внятного СТМ (или АСМ) изображения исследованных структур.
- В работе обсуждается возможность применения разрабатываемой технологии (глава 3, стр. 68-72) для получения наноразмерных мемристорных структур но, к сожалению, не представлены результаты промышленных испытаний материалов, обработанных в парах иода.

Указанные выше замечания не носят принципиального характера, а учитывая широту охвата исследованных вопросов и большой объем проделанной работы, не снижают общей высокой оценки выполненной работы. Диссертация оформлена грамотно, результаты доказательны и систематизированы. Материалы диссертации докладывались на многочисленных (шестнадцати!) представительных международных и всероссийских научных конференциях, весьма полно (13 статей!) представлены в высокорейтинговых журналах, хо-

рошо известны и одобрены научной общественности. Все новые результаты, сформулированные положения и выводы, выносимые на защиту, не вызывают возражений. Автореферат диссертации хорошо отражает её основное содержание. Название работы, цель, актуальность, научная новизна, практическая значимость и выводы не противоречат друг другу.


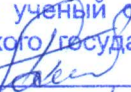
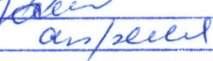
Считаю, что представленная работа выполнена на высоком научном и методическом уровне и соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в частности, полностью отвечает требованиям пункта 7 «Положение о порядке присуждения ученых степеней» как научная квалификационная работа, а сам Виктор Владимирович Галушка в полной мере заслуживает присуждения ему искомой учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2.– Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств.

Профессор кафедры физической электроники и нанofизики Физико-технического института Башкирского государственного университета, доктор физико-математических наук,

Заслуженный работник Высшей школы РФ  Рауф Загидович Бахтизин

Я согласен на обработку персональных данных.

Почтовый адрес: 450076, РФ Республика Башкортостан , г. Уфа, ул. Заки Валиди , д.32. Телефоны: +7 (347) 229-96-47 (раб.); +7 (917) 410-98-71 (моб.)
Факс: +7 (347) 273-65-74; E-mail: raouf@bshu.net.ru

Подпись 
Заверяю: ученый секретарь Ученого совета
Башкирского государственного университета
 С.Р. Баимова
« 27 »  20 22г.

