

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Захарова Павла Сергеевича «Эффект обратимого переключения электрической проводимости в тонких пленках нестехиометрического оксида кремния», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Основные перспективы развития современных нанотехнологий связаны с дальнейшей миниатюризацией элементной базы с использованием наноструктур и с расширением функциональных возможностей за счет применения новых материалов. Необходимость создания таких объектов диктуется разработкой устройств с высокой плотностью элементов, например, запоминающих устройств большой емкости. Современная элементная база микроэлектроники базируется на полупроводниковых технологиях, уровень развития которых привел к созданию нового класса элементов микроэлектроники с размерами в нанометровом диапазоне. В настоящее время можно приобрести серийно выпускаемые микропроцессоры, изготовленные по технологии 22 нм, уже есть работоспособные решения на 10 нм и ведутся работы по разработке промышленных технологий для 7 и 5 нм транзисторов. Поэтому результаты работ по исследованию эффекта обратимого переключения электрической проводимости в тонких пленках нестехиометрического оксида кремния и разработке элемента памяти на его основе, представленные в рамках данной диссертации, имеют большое прикладное значение, что и обуславливает их актуальность.

Диссертационная работа Захарова П.С. представляет собой законченный цикл исследований, в рамках которого предложена новая модель фазовых перестроек в нестехиометрическом оксиде кремния. На ее базе разработана оригинальная конструкция элемента памяти, защищенная патентом. Используя разработанные элементы, проведены исследования фазовых перестроек в нестехиометрическом оксиде кремния, подтверждающие правильность предложенной модели.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, показана новизна полученных результатов, изложены положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор литературы и сформулирована постановка задачи.

Во второй главе представлена феноменологическая модель перестройки структуры тонкой пленки SiO_x при протекании тока в узком канале – филаменте. Автором проведены расчёты динамики изменения размеров кремниевых включений, определяющих

проводимость филамента, в зависимости от его температуры при пропускании тока. Эксперименты по отжигу структур, содержащих филамент, при 500°C показали, что именно температура отжига определяет его проводимость, что подтверждает правомочность утверждений, положенных в основу модели.

В третьей главе изложены результаты по разработке технологии создания элемента резистивной памяти с субмикронными размерами на основе пленки нестехиометрического SiO_x толщиной 20-40 нм. Подробно описаны процессы и маршруты, использовавшиеся при изготовлении тестовых структур. Результаты этой главы легли в основу патента на полезную модель.

В четвертой главе представлены результаты экспериментального исследования электрических характеристик изготовленных тестовых структур. Исследованы процессы переключения в тестовых структурах со слабым и сильным отклонением SiO_x от стехиометрии. По результатам эксперимента проведены оценки геометрических размеров филамента и его удельного сопротивления. Полученные экспериментальные результаты подтверждают правильность расчетов проведенных в рамках феноменологической модели, предложенной в главе 2.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

В приложении представлен патент на полезную модель «Мемристорная структура на основе оксида кремния».

Однако диссертационная работа Захарова П.С. не свободна от недостатков. Необходимо отметить следующие:

1. В п. 2.4 диссертации показано, что температура активного слоя вблизи вакуумированной поверхности при переключении проводимости может превышать 800°C. В этих условиях происходит сублимация атомов активного слоя, что приводит к изменению его размеров, в том числе возможно изменение размеров кластеров кремния. Следовало бы привести оценки этого эффекта на результаты расчётов в рамках феноменологической модели.

2. Эксперименты по отжигу структур, содержащих филамент, проведены только при одной температуре – при 500°C. Результаты этого эксперимента являются важными с точки зрения обоснованности утверждений, положенных в основу модели. Поэтому следовало бы провести измерения и при других температурах.

Однако указанные недостатки не влияют на общий высокий уровень оппонируемой работы. Диссертация хорошо оформлена. По её материалам опубликовано 7 статей, 3 из которых входят в журналы из перечня ВАК, получен патент на полезную модель. Результаты докладывались на 9 конференциях. Достоверность и обоснованность

полученных результатов обеспечена использованием современного измерительного оборудования. Новизна результатов, полученных диссертантом, подтверждается тем, что основные результаты диссертации получены впервые. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

В целом диссертационное исследование «Эффект обратимого переключения электрической проводимости в тонких пленках нестехиометрического оксида кремния» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, результаты которой обладают высоким уровнем новизны и имеют значение для развития микро- и нанoeлектроники. Считаю, что диссертация Захарова П.С. полностью удовлетворяет требованиям, установленным п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Официальный оппонент

старший научный сотрудник

Лаборатории спектроскопии поверхности полупроводников

Института физики твердого тела

Российской академии наук

канд. физ.-мат. наук,

специальность 01.04.07 физика конденсированного состояния

20 января 2017г.

/Сергей Иванович Божко/

142432, Россия, Московская обл.,

г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д. 2

тел.: +7(496)52-28219

e-mail: bozhko@issp.ac.ru

Ученый секретарь

Института физики твердого тела

Российской академии наук

д-р физ.-мат. наук



/Галина Евгеньевна Абросимова /