

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Захарова Павла Сергеевича  
**«Эффект обратимого переключения электрической проводимости в тонких пленках  
нестехиометрического оксида кремния»**,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника и радиоэлектронные компоненты,  
микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах

Несмотря на то, что со времени обнаружения эффекта резистивного переключения прошло уже почти полвека, единого мнения о его природе до сих пор не существует. Установление механизма этого эффекта в тонких пленках нестехиометрического оксида кремния является весьма перспективной задачей с точки зрения создания энергонезависимых элементов памяти в структурах на основе кремния. Поэтому исследования, представленные в диссертационной работе Захарова П.С., являются **актуальными и практически важными**.

Представленная Захаровым П.С. диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. Во введении сформулированы научная новизна, цель и основные задачи работы, практическая значимость и положения, выносимые на защиту. В первой главе дан анализ существующих экспериментальных данных и представлений о механизмах эффекта резистивного переключения в тонких пленках  $\text{SiO}_2$ , в том числе и с локальным нарушением стехиометрии. Рассмотрены основные модели формирования и разрушения проводящих каналов (филаментов) в тонких пленках. На основе проведенного анализа сформулированы цели и задачи диссертационной работы. Во второй главе диссертации развита феноменологическая модель эффекта обратного переключения проводимости в нестехиометрическом оксиде кремния, основанная на представлении фазы  $\text{SiO}_x$  как многокомпонентного пересыщенного твердого раствора атомов кремния в матрице  $\text{SiO}_2$ . При этом избыточный кремний рассматривается как результат формирования точечных дефектов в фазе  $\text{SiO}_2$ . Формирование проводящего канала (филамента) автор рассматривает как процесс образования нанокристаллов кремния, а его распад при более высоких температурах - как результат диссоциации атомов кремния с поверхности нанокристалла. В третьей главе представлена приборная структура элемента резистивной памяти на основе пленки оксида кремния с геометрической полостью, не требующая вакуумирования. Разработаны и продемонстрированы конструкции элементов резистивной памяти на основе  $\text{SiO}_x$  с субмикронными топологическими размерами. В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований элементов резистивной памяти на основе стехиометрического и нестехиометрического оксида кремния, а также проведены оценки

геометрических и электрических характеристик проводящего канала (филамента), формирующегося в тонких пленках нестехиометрического оксида кремния. Установлено различие в механизмах потери устойчивости при работе элементов резистивной памяти, созданных на основе этих пленок.

Не смотря на то, что природа эффекта резистивного переключения изучается многие десятки лет, единого понимания этого явления так и не было получено. В литературе эффект переключения рассматривался и как чисто электронное явление, и как явление, имеющее электронно-тепловую природу. В развитой автором модели процессы, ответственные в тонких пленках за эффект резистивного переключения рассмотрены с позиций чисто теплового влияния. Поэтому **новизна** представленных в диссертации результатов является бесспорной.

**К наиболее значимым результатам**, с моей точки зрения, следует отнести установление различных механизмов потери устойчивости в пленках оксида кремния, отличающихся стехиометрическим составом. К несомненным достоинствам работы следует отнести четкость в постановке задачи и изложении материала, а также большой объем выполненных сложных технологических разработок и экспериментальных исследований.

Результаты, представленные в диссертации, получены с использованием известных технологических приемов и современных методов исследования. Эти методы являются адекватными, а полученные результаты являются **достоверными**.

В качестве замечания следует отметить следующее:

- В главе 2 теоретически анализируется структура, в которой канал проводимости располагается вблизи вакуумированной поверхности оксида кремния. В то же время в трехмерном уравнении теплопроводности (в автореферате - уравнение 4) используются параметры (удельная теплоемкость, плотность материала, теплопроводность), характерные для объемного материала. Вблизи поверхности эти значения могут отличаться от их значений в объеме в силу различия координационного числа атомов кремния и кислорода. Это может привести к различию максимальных температур в случаях, когда филамент формируется в объеме и вблизи поверхности.

Однако сделанное замечание не уменьшает ценности диссертационной работы, она представляется весьма содержательным и законченным научным трудом.

Диссертация П.С. Захарова соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Захаров Павел Сергеевич заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук

по специальности 05.27.01 – твердотельная электроника и радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

В.н.с. ИФП СО РАН,  
д. ф.-м. н.

И.Е. Тыщенко

09 января 2017 г.

Тыщенко Ида Евгеньевна, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, доцент, лаборатория нанодиагностики и нанолитографии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук (ИФП СО РАН), пр. ак. Лаврентьева, 13, Новосибирск, 630090, +7(383)3332493, [tys@isp.nsc.ru](mailto:tys@isp.nsc.ru).

Ученый секретарь ИФП СО РАН  
к. ф.-м. н.



С.А. Аржанникова