**Исследовательская работа**

**Исследование резистивного переключения в наноструктурах оксида титана.**

***Черниченко Г.Е., Бурашев Д.Р.***

*Государственное автономное образовательное учреждение Астраханской области дополнительного образования "Региональный школьный технопарк",*

*г. Астрахань, Россия,*

*Email: cernicenkogleb@gmail.com; danielburashev@gmail.com*

**Research work**

**Investigation of resistive switching in titanium oxide nanostructures**

***Chernichenko G.E., Burashev D.R.***

*State Autonomous Educational Institution of the Astrakhan Region of Additional Education "Regional School Technopark",*

*Astrakhan, Russia,*

*Email: cernicenkogleb@gmail.com;* [*danielburashev@gmail.com*](mailto:danielburashev@gmail.com)

**Аннотация**

В данном работе описывается разработка технологии формирования ячейковых структур оксида титана с функцией резистивного переключения для применения в качестве элементов оперативной памяти и других устройствах. Разработанное техническое решение позволит добиться в элементах электроники энергонезависимости в хранении информации, что в свою очередь ускорит быстродействие обработки информации на длительной дистанции, уменьшит потребляемую электроэнергию устройством, а также износ отдельных элементов из-за перегрева.

Abstract

In this work, the development of a technology for the formation of cell structures of titanium oxide with resistive switching functionality is described for use as elements of random, access memory and other devices. The developed technical solution will achieve energy independence in information storage in electronic components, which, in turn, will accelerate the processing speed of information over long distances, reduce the energy consumption of the device, and minimize wear on individual components due to overheating.

**Ключевые слова:** мемристор; резистивность; локальное анодное окисление; сканирующая зондовая микроскопия; филаментная нить.

Keywords: memristor; resistivity; local anodic oxidation; scanning probe microscopy; filamentary thread.

В современном мире невозможно представить любое вычислительное устройство без оперативной памяти. Оперативная память представляет из себя элемент вычислительного устройства на основе транзисторов, в которым хранятся данные происходящих операций в системе. Память на основе транзисторов имеет ряд своих минусов: ограничение в количестве загруженной и обрабатываемой информации, обусловленное спецификой размеров транзисторов; энергозависимость элемента из-за принципов работы транзистора: для хранения информации требуется постоянная подача электрического тока, чтобы держать механическую створку открытой. Для решения данных проблем предлагается альтернативная ячейка обработки и хранения информации – мемристор. В результате реализации проекта предполагается решение данных проблем: для хранения информации в буфере оперативной памяти не требуется электрической ток, так как мемристорная ячейка работает по принципу изменения свойств проводимости элемента без механических структур; ограничение размеров мемристора обуславливаются 5 молекулами элемента – это наименьший размер для образования филаментных нитей. При достижении целей разработки, мемристоры можно будет использовать в качестве аналогов транзисторов, устройства на их основе не будут подвержены риску потери информации при отключении света и будут иметь больший объем памяти из-за увеличения количества ячеек при тех же размерах чипа.

Общий объем рынка полупроводниковой памяти оценивается в 110 миллиардов долларов на 2020 год. Стартапы в области микроэлектроники имеют колоссальную востребованность и перспективу особенно в России, где в настоящий момент не создана конкурентно способная отрасль по производству элементной базы для микроэлектроники.

Исследование оксидных структур титана требует опытные образцы пленок титана толщиной 1, 3, 5 нм., разбитые на определенные ячейки одинакового для сравнения полученных результатов и локального взаимодействия с металлом [1]. Большое количество ячеек на одном образце одинаковой толщины позволит производить исследования резистивной цикличности полученного оксида без надобности расходовать ресурс металла вокруг испытуемого объекта, так как при подаче любого напряжения на поверхность или зонд есть риск дальнейшего окисления [2], что быстро выводит рабочую область из строя без возможности дальнейшей резистивной циклизации.

Далее методикой силовой литографии были выгравированы метки для расположения будущих ячеек титана (рис. 1).



Рис.1 Снимок подложки с метками для фоторезистивной печати

Силовая литография представляет из себя токарную работу в микроскопическом формате – с помощью зонда повышенной жесткости с образца по шаблону удаляется часть поверхность для нанесения определенного вида фигур и объектов. Далее по меткам на образцы были напечатаны пленки титана разный толщины: 1 образец – толщиной в 1 нм., 2 образец – толщиной 3 нм., 3 образец – толщиной 5 нм [3]. Фоторезистивная печать представляет из себя методику нанесения сверхтонких слоев металла в определенной области на поверхность. На поверхность всего образца наносится фоторезист, после чего его экспонируют под воздействием УФ-излучения через маску с изображением. Маска представляет из себя шаблон из не пропускающего УФ-излучения пленки с техническим отверстиями размером предполагаемых образцов. В месте УФ-излучение происходит фотохимические изменения фоторезиста, он становится более растворимым к растворителям относительного остального фоторезиста. Далее на поверхность образца наносится растворитель, который удаляет фоторезист, прошедший экспонирование. После чего на образец наносится пленка металла необходимой толщины, которая занимает образовавшиеся пустоты в фоторезисторе и остается на основном образце, после чего весь остальной фоторезист удаляется (рис. 2).

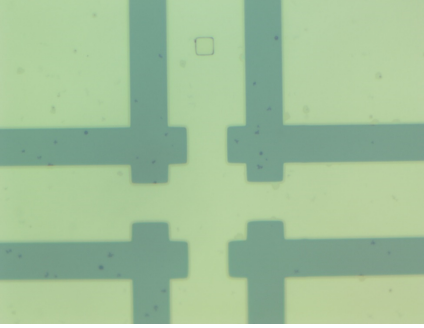


Рис. 2 Снимок одной из ячеек полученных образцов

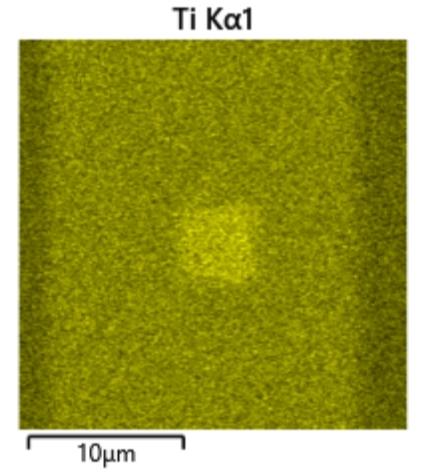
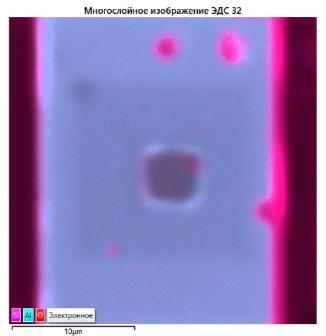
Для подтверждения правильности подготовки образцов было принято решение провести энергодисперсионный анализ (сокращенно ЭДС) образцов на сканирующей электронном микроскопе. В результате ЭДС были получены карты распределения химических элементов ячеек, на которых отчетливо различим титан в области фотопечати (рис. 3). 

Рис.3 Карта распределения химических элементов с подтверждением наличия титана.

На полученных образцах методиками локального анодного окисления были выращены структуры оксида титана в условиях повышенной влажности внутри камеры сканирующего зондового микроскопа [4] (рис. 4).

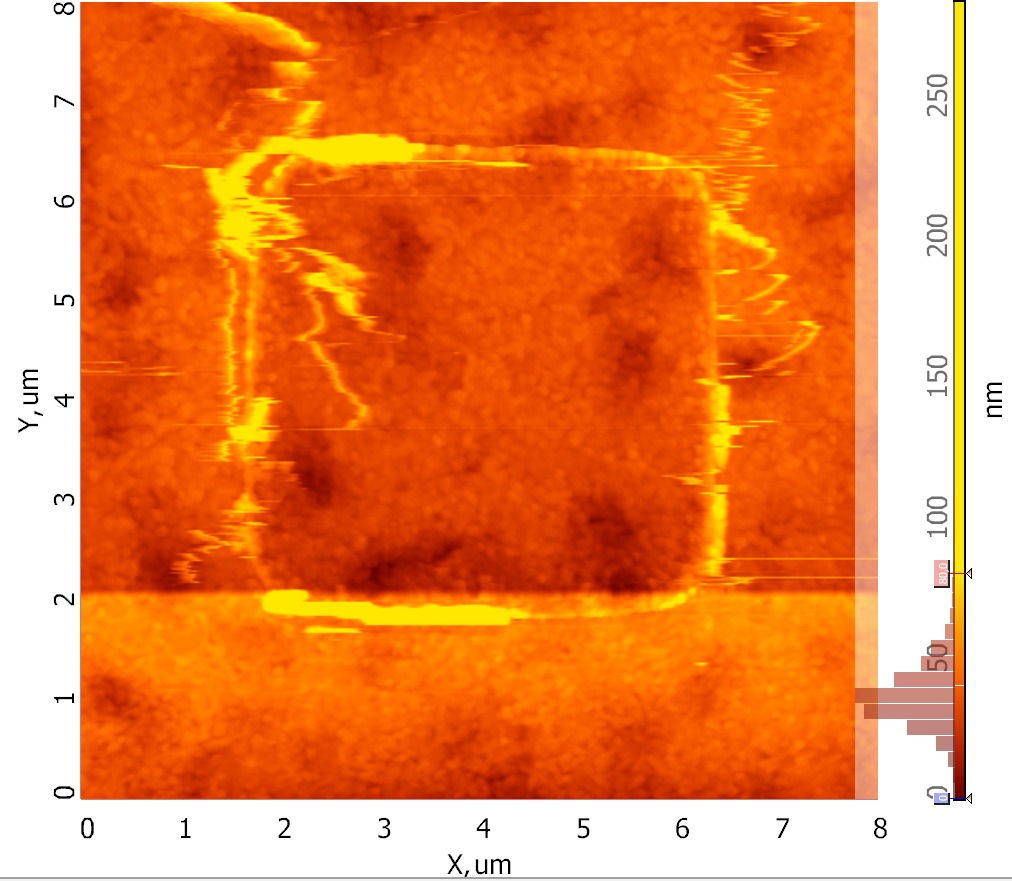
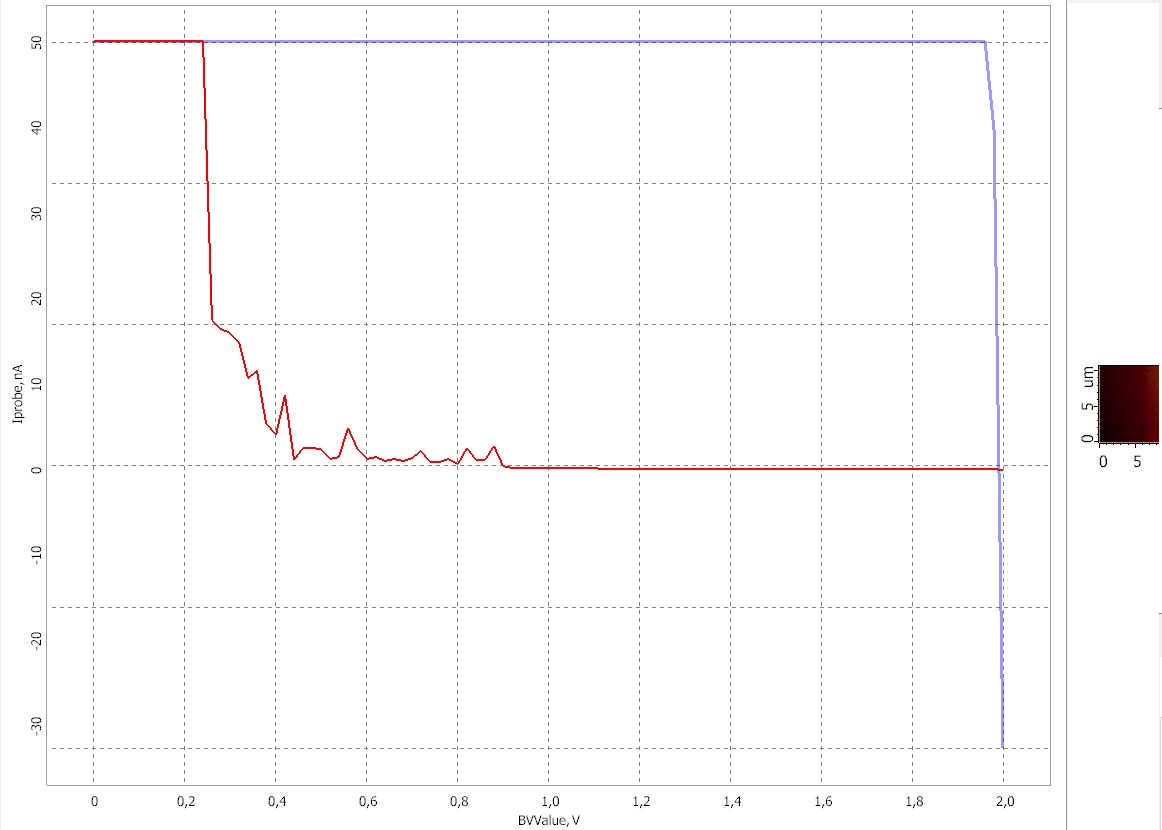


Рис.4 АСМ изображение выращенных структур.

Структуры выращивались при разных параметрах подачи напряжения на зонд с целью выявления оптимального размера структур для образования резистивных свойств. Параметры локального анодного окисления: напряжения 3, 5 и 10 Вт [5], скорость перемещения зонда 0,5 мкм/c с шагом в 50 нм; уровень относительной влажности в камере не менее 40%. Далее выращенные структуры оксида титана высотой 1,3 и 5 нм были исследованы с помощью методик электросиловой спектроскопии с целью фиксации изменения свойств сопротивления структур. Для этого на зонд, подведенный к структуре, ступенчато подавалось напряжение от 1 до 3 Вт до фиксации изменения сопротивления за счет образования филаментных нитей, которые фиксировались на графиках вольт-амперных характеристик. После переключение структуры в состояние проводимости, подавалось напряжение от -1 до -3 Вт для разрушения филаментных нитей и перевода структуры в диэлектрик. После прохождения ячейкой одного цикла переключений зафиксировались следующие данные проводимости при постоянном исходном токе в 50 мкА: при образованной филаментной нити до приемника пришло от 43мкА до 46 мкА, потеря от исходного в 8% подтверждает наличие свойств проводимости в данном состоянии материала (рис. 5)

  
Рис. 5 BAX график проводимости ячейки.

При разрушении филаментной нити до приемника пришло от 0,1 до 0,3 мкА, что является погрешностью вычислительных элементов сканирующего зондового микроскопа. Такие показатели тока доказывают диэлектрические свойства материала в данном состоянии. После получения результатов за один цикл были проведены испытания ресурса переключений структур. Самая стабильная структура прожила 46 циклов, большего количества большего добиться не удалось из-за отсутствия возможности проведения экспериментов в среде вакуума. Для доказательства наличия оксидных структур были созданы карты распределения химических элементов методиками энергодисперсионной спектроскопии на сканирующем электронном микроскопе, высотные характеристики структур были получены в результате исследования морфологии поверхности на сканирующем зондовом микроскопе.

**Выводы.**

В данной работе были проведены исследования структуры со свойствами резистивного переключения. Наиболее стабильные структуры имеют коническую форму с высотой не более 3нм. Получено подтверждение свойств изменения проводимости, сравнимое с свойствами механической створки элемента транзистора. Структуры стабильно сохраняют информацию (проводимость) без постоянной подачи тока более 40 циклов. В дальнейшем планируется формирование полноценной матрицы для визуализации процесса накопления данных структур в двоичной системе формата 2х2 ячейки размерами 1х1 мкм, а также капсулирование образцов для защиты от внешней воздушной среды.

**Используемые источники**

1.Агеев О.А., Беляев А.Е., Болтовец Н.С., Конакова Р.В., Миленин В.В., Пилипенко В.А. Фазы внедрения в технологии полупроводниковых приборов и СБИС. – Х.: НТК “Институт монокристаллов”, 2008. – 392 с

2.Дорошева И. Б. Электрохимическое формирование нанотубулярных структур TiO2 с использованием фторсодержащего раствора этиленгликоля // Выпускная квалификационная работа бакалавра, ФГАО ВПО УрФУ. – 2014, – с. 49

3.Достанко А.П., Аваков С.М., Агеев О.А. и др. Технологические комплексы интегрированных процессов производства изделий электроники. – Мн.: Белорусская наука. 2016. – 251 с.

4.Неволин В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике. – М.: Техносфера, 2006. – 160 с.

5.Чаплыгин Ю.А. Нанотехнологии в электронике. – М.: Техносфера, 2005. – 448 с