

Исследование технологических и конструктивных особенностей мемристоров, изготовленных магнетронным распылением

А.В. Мороз, Н.И. Сушенцов

*г. Йошкар-Ола, Поволжский государственный технологический университет,
Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: sniyola@mail.ru*

Показана возможность формирования мемристоров на основании активного слоя TiO_2/TiO_x методом реактивного магнетронного распыления. Показана зависимость Получен мемристор с отношением сопротивлений в высокоомном состоянии, почти в два раза превышающем сопротивление в низкоомном состоянии.

Research of technological and design features of memristors made by magnetron sputtering. A.V. Moroz, N.I. Sushentsov. The possibility of memristors formation on the basis of the active layer TiO_2 / TiO_x by reactive magnetron sputtering is shown. The dependence is given. A memristor is obtained with a resistance ratio in the high-resistance state almost two times higher than the resistance in the low-resistance state.

Требования микроминиатюризации диктует свои условия разработчиком компонентной базы. Память на транзисторах практически достигла теоретического предела уменьшения площади элементов [1]. В связи с этим предпринимаются попытки по созданию альтернативных видов памяти на основании элементов, позволяющих обеспечить такие параметры как энергонезависимость, долговечность, малые размеры, высокое быстродействие. В настоящее время на роль этих элементов претендуют мемристоры – элементы, состояние которого зависит от прошедшего через него тока [2]. Это двухвыводной элемент, выполненный по технологии металл-диэлектрик металл, сопротивление которого может находиться в двух состояниях низкоомном и высокоомном [3]. Переключение мемристора из одного состояние в другое осуществляется за счет перераспределения легирующей примеси (положительных ионов) под действием напряжения. При этом расширяется или сужается недоокисленная область активного слоя, а следовательно изменяется сопротивление активного слоя. Поскольку сопротивление не зависит от накопленного заряда, то сопротивление не изменяется со временем, что гарантирует ее долговечность. В качестве активного слоя мемристора могут использоваться тонкие пленки большого класса материалов на основе окислов: MgO, TiO_x, ZrO_x, HfO_x, VO_x, NbO_x, TaO_x, CrO_x, MoO_x, WO_x, MnO_x, FeO_x, CoO_x, NiO_x, CuO_x, ZnO_x, AlO_x, GaO_x, SiO_x, SiO_xN_y, GeO_x, SnO_x, BiO_x, SbO_x; окислов редкоземельных металлов: Y, Ce, Sm, Gd, Eu, Pr, Er, Dy и Nd; перовскитов: SrTiO₃, Ba_{0,7}Sr_{0,3}TiO₃, SrZrO₃, BiFeO₃) и в нитридах, например таких как AlN [4]. Как правило, активный слой мемристора формируется при помощи технологий химического осаждения, например атомное-слоевое осаждение [].

Целью данной работы является показать возможность формирования мемристоров методом реактивного магнетронного распыления.

Для достижения поставленной цели было решено ряд задач:

1. выбор конструкции мемристора.
2. подбор материалов проводящих и активных слоев мемристоров с точки зрения их технологической сочетаемости в методе магнетронного распыления.
3. разработка технологии формирования мемристора методом магнетронного распыления.
4. исследование полученных образцов.

Предварительные исследования показали, что при формировании конструкции мемристора с одним общим электродом (рис.1.) и активным слоем TiO_2/ TiO_x , с точки зрения технологической совместимости оправданно использовать в качестве материала для нижнего электрода медь с адгезионным подслоем хрома, а для верхнего электрода – медь.

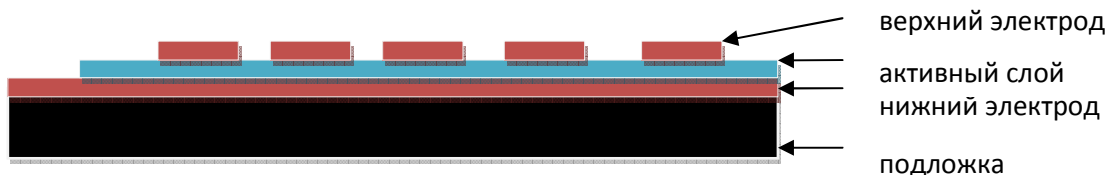


Рис.1 Конструкция мемристора.

Формирование мемристора осуществлялось при помощи автоматизированной установки магнетронного распыления [5]. Данная установка оснащена тремя несбалансированными магнетронами диаметром 80 мм с расширенной зоной эрозии мишени. Такая конструкция магнетрона обеспечивает большую равномерность нанесения слоев, что в сочетании с вращением подложки позволяет уменьшить неравномерность толщины пленки, формируемой на расстоянии мишень-подложка 50 мм, до 1%. Магнетроны оснащены мишенями из хрома, меди, титана. Питания магнетронов осуществляется при помощи импульсных блоков питания. Для формирования реактивной среды в камере использовались пара электронный вакуумметр и натекаатель фирмы «Метахром», которые позволяют с высокой точностью до 1% формировать смесь из рабочего и реактивного газов и поддерживать необходимое давление смеси газов в камере во время распыления с точностью 10%. На пыление активного слоя и верхних контактов осуществлялось масочным методом. Было изготовлено 5 вариантов мемристоров, основные характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики опытных образцов мемристоров.

№ образца	Активный слой	Толщина активного слоя, мкм	Размер верхних обкладок, мм ²	R_H/R_L	Напряжение записи, В
1.	TiO ₂	0,8	2*3	1,03	1,1
2.	TiO _x	0,9	2*3	1,07	1,1
3.	TiO ₂ /TiO _x	1,7	2*3	1,2	0,9
4.	TiO ₂ /TiO _x	1,7	1*1	1,4	1
5.	TiO ₂ /TiO _x	1,7	0,8*0,8	2,1	1

Проводящие слои обкладок мемристора формировались в атмосфере аргона при давлении 1 Па. Диоксид титана формировался в газовой среде, содержащей 80% аргона и 20 % кислорода при давлении 1 Па. Слой TiO_x формировался в условиях недостатка кислорода его содержание в камере во время распыления составляло 5%. Ток разряда магнетронов во всех случаях поддерживался на уровне 1 А. Толщина измерялась при помощи атомно-силовой микроскопии по ступеньке в активном слое. Далее снимались вольт-амперные характеристики образцов (рис. 2). Наилучшего результата (большого гистерезиса) удалось добиться при использовании сложного активного слой TiO₂/TiO_x, тогда как в структурах, содержащих только один слой TiO₂ или TiO_x, гистерезиса практически не наблюдалось. Также наблюдается увеличение отношения сопротивления в двух состояниях при уменьшении площади верхнего контакта.

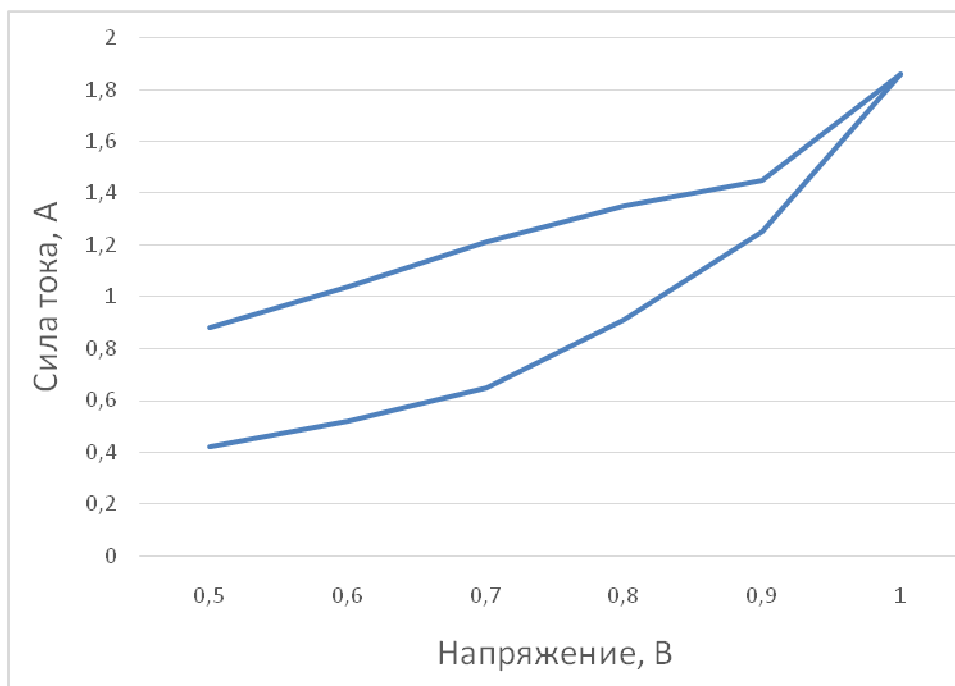


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика образца №5.

Таким образом, в ходе проведенных работ была показана принципиальная возможность формирования мемристоров методом реактивного магнетронного распыления. Установлено что для получения гистерезиса вольт-амперной характеристики мемристора нужно применять двухслойные активные слои. Дальнейшие исследования будут направлены на отработку технологического процесса формирования мемристоров, уменьшения площади перекрытия контактных площадок путем применения фотолитографии. Это позволит уменьшить толщину активного слоя мемристора и увеличить его сопротивление и отношение сооппротивлений в высокоомном и низкоомном состояниях.

Литература

1. Хэйер, Дж., Полупроводниковые технологии в Европе. Пути развития/ Дж.Хэйер, А.Пятенко// Электроника: наука, технологии, бизнес. – 2014. – № 137. – С. 126-128
2. Pershin, Y. V. Memory effects in complex materials and nanoscale systems/ Y. V. Pershin, M. D.Ventra //Advances in Physics – 2011. – Vol. 60. – No. 2. – 2011. – С. 145–227.
3. Гудков, А. Мемристоры – новый тип элементов резистивной памяти для наноэлектроники/ А.Гудков, А.Гогин., М. Кик, А. Козлов, А.Самусь// Электроника: наука, технологии, бизнес. – 2014. – № 137. – С. 156-162
4. Yang, J., Stewart D.R. Memristive devices for computing./ J. Yang, D.B. Strukov, D.R. Stewart//Nature Nanotechnology, 2013, v.8, p.13-24.
5. Сушенцов, Н.И.. Автоматизированная установка магнетронного распыления/ Н.И. Сушенцов, Д.А. Двоглазов, С.А. Степанов, А.В. Мороз // Материалы XV Международной научно-технической конференции «Высокие технологии в промышленности России» и XXI Международного симпозиума «Тонкие пленки в электронике».– М.: ОАО ЦНИТИ «Техномаш», 2009. – С. 462–465.