



УДК 004.076.4

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.248.249

# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ $V_{SET}$ И $R_{OFF}$ ДЛЯ ЯЧЕЕК ПАМЯТИ RERAM НА ОСНОВЕ ОКСИДА ГАФНИЯ

## FUNCTIONAL METHODS OF $V_{SET}$ AND $R_{OFF}$ STABILIZATION FOR RERAM MEMORY CELLS BASED ON HAFNIUM OXIDE

ЛЕБЕДЕВ АНТОН ОЛЕГОВИЧ

alebedev@niime.ru

LEBEDEV ANTON O.

alebedev@niime.ru

ИВАНОВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

IVANOV SERGEY V.

ОРЛОВ ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ

К. т. н.

ORLOV OLEG M.

Ph.D

АО «НИИМЭ»

124460, г. Москва, г. Зеленоград,  
1-й Западный проезд, 12, стр. 1

Molecular Electronics Research Institute JSC

bld. 1, 12 1st Zapadny Lane, Zelenograd,  
Moscow, 124460, Russia

В работе представлены результаты применения функциональных методов стабилизации для основных характеристик ячеек энергонезависимой памяти ReRAM. Рассмотрены две группы методов: импульсные и DC-методы; показано, что методы из каждой группы приводят к стабилизации параметра  $V_{set}$ , импульсные методы также уменьшают разброс параметра  $R_{off}$ . Приведены преимущества и недостатки циклирования при каждом методе стирания ячейки, проведен статистический анализ результатов, после которого эффективности всех методов сравнены между собой. Предложена феноменологическая модель стирания, иллюстрирующая процессы в МИМ-структуре при стирании ячейки.

**Ключевые слова:** энергонезависимая память; резистивная память; ReRAM; оксид гафния; Reset Verify; Gate Voltage Ramp.

This paper presents the results of applying functional methods of stabilization for main characteristics of ReRAM non-volatile memory cells. Two group of methods have been examined: impulse and DC-methods, it is shown that all methods from both groups lead to stabilization of  $V_{set}$ , and impulse methods also reduce the scatter of  $R_{off}$ . Advantages and disadvantages of every method are represented, statistical analysis of results has been carried out. Then the efficiency of all methods have been compared as well as phenomenological model illustrating processes in MIM during reset.

**Keywords:** non-volatile memory; resistive memory; ReRAM; hafnium oxide; Reset Verify; Gate Voltage Ramp.

Данная работа посвящена применению методов работы с ячейками резистивной памяти, позволяющими устранить нестабильность характеристик памяти при циклировании. В связи с тем что разработка энергонезависимой памяти является важнейшей задачей современной микроэлектроники [1], а резистивная память является одним из основных кандидатов на роль «универсальной» памяти [2, 3], данная тема имеет значительную актуальность. Несмотря на существование работоспособных прототипов ячеек памяти ReRAM на основе оксида гафния, создание интегральных схем, включающих такую память, затруднено в значительной мере из-за низкой повторяемости электрофизических характеристик, в основном таких, как напряжение записи и сопротивления в стертом состоянии.

Мотивация данной работы исходит из необходимости устранить разброс характеристик и нестабильность работы ячеек IT-1R ReRAM на основе стека Pt/HfO<sub>2</sub> (6 нм)/TiN с p- и n-канальными транзисторами, которые были обнаружены в предыдущих исследованиях. Рис. 1 и 2 иллюстрируют следующие результаты: как при исследовании от цикла к циклу, так и от ячейки к ячейке обнаруживается разброс двух основных параметров —  $R_{off}$  и  $V_{set}$ . Так,  $V_{set}$  может отличаться на 2 В при среднем значении в 1,8 В даже в двух последовательных циклах

записи-стирания,  $R_{off}$  же может отличаться на четыре порядка. Таким образом, основной вклад в нестабильность характеристик вносит стертое состояние ячейки памяти и процесс записи — переход из стертого в записанное состояние.

Проведен аналитический обзор возможных методов повышения стабильности характеристик. Существуют два пути решения обозначенных проблем: функциональный [4] и технологический [5]. Первый предполагает усовершенствование методов программирования и проверки состояния ячейки, второй — изменения в структуре функционального слоя и электродов ячейки и совершенствования технологии.

Построена феноменологическая модель, отражающая процессы, происходящие в элементе хранения при стирании. На ее основе сделаны выводы и выдвинуты предположения, как нужно изменить процесс функционирования ячейки при стирании для уменьшения разброса характеристик. Методы стабилизации можно разделить на две группы — импульсные и DC-методы. Они были адаптированы для исследований на заводе «Микрон» и применены к ячейкам памяти на основе оксида гафния.

Сравнение методов стабилизации между собой и с классическим процессом стирания при проведении

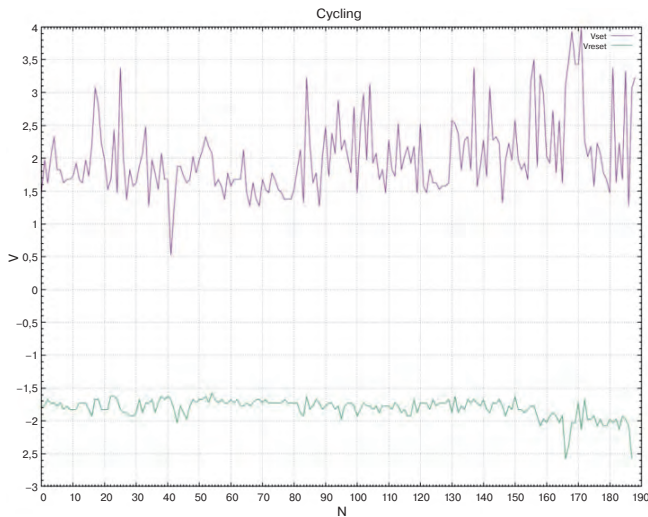


Рис. 1. Напряжения записи  $V_{set}$  и стирания  $V_{reset}$  при циклировании одной ячейки

циклирования проводилось на основе статистической обработки данных эксперимента. Параметр  $V_{set}$  распределен практически нормально при циклировании, поэтому для выводов по его стабилизации его распределение аппроксимировалось гауссовым и выводы делались по значениям средней величины и отклонению. Все методы из обеих групп оказались эффективны для стабилизации  $V_{set}$ , так, например, среднее значение и отклонение для DC-метода GVR составили 1 и 0,06 В в сравнении с 0,99 и 0,14 В для классического стирания (см. рис. 3).

В отличие от DC-методов, импульсный метод проверки стирания (Reset Verify) приводит также и к уменьшению разброса параметра  $R_{off}$ . На рис. 4 представлено окно памяти для циклирования ячейки (250 циклов) на основе оксида гафния при ее стирании методом Reset Verify. К достоинствам этого метода также можно отнести расширенное окно памяти, оно увеличивается на три порядка, и низкую скорость его деградации при циклировании.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Красников Г.Я., Шелепин Н.А. Состояние и перспективы развития технологий и элементной базы СБИС с энергонезависимой памятью // Проектирование систем на кристалле: тенденции развития и проблемы. Сборник тезисов, 2010. — 55 с.
2. Meena J.S. et al. Overview of emerging nonvolatile memory technologies // Nanoscale Research Letters, 9:526, 2014.
3. Орлов О.М., Маркеев А.М., Зенкевич А.В., Егоров К.В., Черникова А.Г. Исследование особенностей элементов энергонезависимой памяти FRAM и ReRAM, полученных с использованием метода атомно-слоевого осаждения // Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника, 2015. — Т. 4 (160). — С. 62–68.
4. Shimeng Yu, Ximeng Guan, Wong Philip H.-S. // On the Stochastic Nature of Resistive Switching in Metal Oxide RRAM: Physical Modeling, Monte Carlo Simulation, and Experimental Characterization.
5. Gao B., Zhang H.W. et al. // Oxide-Based RRAM: Uniformity Improvement Using A New Material-Oriented Methodology.

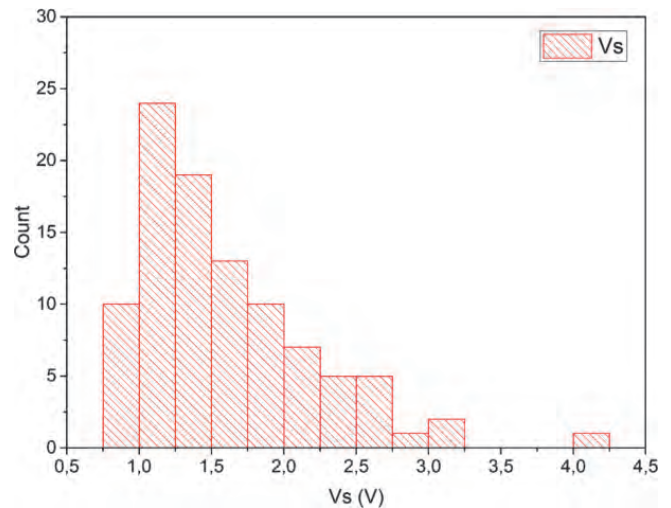


Рис. 2. Гистограмма напряжений записи  $V_{set}$  для 96 рабочих ячеек памяти

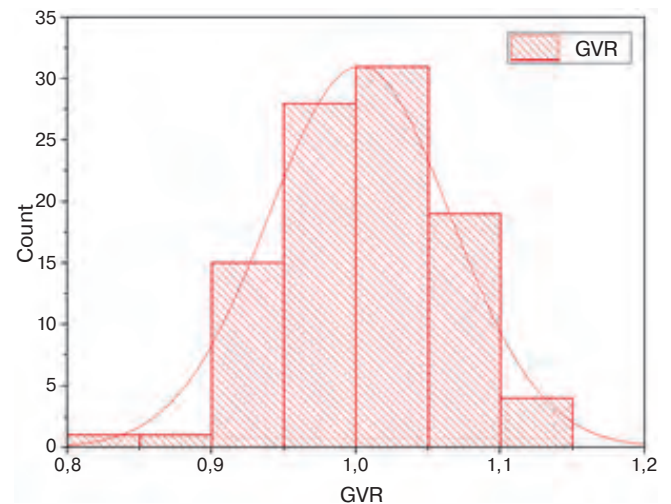


Рис. 3. Распределение напряжения записи для циклирования при стирании методом GVR

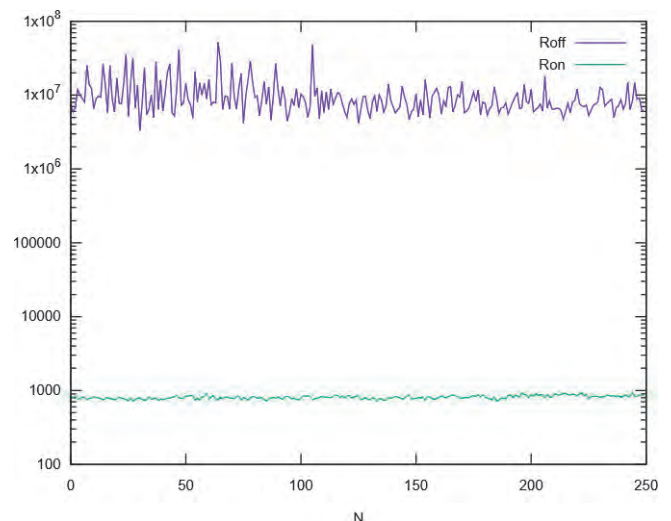


Рис. 4. Окно памяти для циклирования при стирании методом Reset Verify