

# Моделирование элементов энергонезависимой памяти типа RRAM на высокопроизводительных вычислительных системах методом Монте-Карло \*

А. Макаров<sup>1,2</sup>, В. Свердлов<sup>1</sup>, Д. Крыжановский<sup>2</sup>, М. Гиркин<sup>2</sup>, S. Selberherr<sup>1</sup>

Institute for Microelectronics, TU Wien, Вена, Австрия<sup>1</sup>,  
Волгоградский Государственный Технический Университет, Волгоград, Россия<sup>2</sup>

Концепции памяти, основанные на хранении заряда (такие как Flash память, DRAM и другие), близки к физическому пределу масштабирования. В последние несколько лет рост интереса к минимизации устройств (например MP3 плееров и мобильных телефонов) способствует ускорению разработки новых типов памяти. Кроме хорошей масштабируемости новые типы памяти должны характеризоваться низким рабочем напряжением, низким энергопотреблением, высокой скоростью работы, высокой надежностью и простой структурой [1]. Наиболее перспективными в этой связи являются типы памяти, основанные на явлении резистивного переключения (CBRAM, PCRAM, RRAM). Данные типы памяти обладают наиболее простой структурой (метал - изолятор - металл) и, как следствие, хорошей масштабируемостью. Кроме того, RRAM также характеризуется быстрым временем переключения ( $< 10ns$ ), низким рабочим напряжением ( $< 2V$ ) и большой плотностью элементов. В качестве изоляторного слоя в памяти типа RRAM используются оксиды металлов, такие как  $TiO_x$ ,  $HfO_2$ ,  $Cu_xO$ ,  $NiO$ ,  $ZnO$ , и перовскиты, такие как  $SrTiO_3$ ,  $SrZrO_3$ ,  $Pr_{1-x}Ca_xMnO$ . В недавних исследованиях были предложены несколько моделей резистивного переключения RRAM, однако фундаментального понимания механизма переключения до сих пор не достигнуто [2].

В данной работе мы представляем результаты стохастического моделирования памяти RRAM. Мы ассоциируем резистивное переключение в данном типе памяти с формированием и разрывом проводящих нитей. Проводящая нить формируется из локализованных вакансий кислорода ( $V_o$ ) или доменов  $V_o$ . Формирование и разрыв проводящей нити происходит вследствие окислительно-восстановительной реакции в оксидном слое под приложенным напряжением. Электрическая проводимость обусловлена прыжками электронов между  $V_o$ .

Для моделирования резистивного переключения методом Монте-Карло, в соответствии с изложенной выше концепцией, мы описываем динамику ионов кислорода и электронов в оксидном слое как: 1) прыжок электрона на вакансию с электрода; 2) прыжок электрона с вакансии на электрод; 3) прыжок электрона между вакансиями; 4) формировании вакансии кислорода за счет выхода иона кислорода в междоузлие; 5) аннигиляция вакансии кислорода ионом кислорода.

Представленные результаты моделирования воспроизводят результаты экспериментальных исследований.

## Литература

1. Kryder, M.H., Kim C.S. After Hard Drives - What Comes Next? // IEEE Trans. Magn., 45 (2009); 3406-3413.
2. Makarov A., Sverdlov V., and Selberherr S. Stochastic Model of the Resistive Switching Mechanism in Bipolar Resistive Random Access Memory: Monte Carlo Simulations // Journal of Vacuum Science & Technology B, 29 (2011), 1; 01AD03-1 - 01AD03-5.

---

\*Работа выполнена при поддержке European Research Council грант No. 247056 MOSILSPIN.