

## ДИНАМИКА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТА РЕЗИСТИВНОЙ ПАМЯТИ

Д.В. СТРЕМОУС<sup>1</sup>, А.Л. ДАНИЛЮК<sup>2</sup>

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
ул. П. Бровки, 6, 220013 Минск, Республика Беларусь  
<sup>1</sup>stremous@list.ru, <sup>2</sup>danylyuk@nano-center.org

Рассчитаны ВАХ, пороговое напряжение переключения и сопротивление элемента резистивной памяти (RRAM) в зависимости от скорости нарастания внешнего смещения и рабочей температуры. Предложенная аналитическая модель адаптирована для использования в пакете схемотехнического моделирования SPICE.

*Ключевые слова:* резистивная память, SPICE моделирование, пороговое напряжение.

В настоящее время получают широкое распространение устройства резистивной энергонезависимой памяти с произвольным доступом (RRAM). Для разработки таких устройств необходимо создание эквивалентных схем и адаптация моделей устройств для использования в стандартных пакетах симуляторов схем, такие как SPICE. С помощью моделей SPICE можно рассчитывать динамические эффекты RRAM, такие как пороговое напряжение, изменение сопротивления при переключении, а также паразитные эффекты. Схема и модель SPICE также могут быть легко расширены за счет включения дополнительных эффектов, связанных с изменением внутреннего состояния, а также являются основой при разработке и моделировании памяти и логических схем на основе резистивных коммутационных элементов.

Элемент RRAM - это наноструктура, которая функционирует на основе обратимого резистивного переключения под действием импульсов электрического тока различной полярности. Такие схемы расширяют функциональность интегральных схем, являются энергонезависимыми и имеют возможность 3D-интегрирования [1].

Для моделирования в среде SPICE была создана эквивалентная схема. В ней переменная состояния представлена в виде плавающего напряжения в узле между идеальным конденсатором и источником тока (рис. 1).

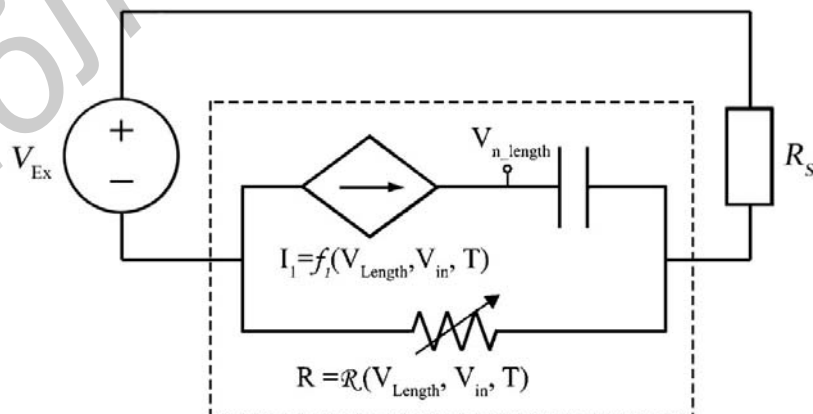


Рис. 1. Схема для расчета динамики переключения элемента RRAM.  
Эквивалентная схема RRAM обведена пунктиром

Для проведения расчетов схема соединяется последовательно со статическим резистором  $R_S$  и программируется импульсами напряжения. В результате проведенных расчетов установлено, что переключение ячейки характеризуется гистерезисным эффектом и пороговым напряжением, связанным с резким изменением сопротивления при переключении. Согласно динамике процесса пороговое напряжение не является фиксированным и зависит от скорости нарастания (развертки) напряжения. Например, при изменении скорости развертки с 2 до 8 В/с, пороговое напряжение изменяется с 2.4 до 2.6 В. Этот эффект зависимости порога напряжения от скорости развертки был подтвержден экспериментально и использован в моделях SPICE.

На рис. 2 показана динамика переключения элемента RRAM при приложении программируемых прямоугольных импульсов напряжения 5 В в зависимости от рабочей температуры.

Из полученных результатов видно, что элемент RRAM не включается сразу же, а проходит определенное время, прежде чем измеряемый ток регистрируется (порядка 2-5 нс). Это ожидание включения является уникальным для нелинейного роста проводящей области (токового шнура, или иначе филамента) и текущего тока. Момент переключения (включения) качественно определяется по резкому росту проводимости, таким образом, время включения может быть определено разностью между временем начала приложения программируемого импульса и моментом переключения.

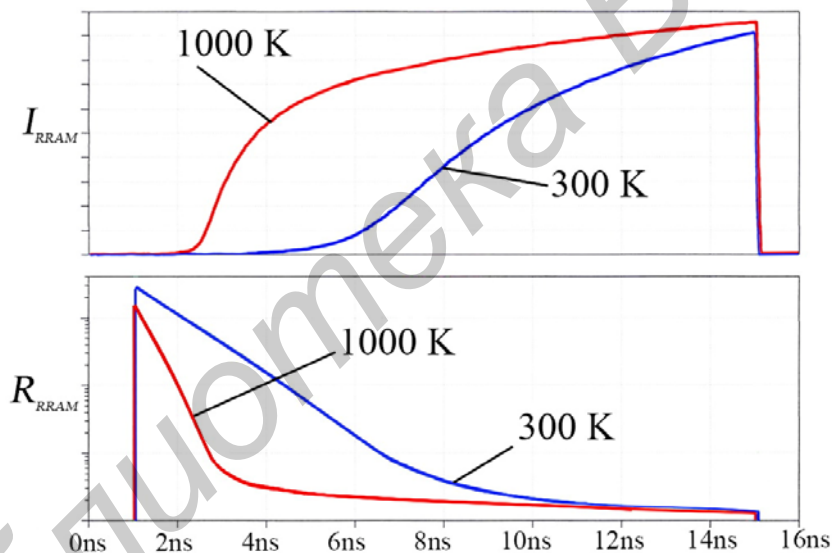


Рис. 2. Динамика переключения элемента резистивной памяти при приложении программируемых импульсов напряжения (5 В) при рабочих температурах 300 и 1000 К

Время включения экспоненциально зависит от внешнего смещения. Этот результат показывает важность динамических эффектов, так как структура характеризуется целым рядом переходных процессов. Полученные результаты по моделированию в пакете SPICE согласуются с экспериментальными данными.

#### Список литературы

1. Sheridan P., Kim K.-H., Gaba S. et al. // *Nanoscale*. 2011. Vol. 3, № 9. P. 3833-3840.