

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ В ЭЛЕМЕНТАХ ФЛЕШ-ПАМЯТИ

О. Г. Жевняк, В. М. Борздов, А. В. Борздов, А. В. Леонтьев

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: Zhevnyakog@mail.ru

Путем численного моделирования процесса разогрева электронов в элементах флеш-памяти методом Монте-Карло рассчитаны зависимости энергии электронов от координат в проводящем канале этих элементов в режиме считывания информации. Полученные зависимости позволили определить область канала, в которой происходит максимальный разогрев электронов в исследуемых условиях. Для оценки влияния горячих электронов на формирование паразитных туннельных токов были также рассчитаны зависимости плотности дрейфового тока от координат в активной области МОП-транзистора с плавающим затвором.

Ключевые слова: *элементы флеш-памяти, МОП-транзисторы, разогрев электронов.*

Тенденции развития современных структур флеш-памяти на основе кремниевых МОП-транзисторов с плавающим затвором направлены на уменьшение активных областей элементов флеш-памяти, в том числе их проводящих каналов, обеспечивающих запись или стирание бита информации (см., например, [1]). При этом особое внимание уделяется недопущению формирования в этих элементах паразитных туннельных токов высокого уровня в режиме считывания информации, которые могут привести к ее искажению. Данные токи образуются горячими электронами, имеющими большое значение энергии и дрейфующими вблизи границы раздела проводящий канал – туннельный оксид.

Целью настоящей работы явилось численное моделирование энергии электронов и плотности тока методом Монте-Карло в проводящем канале элементов флеш-памяти на основе кремниевых МОП-транзисторов с плавающим затвором. Особое внимание уделялось расчету зависимостей энергии электронов от координат по всей области проводящего канала, что позволяет оценить долю горячих электронов, формирующихся в приповерхностных участках. Используемые модели и алгоритмы численного моделирования процессов электронного разогрева в МОП-транзисторах аналогичны тем, что приведены в работах [2, 3].

МОДЕЛЬНЫЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ

На рис.1 показана двумерная схема моделируемого элемента флеш-памяти на основе МОП-транзистора с плавающим затвором. В качестве

модельного был взят транзистор со следующими конструктивно-технологическими параметрами: длина проводящего канала $L_{ch} = 0,2$ мкм, толщина подзатворного оксида $d_{ox} = 7$ нм, толщина туннельного оксида $d_{tun} = 2$ нм, концентрация донорной примеси в областях истока и стока $N_D = 10^{26} \text{ м}^{-3}$, концентрация акцепторной примеси в подложке $N_A = 10^{24} \text{ м}^{-3}$, глубина залегания истоковой и стоковой областей в подложке $d_j = 100$ нм.

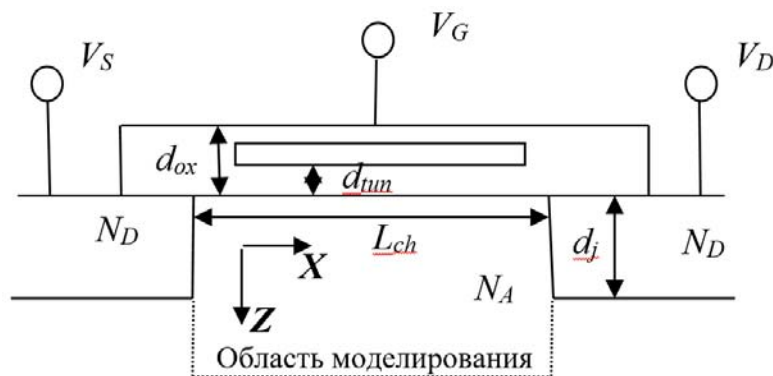


Рис. 1. Конструкция элемента флеш-памяти на основе МОП-транзистора с плавающим затвором

Исследовался рабочий режим считывания информации, при котором напряжения на стоке V_D и затворе V_G равнялись 1 В. Для рассматриваемого элемента флеш-памяти при данных напряжениях на стоке и затворе нами были рассчитаны зависимости энергии электронов, а также плотностей дрейфового тока в моделируемой области (см. рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

На рис. 2 приведена полученная в результате численного моделирования процесса электронного разогрева зависимость энергии электронов от координат x и z . На рисунке видно, что величина E вдоль канала (с увеличением значения x) растёт, в то же время в глубь подложки (с увеличением значения z) она может как расти, так и уменьшаться.

С целью оценки влияния горячих электронов на формирование паразитных токов в исследуемом элементе флеш-памяти мы рассчитали зависимости величины плотности дрейфового тока от координат x и z . На рис. 3 приведена зависимость, полученная для рассматриваемых условий. Сравнение зависимостей на обоих рисунках показывает, что в целом участки с высокой энергией электронов характеризуются относительно невысокой плотностью дрейфового тока.

Таким образом, в настоящей работе с помощью численного моделирования методом Монте-Карло рассчитаны двумерные зависимости энергии электронов и плотности дрейфового тока, которые дают воз-

возможность изучить пространственные характеристики процесса разогрева электронов в элементах флеш-памяти.

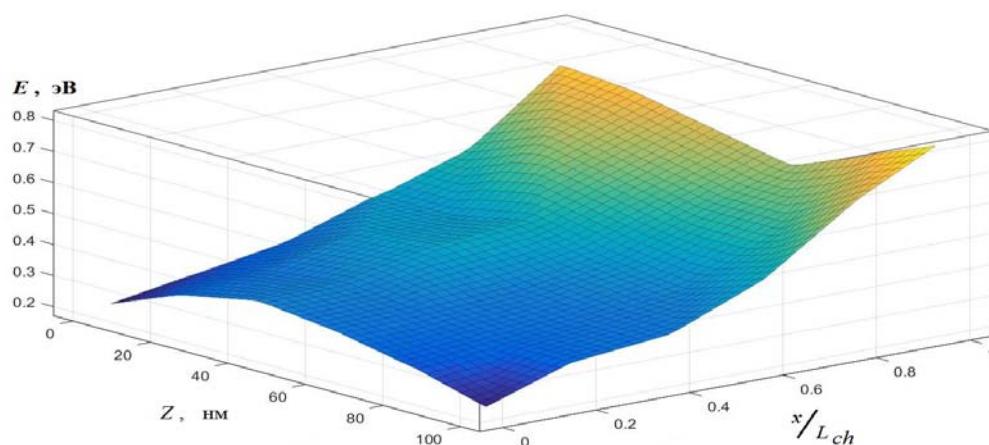


Рис. 2. Зависимость средней энергии электронов от координат в области моделирования в рассматриваемом элементе флеш-памяти

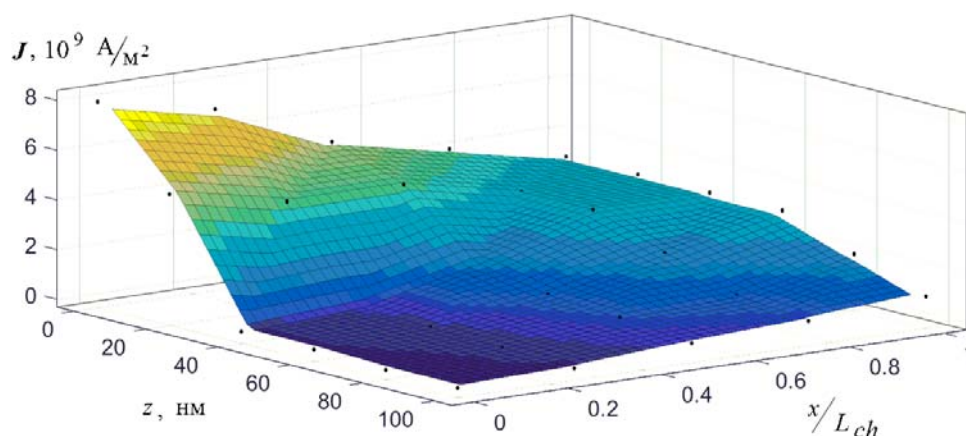


Рис. 3. Зависимость плотности дрейфового тока от координат в области моделирования в рассматриваемом элементе флеш-памяти

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. De Salvo B. Silicon Non-Volatile Memories: paths of innovation // London: Wiley-ISTE Ltd, 2009. 256 p.
2. Борздов В. М., Жевняк О. Г., Комаров Ф. Ф., Галенчик В. О. Моделирование методом Монте-Карло приборных структур интегральной электроники // Минск: БГУ, 2007. 175 с.
3. Жевняк О. Г., Борздов В. М., Борздов А. В. Моделирование влияния глубины залегания стока на паразитные туннельные токи в элементах флеш-памяти // Евразийский Союз Ученых. Серия: технические и физико-математические науки. 2021. Том.1, № 12. С. 58–61.