

В итоге имеет место достаточно гибкая модель, которая вполне может конкурировать с традиционными базами данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Емельяненко В. И. Трёхмерные модели распределённых баз данных // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии. CSIST – 2013: материалы международного конгресса, Республика Беларусь, Минск, 4-7 нояб. 2013г. С. 178–182.
2. Емельяненко В. И. Организационные модели событийных систем // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии. CSIST – 2016: материалы международного конгресса, Республика Беларусь, Минск, 24-27 октяб. 2016 г. С. 178–182.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУННЕЛЬНОГО ТОКА В ЭЛЕМЕНТАХ ФЛЕШ-ПАМЯТИ НА ОСНОВЕ КНИ-МОП-ТРАНЗИСТОРОВ

О. Г. Жевняк, Я. О. Жевняк

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: Zhevnyakol@tut.by

С помощью численного моделирования методом Монте-Карло рассмотрено влияние затворного напряжения на величину паразитных токов в элементах флеш-памяти на основе КНИ-МОП-транзисторов в рабочем режиме для транзисторов с узким и широким проводящим слоем.

Ключевые слова: КНИ-МОП-транзистор; флеш-память; электронный транспорт; туннельный ток; метод Монте-Карло.

Современные технологии КНИ (кремний-на-изоляторе) являются сегодня одними из самых эффективных средств проектирования и создания высокоскоростных элементов флеш-памяти сверхвысокой степени интеграции. В основе их работы лежит процесс туннелирования электронов из проводящего канала КНИ-МОП-транзистора на плавающий затвор данного прибора (см., например, [1]). Внутри подзатворного оксида создается металлический или поликремниевый дополнительный затвор, отделенный и от канала транзистора и от управляющего затвора туннельным оксидом. С уменьшением конструктивных размеров такого элемента флеш-памяти происходит увеличение паразитных туннельных токов, которые возникают в КНИ-МОП-транзисторе при чтении хранящегося в нем бита информации: при наличии заряда на плавающем затворе считывается 1, а при отсутствии заряда – 0. При определённых уровнях они могут привести к потере информации.

Целью настоящей работы явилось моделирование паразитных туннельных токов в КНИ-МОП-транзисторах с плавающим затвором. Расчет туннельных токов осуществлялся на основе моделирования электронного переноса в КНИ-МОП-транзисторах методом Монте-Карло вместе с самосогласованным решением уравнения Пуассона. Алгоритмы такого моделирования приведены в работах [2; 3].

На рис. 1 показана схема моделируемого элемента флеш-памяти на основе КНИ-МОП-транзистора. В качестве модельного исследовался транзистор со следующими конструктивно-технологическими параметрами:

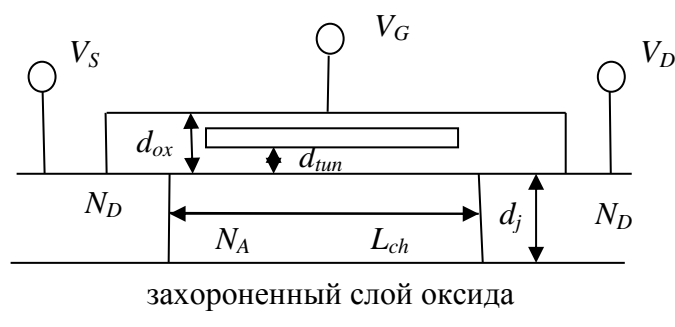


Рис. 1. Конструкция элемента флеш-памяти на основе КНИ-МОП-транзистора

длина проводящего канала $L_{ch} = 0,3$ мкм, толщина подзатворного оксида $d_{ox} = 6$ нм, толщина туннельного оксида $d_{tun} = 2$ нм, концентрация донорной примеси в областях истока и стока $N_D = 10^{26}$ м⁻³, концентрация акцепторной примеси в подложке $N_A = 10^{24}$ м⁻³.

Рассматривались элементы флеш-памяти на основе КНИ-МОП-транзисторов с двумя толщинами проводящего кремниевого слоя, выращенного на захороненном оксиде кремния, — с $d_j = 10$ нм и $d_j = 20$ нм. Исследовались рабочие режимы работы данных элементов (т. е. режимы считывания информации), при которых напряжения на стоке и затворе (соответственно, V_D и V_G) равняются 1 или 2 В. Именно при этих режимах и возникают паразитные туннельные токи.

На рис. 2 приведены полученные в результате моделирования зависимости (непрерывные кривые — $d_j = 10$ нм, штриховые — $d_j = 20$ нм). На рис. 2а приведены рассчитанные зависимости относительной величины паразитных туннельных токов для рассматриваемых условий. Для КНИ-МОП-транзисторов с толщиной проводящего слоя $d_j = 10$ нм величина этого тока оказывается приблизительно в два раза выше, нежели для транзисторов с толщиной $d_j = 20$ нм. Для данного типа транзисторов в отличие от обычных МОП-транзисторов характерно незначительное изменение концентрации электронов (и электрического потенциала) в глубь проводящего канала — в направлении от подзатворного оксида к

захороненному. Но при этом их общее количество определяется величиной затворного напряжения. В этой связи с уменьшением величины d_j происходит увеличение концентрации электронов у поверхности туннельного оксида, что не может не приводить к росту величины паразитных туннельных токов.

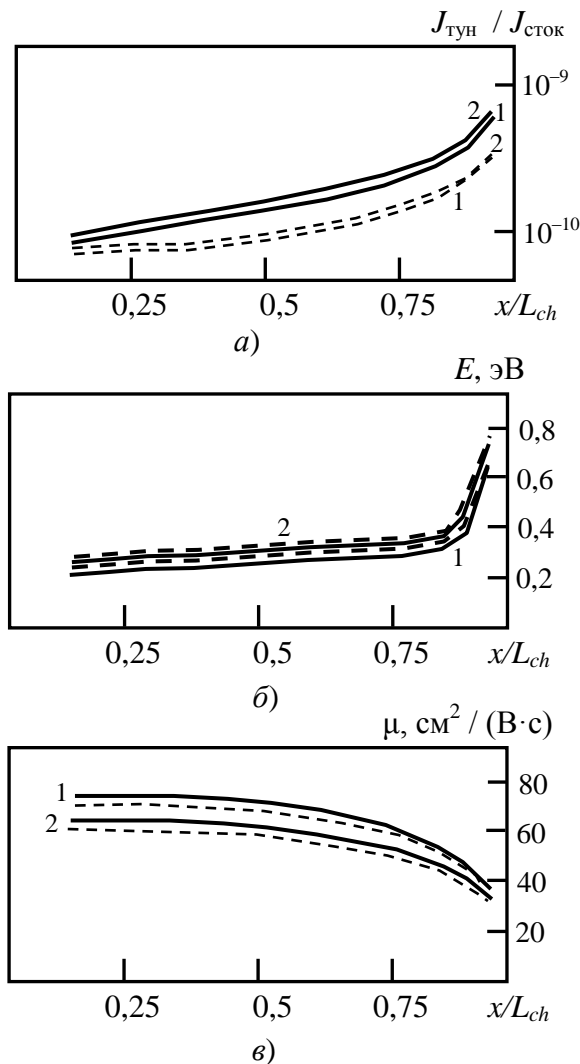


Рис. 2. Распределения вдоль канала КНИ-МОП-транзистора средних значений отношения туннельного тока на плавающий затвор к току стока (а), средней энергии (б) и подвижности электронов в канале (в): 1 – $V_G = 1$ В, 2 – $V_G = 2$ В; $V_D = 2$ В

С целью анализа кинетических характеристик электронов, формирующих паразитные туннельные токи в элементах флеш-памяти на основе КНИ-МОП-транзисторов, на рис. 2б и 2в приведены относительные зависимости вдоль проводящего канала средних значений энергии и подвижности электронов в данных каналах. Сравнивая кривые одновременно на обоих рисунках, несложно отметить, что между ними имеется обратная зависимость — чем выше значение энергии, тем меньше вели-

чина подвижности. С ростом энергии электрона происходит увеличение интенсивности его рассеяния. А чем чаще электрон рассеивается при своём дрейфе в проводящем канале, тем меньшим значением подвижности он характеризуется. С увеличением напряжения на затворе наблюдается незначительное увеличение энергии электронов, что, возможно, определяется некоторым увеличением напряжённости электрического поля в проводящем канале. Отличительной особенностью электронного переноса в рассматриваемых КНИ-МОП-транзисторах является также то, что в них не формируется низкоразмерный электронный газ.

Таким образом, в настоящей работе с помощью численного моделирования методом Монте-Карло рассмотрено влияние затворного напряжения на величину паразитных токов в элементах флеш-памяти на основе КНИ-МОП-транзисторов в рабочем режиме. Анализировались транзисторы с узким и более широким проводящим слоем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Baik S. J., Choi S., Chung U.-I., and Moon J. T. Engineering on tunnel barrier and dot surface in Si nanocrystal memories // *Solid-State Electron*. 2004. Vol. 48. P. 1475–1481.
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. Коэффициенты туннелирования электронов через потенциальные барьеры треугольной и ступенчатой формы // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015. Вып. 9, Ч. 3. С. 49–53.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДАТЧИКА НАПРАВЛЕНИЯ НА СОЛНЦЕ НА РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ЦИФРОВЫХ СЕНСОРАХ

А. А. Камоцкий, С. Н. Семенович, И. П. Стецко

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

E-mail: aliaksandr.kamotski@gmail.com, semenovich@bsu.by

Представлен процесс проектирования датчика направления на Солнце на распределённых цифровых сенсорах. Приведены способы определения вектора направления на солнце используя различные конфигурации фотодиодов. Обоснована конфигурация фотодиодов разработанного датчика, описана его структура. Приведено описание и структурная схема испытательного стенда и результаты испытаний датчика. Проведенные испытания подтвердили возможность использования опытного образца с распределёнными сенсорами в качестве датчика направления.

Ключевые слова: CubeSat; солнечный датчик; направление; фотодиод; ориентация.