

6. Оборудване для електронно-лучевой сварки,
А.И. Чверто, О.К.. Назаренко, А.М. Святский,

А.И. Некрасов, Издательство "Наукова думка",
Киев-1973 г.

УДК 621.382

ГРНТИ 29.35.47. Твердотельные приборы СВЧ-диапазона.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАЗИТНЫХ ТУННЕЛЬНЫХ ТОКОВ В ЭЛЕМЕНТАХ ФЛЕШ-ПАМЯТИ НА ОСНОВЕ КОРТОКАНАЛЬНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ

Жевняк Олег Григорьевич.

Белорусский государственный университет,
Минск, Республика Беларусь, 220030, пр. Независимости, 4.

Zhevnyak Oleg Grygoryevich.

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.2.76.901

АННОТАЦИЯ

Моделирование паразитных туннельных токов в элементах флеш-памяти на основе короткоканальных МОП-транзисторов.

В настоящей работе с помощью численного моделирования методом Монте-Карло электронного переноса в короткоканальных МОП-транзисторах с плавающим затвором рассчитаны распределения величины паразитного туннельного тока и средних значений энергии и подвижности электронов вдоль проводящего канала этих транзисторов. Проанализировано влияние стокового напряжения в элементах флеш-памяти при считывании информации в них на данные распределения. Показано, что в целом для рабочих режимов величина паразитных токов в рассмотренных элементах флеш-памяти очень мала. Однако при длительном хранении она может привести к изменению хранящегося на плавающем затворе заряда.

ABSTRACT

Simulation of parasitic currents in Flash-memory cells based on short-channel MOSFET.

In present paper the distributions of parasitic tunneling current as well as mean electron energy and mobility along the channel are calculated for short-channel MOSFETs by using Monte Carlo simulation of electron drift in such devices. The effect of drain bias in Flash-memory cells on these distributions is investigated for reading information regime. It is shown that the value of parasitic current is very small at considered conditions. But long storage can be change the charge in a floating gate of short-channel MOSFETs.

Ключевые слова: флеш-память, короткоканальный МОП-транзистор, туннелирование электронов, дрейф электронов, метод Монте-Карло.

Key words: Flash-memory, short-channel MOSFETs, electron tunneling, electron drift, Monte Carlo simulation.

Тенденции развития современных технологий флеш-памяти на основе кремниевых МОП-транзисторов с плавающими затворами направлены на уменьшение размеров данных транзисторов и повышение надёжности хранения информации в них, т. е. снижение величины протекающих в этих транзисторах паразитных туннельных токов (см., например, [1; 2]). Туннельные токи порождаются неоднородностями электронной плотности и электрического потенциала, возникающими в проводящем канале короткоканальных кремниевых МОП-транзисторов, лежащих в основе ячеек флеш-памяти, при чтении хранящейся в них информации. Накопление электронов с достаточно высокими энергиями в определенных участках канала может приводить к нежелательному туннелированию этих электронов на плавающий затвор и искажению хранящейся на нем информации.

Целью настоящего исследования явилось моделирование паразитных туннельных токов в короткоканальных МОП-транзисторах с плавающим затвором и, в частности, оценка влияния на них величины стокового напряжения транзистора при возможных режимах считывания хранящейся в ячейке флеш-памяти информации.

Расчет туннельных токов осуществлялся на основе моделирования электронного переноса в канале МОП-транзистора методом Монте-Карло вместе с самосогласованным решением уравнения Пуассона. Алгоритмы такого моделирования приведены в работах [3; 4], а процедура расчета туннельного тока рассмотрена в работе [5]. В качестве модельного исследовался МОП-транзистор с плавающим затвором со следующими конструктивно-технологическими параметрами:

длина канала $L_{ch} = 0,15$ мкм, толщина подзатворного окисла $d_{окс} = 6$ нм, толщина туннельного окисла $d_{тун} = 2$ нм, толщина плавающего затвора $d_{плав} = 2$ 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, глубина залегания истоковой и стоковой областей в подложку $d = 100$ нм.

На рис. 1 приведена энергетическая диаграмма ячейки флеш-памяти при протекании в ней паразитных туннельных токов. При считывании информации подаются рабочие напряжения на сток и затвор (порядка 2 В). Величина $U_{тун}$ относительна невелика (составляет около 0,3÷0,4 от $U_{затв}$), и

потенциальный барьер туннельного окисла имеет слабо скошенную в сторону плавающего затвора форму. Электроны движутся (дрейфуют) вдоль этого барьера в канале транзистора от истока к

стоку и ввиду скошенности вершины имеют вероятность, хоть и крайне малую, чтобы протуннелировать на плавающий затвор и исказить хранящуюся на нем информацию.

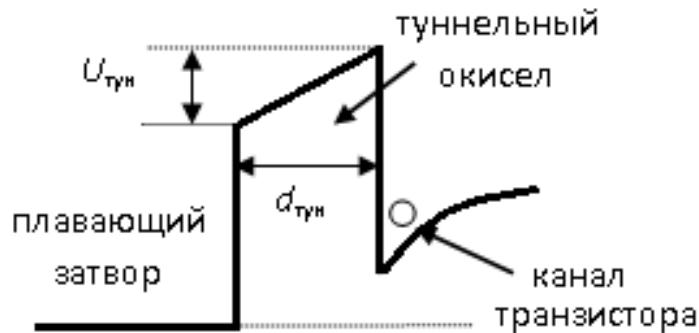


Рис. 1. Распределения вдоль канала МОП-транзистора средних значений энергии электронов.

На рис. 2 приведены полученные в результате численного моделирования распределения вдоль канала транзистора (вдоль потенциального барьера туннельного окисла) отношений величины паразитного туннельного тока к величине тока стока, т. е. тока электронов в канале (*a*), а также средних значений энергии (*b*) и подвижности электронов (*c*).

Моделировались три режима считывания информации: 1 – $U_{сток} = 1$ В (пунктирные линии), 2 – $U_{сток} = 2$ В (штриховые линии), 3 – $U_{сток} = 3$ В (непрерывные линии); для всех режимов $U_{затв} = 2$ В. Результаты моделирования показывают, что во-первых, для рассмотренных условий относительная величина паразитного тока не превышает значения 10^{-10} (туннельный ток, обеспечивающий запись бита информации “1” или его стирание соответствует уровню порядка 10^{-2}). Во-вторых, с ростом стокового напряжения почти по всей длине канала плотность (величина) паразитного

туннельного тока увеличивается. В-третьих, эта плотность по направлению от истока к стоку также увеличивается и максимальное значение наблюдается вблизи стокового перехода, где электроны в канале при своем дрейфе приобретают самую большую энергию — т. е. кривые паразитных токов и средней энергии в целом имеют прямую корреляцию. Некоторое отличие в поведении кривых — зависимости паразитного тока идут плавнее, нежели зависимости энергии — обусловлено изменением концентрации электронов вдоль канала, величина которой от истока к стоку уменьшается, что препятствует стремительному росту величины паразитного тока. И, в-четвертых, распределения вдоль канала плотности паразитного туннельного тока и средней подвижности электронов демонстрируют обратную зависимость — увеличение плотности тока сопровождается уменьшением величины подвижности.

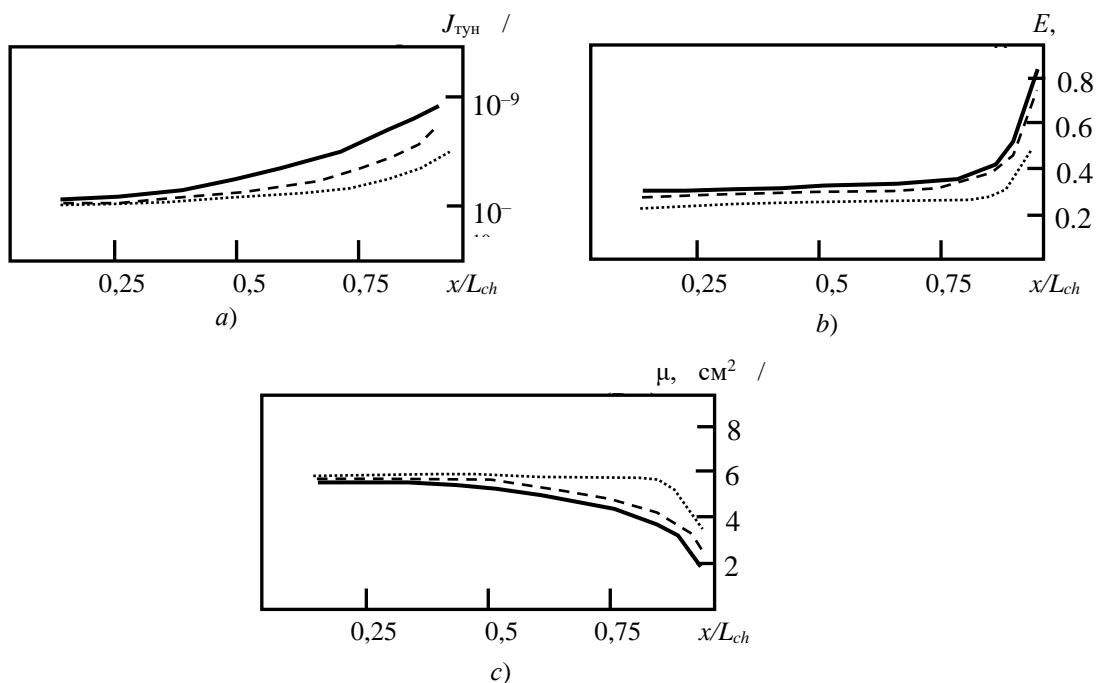


Рис. 2. Распределения вдоль канала МОП-транзистора средних значений отношения туннельного тока на плавающий затвор к току стока (а), средней энергии (б) и подвижности электронов (с) в канале.

Таким образом, в настоящей работе с помощью численного моделирования методом Монте-Карло проанализировано влияние стокового напряжения в элементах флеш-памяти при считывании информации на распределения вдоль проводящего канала относительной величины паразитного туннельного тока, а также средних значений энергии и подвижности электронов при возникновении данных паразитных токов. Показано, что в целом для рабочих режимов величина паразитных токов в рассмотренных элементах флеш-памяти очень мала. Однако при многократных считываниях и она может привести к изменению хранящегося на плавающем затворе заряда.

Список литературы:

1. Gerardi C., Ancarani V., Portoghesi R. et al. Nanocrystal Memory Cell Integration in a Stand-Alone 16-Mb NOR Flash Device // IEEE Trans. Electron Devices. 2007. Vol. 54, No 6. P. 1376–1383.
2. Govoreanu D., Wellekens D., Haspeslagh L. et al. Performance and Reliability of HfAlO_x-based Interpolary Dielectrics for Floating-Gate Flash Memory // Solid-State Electron. 2008. Vol. 52, Iss. 4. P. 557–563.

3. Борзов В.М., Жевняк О.Г., Комаров Ф.Ф., Галенчик В.О. Моделирование методом Монте-Карло приборных структур интегральной электроники. Минск: БГУ; 2007. [Borzdov V. M., Zhevnyak O. G., Komarov F. F., Galenchik V.O. Monta Carlo simulation of device structures of integral electronics. Minsk: BSU; 2007. (In Russ.)]

4. Zhevnyak O. Temperature effect on electron transport in conventional short channel MOSFETs: Monte Carlo simulation // Proc. SPIE. 2008. Vol. 7025. P. 1M-1–8.

5. Жевняк О. Г. Моделирование туннельного тока в элементах флеш-памяти // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. Вып. 9., Ч. 3. С. 49–53. [Zhevnyak Ol. Simulation of tunnel current in Flash-memory cells. International Research Journal. 2015; (9, 3):49-53. (In Russ.)]

АНКЕТНЫЕ ДАННЫЕ

Жевняк Олег Григорьевич, доцент, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физической электроники и нанотехнологий факультета радиофизики и компьютерных технологий Белорусского государственного университета, г. Минск.