

10. Impedance Spectroscopy of Concentrated Zirconia Nanopowder Dispersed Systems Experimental Technique / O. S. Doroshkevych [et al.] // World Journal of Condensed Matter Physics. – 2012. – №2. – P.1–9.
11. The effect of percolation electrical properties in hydrated nanocomposite systems based on polymer sodium alginate with a filler in the form nanoparticles $ZrO_2 - 3\text{mol}\% Y_2O_3$ / E.A. Gridina[et al.]. // Adv. Phys. Res. 2019 – V.1, №2, – P.70–80.
12. Роспатент №2019135580 (070225) «Твердотельный конденсатор-ионистор с диэлектрическим слоем из нанопорошка диэлектрика» Авторы Дорошкевич А.С., Шилов А.В., Зелень Т.Ю., Константинова Т.Е., Любчик А.В., Татаринова А.А., Гридина Е.А., Дорошкевич Н.В. Владелец патента: ОИЯИ.
13. Direct transformation of the energy of adsorption of water molecules in electricity on the surface of zirconia nanoparticles / A.S. Doroshkevich [et al.]. // Applied Nanoscience. – V.9, №8 – P.1603–1609.
14. Аскарлов Б., Вохилова Н., Оксенгендлер Б.Л. и др. // Узб. хим. журн. 2016. Т. 1. С. 32.
15. Относительная влажность воздуха над насыщенными растворами / А.Г.Терещенко – Томск, 2010. – 22 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУМЕРНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПОДВИЖНОСТИ ЭЛЕКТРОНОВ В ЭЛЕМЕНТАХ ФЛЕШ-ПАМЯТИ

О. Г. Жевняк, Я. О. Жевняк

*Белорусский государственный университет, ул. Курчатова, 5, 220064, Минск, Беларусь,
e-mail: Zhevnyakol@tut.by*

Надёжная работа элементов флеш-памяти ограничена деградацией его характеристик, прежде всего, уменьшением подвижности электронов и наличием паразитных токов. В данной работе проведено численное моделирование электронного переноса в элементах флеш-памяти на основе МОП-транзисторов с плавающим затвором для разных режимов считывания информации. Рассчитаны значения паразитных токов и построены двумерные распределения величины подвижности электронов. Показано, что минимальное значение подвижности наблюдается в области вблизи поверхности раздела Si/SiO₂, откуда и формируется паразитный туннельный ток.

Ключевые слова: флеш-память; МОП-транзистор; электронный перенос; подвижность.

SIMULATION OF TWO-DIMENSIONAL DISTRIBUTIONS OF ELECTRON MOBILITY IN FLASH-MEMORY CELLS

O. G. Zhevnyak, Ya. O. Zhevnyak

*Belarusian State University, Kurchatova str. 5, 220064 Minsk, Belarus,
Corresponding author: O. G. Zhevnyak (Zhevnyakol@tut.by)*

Reliable operation of flash-memory cells are limited by degradation of some characteristics, primarily electron mobility lowering and parasitic current growth. In present work the electron transport in flash-memory cells based on MOS-transistors with floating gate has been simulated. The values of parasitic current as well as two-dimensional distributions of electron mobility have been calculated. It is shown that minimal value of mobility takes place at Si/SiO₂ border.

Key words: flash-memory; MOS-transistor; electron transport; mobility.

ВВЕДЕНИЕ

Уменьшение размеров элементов современных интегральных микросхем, в частности, проводящих каналов МОП-транзисторов, является ключевой тенденцией развития современных флеш-технологий. Повышение емкости микросхем флеш-памяти на основе кремниевых МОП-транзисторов с плавающими затворами накладывает строгие ограничения на деградацию их характеристик, прежде всего на величину паразитных туннельных токов, которые будут возникать в этих транзисторах, и подвижность электронов в них (см., например, [1–3]). Для предотвращения этого необходимо уменьшать вероятность паразитного туннелирования электронов на плавающий затвор, что можно обеспечить, либо снижая возможность разогрева электронов, либо увеличивая степень их отклонения при дрейфе в глубину подложки транзистора — подальше от границы раздела Si/SiO₂ [3; 4]. Целью настоящей работы явилось изучение влияния напряжений на стоке и затворе на пространственное распределение подвижности кинетических характеристик электронного дрейфа в короткоканальных МОП-транзисторах, лежащих в основе современных элементов флеш-памяти, а также на величину паразитного тока в них.

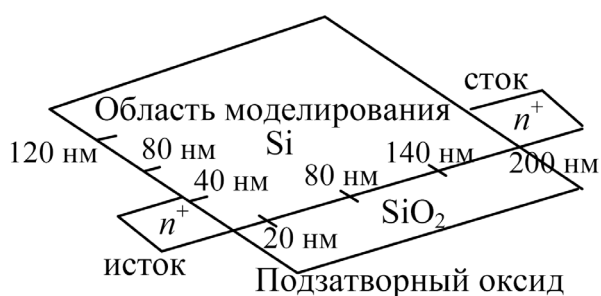
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рассматривалось несколько режимов считывания информации в исследуемых элементах флеш-памяти (уровней затворного и стокового напряжения на соответствующих электродах транзистора). Влияние соответствующих напряжений на пространственное распределение подвижности (двумерное — вдоль канала и в глубь канала) исследовалось с помощью численного моделирования движения электронов в проводящем канале транзистора методом Монте-Карло вместе с самосогласованным решением уравнения Пуассона. Алгоритмы численного моделирования методом Монте-Карло и расчета паразитного туннельного тока приведены в работах [5, 6]. Приведенные ниже результаты моделирования получены для транзистора со следующими конструктивно-технологическими параметрами: длина канала $L_{ch} = 0,2$ мкм, толщина подзатворного окисла $d_{ox} = 6$ нм, толщина туннельного окисла $d_{tun} = 2$ нм, толщина плавающего затвора $d_{float} = 2$ нм, концентрация донорной примеси фосфора в областях истока и стока $N_D = 10^{26}$ м⁻³, концентрация акцепторной примеси бора в подложке $N_A = 10^{24}$ м⁻³, глубина залегания истоковой и стоковой областей в подложку $d_j = 50$ нм.

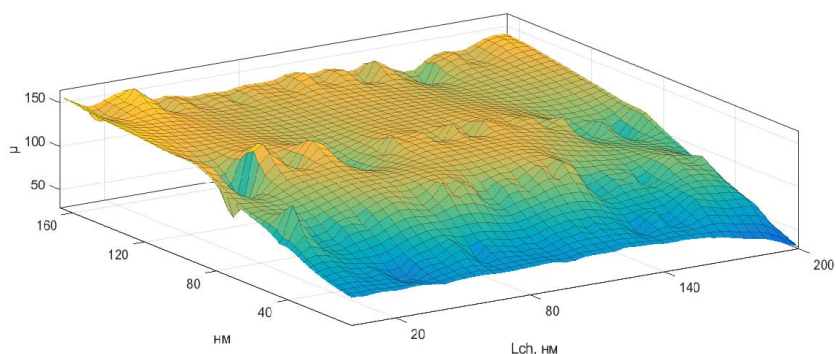
РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке в качестве примера полученных результатов моделирования представлены пространственные распределения величины подвижности электронов по активной области МОП-транзистора с плавающим затвором для двух режимов считывания информации, т. е. двух разных значений напряжения на стоке: б) $V_D = 1$ В, в) $V_D = 3$ В; в обоих случаях напряжение на затворе $V_G = 2$ В. На рис., а) схематически показано расположение структурных элементов рассматриваемого транзистора.

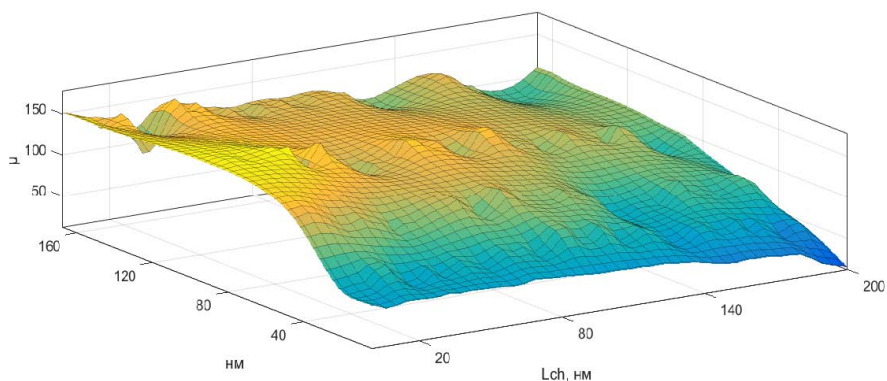
Полученные результаты моделирования показывают, что минимальные значения подвижности электронов в исследуемых элементах флеш-памяти, не превышающие значения 50 см²/(В·с), наблюдаются у границы раздела Si/SiO₂. Как видно из рисунка, с удалением от этой границы в глубь подложки значение подвижности заметно возрастает. С увеличением стокового напряжения значение подвижности уменьшается в основном только вблизи стокового перехода.



а



б



в

Рисунок – Двумерные распределения подвижности электронов в исследуемых элементах флеш-памяти: вдоль канала – от 0 до 200 нм и в глубину канала — от 0 до 160 нм; значения подвижности μ даны в $[\text{см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})]$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе с помощью численного моделирования методом Монте-Карло проанализировано влияние затворного и стокового напряжений на двумерные распределения величины подвижности электронов в элементах флеш-памяти на основе короткоканальных МОП-транзисторов с плавающим затвором в режиме считывания информации. Показано, что в рассмотренных условиях деградация подвижно-

сти, приводящая и к деградации характеристик элементов флеш-памяти, наблюдается только вблизи границы раздела Si/SiO₂.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Gerardi C. Nanocrystal Memory Cell Integration in a Stand-Alone 16-Mb NOR Flash Device / C. Gerardi [et al.] // IEEE Trans. Electron Devices. – 2007. – Vol. 54, No 6. – P. 1376–1383.
2. De Salvo B. Silicon Non-Volatile Memories: paths of innovation / B. De Salvo. – London: Wiley-ISTE Ltd, 2009. – 256 p.
3. Fiegna C. Scaling the MOS Transistor Below 0.1 μm : Methodology, Device Structures, and Technology Requirements / C.Fiegna [et al.] // IEEE Trans. Electron Dev. – 1994. – Vol. 41, No 6. – P. 941–951.
4. Iwai H. Technology toward low power / low voltage and scaling of MOSFETs / H. Iwai, H. S. Momose // Microelectron. Engineer. – 1997. – Vol. 39, No 1. – P. 7–30.
5. Борздов В. М. Моделирование методом Монте-Карло приборных структур интегральной электроники / В. М. Борздов, О. Г. Жевняк, Ф. Ф. Комаров, В. О. Галенчик. – Минск: БГУ, 2007. – 175 с.
6. Жевняк О. Г. Моделирование туннельного тока в элементах флеш-памяти / О. Г. Жевняк // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – Вып. 9, Ч. 3. – С. 49–53.

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ МАГНИЙ-ЦИНКОВОГО ФЕРРИТА ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ АЭРОЗОЛЬНОГО ПИРОЛИЗА

Д. В. Ивашенко, Е. Г. Петрова, Р. И. Власовец, В. В. Паньков

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь,
e-mail: ivashenkodm@gmail.com*

Предложен метод синтеза магнитных наночастиц состава $\text{Mg}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$, позволивший увеличить их намагниченность при незначительном росте размеров частиц. Метод представляет собой модифицированный аэрозольный пиролиз суспензии осажденных компонентов с последующим термолизом. Показана связь между повышением температуры термообработки и упорядочиванием кристаллической структуры феррита и частичной рекристаллизацией частиц, что вызывает рост намагниченности материалов.

Ключевые слова: намагниченность; магнитные наночастицы; феррит.

MAGNETIC PROPERTIES OF THE Mg–Zn FERRITE NANOPARTICLES SYNTHESIZED BY ULTRASONIC SPRAY PYROLYSIS METHOD

D. V. Ivashenko, E. G. Petrova, R. I. Vlasovets, V. V. Pankov

*Belarusian State University, Nezavisimosti av. 4, 220030 Minsk, Belarus
Corresponding author: D. V. Ivashenko (ivashenkodm@gmail.com)*

A method for the synthesis of magnetic nanoparticles of the composition $\text{Mg}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ has been proposed to increase magnetization with a minor increase in the particle size. The method is a modified aerosol pyrolysis of a suspension of precipitated components followed by thermolysis. A relationship is shown between an increase in the calcination temperature and the ordering of the crystal structure of ferrite and partial recrystallization of particles, which causes an increase in the magnetization of materials.

Key words: magnetization; magnetic nanoparticles; ferrites.