

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Ашуркевич, А.Н. Формирование и свойства фотокаталитически толстых пленок с диоксидом титана / А.Н. Ашуркевич, И.А. Николаенко, В.Е. Борисенко // Доклады БГУИР. – 2012. – Т. 61, № 6. – С. 50–55.
2. Фотокаталитическая активность покрытий из наноструктурированного диоксида титана на алюминиевой подложке / А.В. Баглов [и др.] // Неорганические материалы. – 2017. – Т.53, № 11. – С. 1201–1205.
3. Preparation and Antibacterial Properties of Composite Nanostructures from Titanium and Copper Oxides // N.M. Denisov [et al.] // Inorganic Materials. – 2016. – Vol. 52, N 5. – P. 523–528.
4. Структурные и фотолюминесцентные свойства графитоподобного нитрида углерода / А.В. Баглов [и др.] // Физика и техника полупроводников. – 2020. – Т.54, № 2. – С.176–180.
5. Синтез графитоподобного нитрида углерода на поверхности наночастиц Fe_3O_4 / Е.Б. Чубенко [и др.] // Неорганические материалы. – 2021. – Т.57, № 2. – С. 144–149.
6. Наноструктурный композит для фотокаталитического применения O-g- $\text{C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2$, полученный синтезом O-допированного нитрида углерода на поверхности наночастиц анатаза / М.Э. Бондаренко [и др.] // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. – 2020. – Т.18, № 2. – С. 265–282.
7. Оценка интегральной токсичности фотокатализаторов на основе графитоподобного нитрида углерода в люминесцентном тесте / Е. Б. Чубенко [и др.] // Кинетика и катализ. – 2022. – Т. 63, №2. – С. 187–192.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ РАССЕЯНИЯ НА ПОДВИЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОНОВ В ЭЛЕМЕНТАХ ФЛЕШ-ПАМЯТИ

О. Г. Жевняк

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь
e-mail: Zhevnyakol@tut.by*

В основе работы современных элементов флеш-памяти лежит перенос электронов в проводящем канале кремниевых МОП-транзисторов с плавающим затвором. Быстродействие этих элементов в режиме считывания информации определяется подвижностью электронов при их дрейфе в данном канале. В настоящей работе изучено влияние на подвижность электронов в элементах флеш-памяти двух основных механизмов рассеяния на фононах и на ионах примеси путем численного моделирования электронного переноса методом Монте-Карло. Показано, что с ростом энергии электронов существенно возрастает влияние на подвижность электронов фоновых механизмов рассеяния, что приводит к уменьшению величины подвижности.

Ключевые слова: флеш-память; МОП-транзистор; подвижность электронов, рассеяние на фононах.

SIMULATION OF DIFFERENT SCATTERING MECHANISM'S EFFECT ON ELECTRON MOBILITY IN FLASH-MEMORY CELLS

O. G. Zhevnyak

*Belarusian State University, Nezavisimosti av. 4, 220030 Minsk, Belarus
Corresponding author: O. G. Zhevnyak (Zhevnyakol@tut.by)*

The operation of modern flash memory elements is based on the electron transport in conducting channel of silicon MOSFET's with a floating gate. Performance of these ele-

ments in information reading regime is limited by electron mobility describing of drift of electron in such channel. In present work the effects of the phonon's scatterings as well as the ion's scatterings on electron mobility are studied by using numerical Monte Carlo simulation of electron transport. It is shown that the effect of phonon scattering mechanisms on the electron mobility increases significantly with an increase the electron energy. It is too accompanied by decreasing of electron mobility.

Key words: flash-memory; MOS-transistor; electron mobility; phonon's scattering.

ВВЕДЕНИЕ

Тенденции развития современных элементов флеш-памяти, направленные на уменьшение их активных размеров, ограничены требованиями не допущения роста паразитных туннельных токов и снижения быстродействия работы этих элементов в режиме считывания информации (см., например, [1; 2]). Величина паразитных туннельных токов определяется конструктивными особенностями элемента флеш-памяти и условиями, вызывающими разогрев электронов в проводящих каналах кремниевых короткоканальных МОП-транзисторов с плавающим затвором [3], лежащих в основе этих элементов. Быстродействие зависит от характера влияния различных механизмов рассеяния электронов на их подвижность в проводящем канале элемента флеш-памяти. Основными механизмами рассеяния, определяющими величину подвижности для кремниевых МОП-транзисторов, являются рассеяния на фононах (акустических и высокоэнергетических, приводящих к междолинным переходам) и на ионах примеси. Целью настоящей работы явилось изучение влияния данных механизмов рассеяния электронов на их подвижность в проводящем канале элемента флеш-памяти в режиме считывания информации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

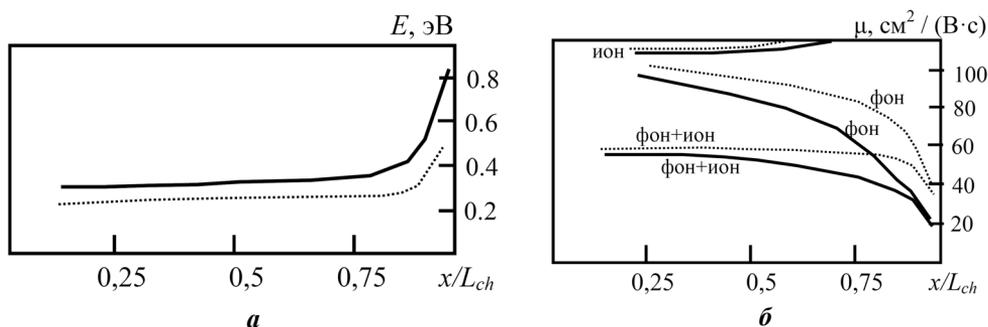
Рассматривалось несколько режимов считывания информации в исследуемых элементах флеш-памяти (уровней затворного и стокового напряжения на соответствующих электродах транзистора). Влияние различных механизмов рассеяния электронов на их подвижность изучалось с помощью численного моделирования движения электронов в проводящем канале элементов флеш-памяти методом Монте-Карло путем включения или выключения учета тех или иных механизмов рассеяния. Алгоритм численного моделирования методом Монте-Карло и выражения для расчета интенсивностей рассеяния на фононах и ионах примеси, а также алгоритм процедуры самосогласованного решения уравнения Пуассона для вычисления напряженностей электрических полей в моделируемой структуре приведены в наших работах [3, 4]. Исследовался МОП-транзистор с плавающим затвором 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 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 $d_j = 100$ нм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке приведены полученные результаты моделирования средних значений энергии и подвижности электронов в исследуемом элементе флеш-памяти вдоль его проводящего канала с учетом различных механизмов рассеяния. Рассматривались

два режима считывания информации: $V_D = 1$ В (пунктирные линии) и $V_D = 3$ В (непрерывные линии); в обоих случаях напряжение на затворе $V_G = 2$ В.

Полученные результаты моделирования показывают, что влияние рассматриваемых механизмов рассеяния на подвижность электронов на разных участках проводящего канала в целом неодинаково и проявляет противоположные тенденции, что очевидно связать, сравнивая рис *a* и *б*, с ростом энергии электронов вдоль канала.



**Зависимости средних значений энергии (*a*) и подвижности (*б*) электронов от относительной координаты вдоль проводящего канала в элементах флеш-памяти;
ион – учитывается только рассеяние на ионах, фон – учитывается только рассеяние на фононах, фон+ион – учитываются оба механизма рассеяния**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящей работе с помощью численного моделирования методом Монте-Карло проанализировано влияние основных механизмов рассеяния электронов на подвижность в проводящем канале элементов флеш-памяти на основе кремниевых МОП-транзисторов с плавающим затвором. Показано, что рассеяния на фононах и ионах примеси приблизительно в одинаковой мере влияют на нее только на начальном участке канала, тогда как в середине канала и на конечном участке вблизи стока рассеяния на фононах оказывают определяющее влияние и заметно уменьшают величину подвижности электронов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. De Salvo B. Silicon Non-Volatile Memories: paths of innovation / B. De Salvo. – London: Wiley-ISTE Ltd, 2009. – 256 p.
2. 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.
3. Жевняк О. Г. Моделирование влияния глубины залегания стока на паразитные туннельные токи в элементах флеш-памяти / О. Г. Жевняк, В. М. Борздов, А. В. Борздов // Евразийский Союз ученых. Серия: техн. и физ.-мат. науки. – 2021. – Том. 1, № 12. – С. 58–61.
4. 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.