

УДК 621.382

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПОДВИЖНОСТИ В ЭЛЕМЕНТАХ ФЛЕШ-ПАМЯТИ НА ОСНОВЕ КОРОТКОКАНАЛЬНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ

Жевняк О.Г., Жевняк Я.О.

Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Введение. Тенденции развития современных флеш-технологий на основе короткоканальных кремниевых МОП-транзисторов с плавающим затвором направлены на дальнейшее уменьшение активных элементов этих транзисторов [1]. Но этот процесс сдерживается необходимостью лимитирования значений паразитных туннельных токов, возникающих в канале транзистора на плавающий затвор, а также резким снижением подвижности электронов в канале прибора [1–3], что может привести к деградации хранящейся на элементе флеш-памяти информации. Цель настоящей работы – путём численного моделирования электронного переноса в элементах флеш-памяти на основе короткоканальных МОП-транзисторов с плавающим затвором исследовать влияние стокового и затворного напряжения на двумерные распределения подвижности электронов по активной области транзистора и определить области прибора с максимальной деградацией подвижности.

Приборная структура. На рисунке 1 приведена структурная схема МОП-транзистора с плавающим затвором. В настоящей работе исследовался прибор со следующими конструктивно-технологическими параметрами:

длина канала $L_{ch} = 0,2$ 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 $N_D = 10^{26} \text{ м}^{-3}$, концентрация акцепторной примеси в подложке $N_A = 10^{24} \text{ м}^{-3}$, глубина залегания истоковой и стоковой областей в подложку $d_j = 100$ нм. Напряжения на стоке V_D и затворе V_G равнялись 1, 2 и 3 В.

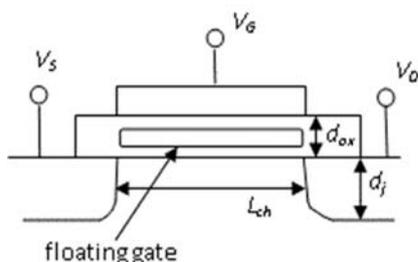


Рисунок 1 – Структурная схема моделируемого элемента флеш-памяти

Методы исследования. В настоящей работе рассчитаны двумерные распределения значений подвижности электронов вдоль длины канала и в

глубь подложки (в направлении залегания истоковой и стоковой областей). Данные распределения были получены на основе моделирования электронного переноса в канале МОП-транзистора методом Монте-Карло вместе с самосогласованным решением уравнения Пуассона. Алгоритмы такого моделирования приведены в работах [4–6].

Значение подвижности в любой области транзистора определяется как коэффициент пропорциональности между дрейфовой скоростью электронов в этой области прибора и напряжённостью электрического поля в ней. Однако в МОП-транзисторах с плавающим затвором, являющихся базовым элементом флеш-памяти, есть участки, где перенос может осуществляться не по дрейфовому механизму. В них величина подвижности рассчитывалась по формуле:

$$\mu = \frac{e \tau}{m}, \quad (1)$$

где τ – среднее время свободного пробега электронов на этом участке.

Результаты моделирования и их обсуждение. На рисунках 2 и 3 приведены полученные двумерные распределения подвижности электронов по активной области исследуемого транзистора с плавающим затвором (на 200 нм по длине канала и на 170 нм в глубину подложки) при $V_G = 2$ В (рисунок 2) и $V_D = 2$ В (рис. 3).

Полученные результаты моделирования показывают, что в исследуемых структурах наблюдается сильно неоднородное распределение подвижности электронов. В направлении в глубину подложки (от границы раздела Si/SiO₂) происходит существенное увеличение величины подвижности. При этом на расстояниях по направлению к подложке, не превышающих величины d_j (т.е. размеров залегания истоковой и стоковой областей МОП-транзистора с плавающим затвором в целом наблюдается несущественное увеличение величины подвижности. Но при движении электронов дальше в глубину подложки (за пределы залегания истоковой и стоковой областей) происходит довольно стремительное (в несколько раз) увеличение величины подвижности электронов. Это во многом обусловлено тем, что электрические поля в этой области невелики, тогда как энергия электронов, разогретых при дрейфе в канале транзистора далека от тепловой, что и способствует формальному увеличению подвижно-

сти. Наименьшее же значение подвижности электронов наблюдается в конечном участке канала и вблизи границы раздела Si/SiO₂.

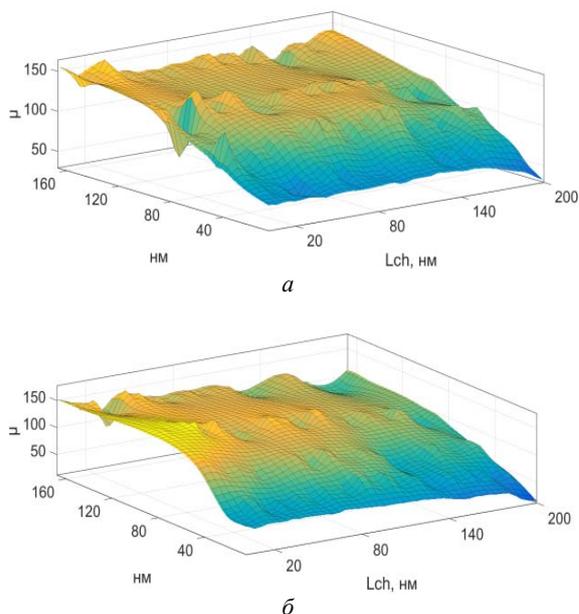


Рисунок 2 – Пространственные распределения подвижности в моделируемых элементах флеш-памяти при $V_G = 2$ В: а – $V_D = 1$ В; б – $V_D = 3$ В;

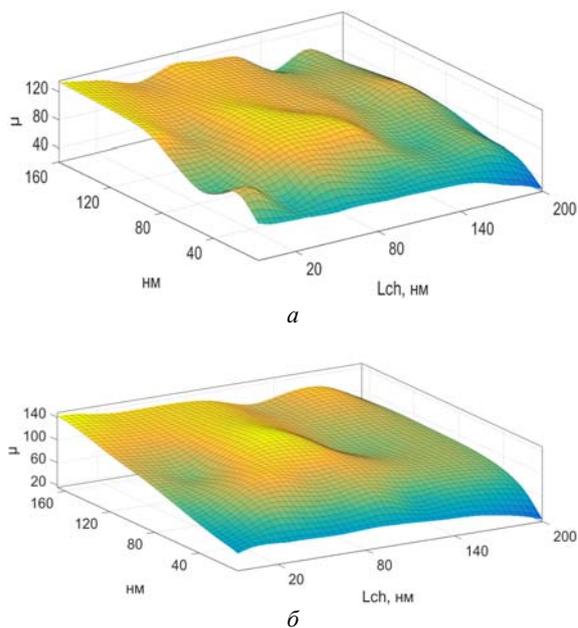


Рисунок 3 – Пространственные распределения подвижности в моделируемых элементах флеш-памяти при $V_D = 2$ В: а – $V_G = 1$ В; б – $V_G = 3$ В

Стоит отдельно отметить, что характерные влияния стокового и затворного напряжения на полученные распределения в рассматриваемых условиях в целом однотипны – с увеличением как стокового напряжения (при постоянном затворном), так и затворного (при постоянном стоковом) наблюдается более существенное уменьшение величины подвижности электронов вдоль проводящего канала (от истока к стоку) МОП-транзистора с плавающим затвором. В целом такое уменьшение величины подвижности происходит и в любом сечении канала в глубину подложки. При сравнительном анализе распределений (рисунок 3) кривые подвижности идут более плавно, нежели в случае изменения стокового напряжения (рисунок 2).

Заключение. Таким образом, в настоящей работе с помощью численного моделирования методом Монте-Карло электронного переноса в кремниевых короткоканальных МОП-транзисторах с плавающим затвором рассчитаны пространственные распределения подвижности электронов по активной области элементов флеш-памяти. Показано, что в исследуемых условиях наибольшая деградация величины подвижности наблюдается вблизи границы раздела у стокового перехода транзистора.

Литература

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, H. Iwai, T. Wada, M. Saito, E. Sangiorgi, and B. Ricco // IEEE Trans. Electron Dev. – 1994. – Vol. 41, no. 6. – P. 941–951.
3. Govoreanu D. Performance and Reliability of HfAlO_x-based Interpolary Dielectrics for Floating-Gate Flash Memory / D. Govoreanu, D. Wellekens, L. Haspeslagh et al. // Solid-State Electron. – 2008. – Vol. 52. – Iss. 4. – P. 557–563.
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.
5. Zhevnyak O. Temperature effect on electron transport in conventional short channel MOSFETs: Monte Carlo simulation / O. Zhevnyak // Proc. SPIE. – 2008. – Vol. 7025. – P. 1M-1–8.
6. Жевняк О.Г. Моделирование паразитных туннельных токов в элементах флеш-памяти на основе короткоканальных кремниевых МОП-транзисторов / О.Г. Жевняк // Eurasian science journal. – 2020. – № 6, Ч. 2. – С. 26–28.