

УДК 621.382

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАТВОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРОНОВ В КОРОТКОКАНАЛЬНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРАХ

Жевняк О. Г.

Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

Дальнейшее развитие современной микропроцессорной техники приводит к уменьшению активных областей кремниевых МОП-транзисторов, лежащих в ее основе, до размеров 0,1 мкм и менее [1; 2]. Функционирование таких транзисторов имеет ряд особенностей, принципиально отличающих его от функционирования стандартных длинноканальных МОП-транзисторов [2; 3]. К одним из таких особенностей следует отнести специфический характер влияния напряжений на затворе и стоке на перенос электронов для транзисторов с очень малыми размерами длины канала. Роль затворного напряжения состоит в изменении сопротивления проводящего канала, однако вблизи стока это изменение носит сильно неоднородный характер, так как в этой области затворное и стоковое напряжения включены навстречу друг другу. В случае длинноканальных МОП-транзисторов эта неоднородность практически не влияет на перенос электронов в проводящем канале и на характеристики прибора, тогда как в короткоканальных транзисторах она в определенных условиях может существенно ухудшить работу прибора.

Целью настоящего доклада явилась оценка влияния затворного напряжения на перенос электронов в короткоканальном кремниевом МОП-транзисторе. Она была получена с помощью численного моделирования движения электронов в проводящем канале транзистора методом Монте-Карло в соответствии с алгоритмами и процедурами, описанными в наших работах [4; 5]. Были рассчитаны распределения средних значений энергии, дрейфовой скорости и подвижности электронов вдоль проводящего канала от истока ( $x = 0$ ) к стоку ( $x = L_{ch}$ ) при разных значениях напряжения на затворе и стоке. Моделировался МОП-транзистор со следующими конструктивно-технологическими параметрами:

длина канала  $L_{ch} = 0,2$  мкм, толщина подзатворного окисла  $d_{ox} = 5,6$  нм, концентрация донорной примеси в областях истока и стока  $N_D = 10^{26}$  м<sup>-3</sup>, концентрация акцепторной примеси в подложке  $N_A = 10^{24}$  м<sup>-3</sup>, глубина залегания истоковой и стоковой областей в подложку  $d_j = 50$  нм.

На рис. 1 – 3 приведены полученные в результате моделирования распределения рассчитанных величин энергии, дрейфовой скорости и подвижности электронов для двух значений напряжения на стоке  $V_D = 1$  В (кривые 1) и  $V_D = 3$  В (кривые 2), а также затворе  $V_G = 1$  В (штриховые кривые) и  $V_G = 3$  В (непрерывные кривые).

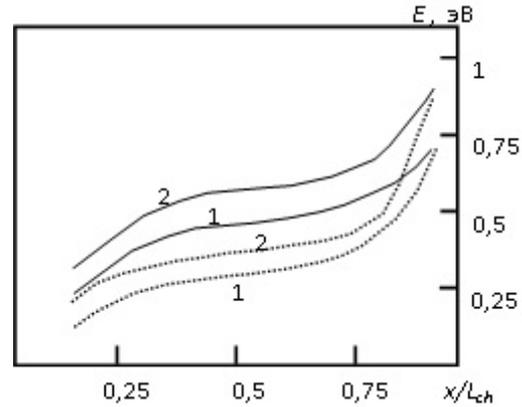


Рис. 1. Распределения вдоль канала МОП-транзистора средних значений энергии электронов

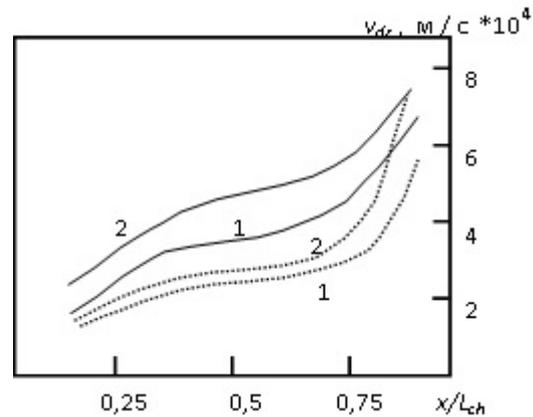


Рис. 2. Распределения вдоль канала МОП-транзистора средних значений дрейфовой скорости электронов

Полученные распределения позволяют отметить, что влияние затворного напряжения на параметры, характеризующие электронный перенос в рассматриваемом короткоканальном МОП-транзисторе, довольно существенно. Однако вдоль канала это влияние неоднозначно и имеет сложный характер.

Из поведения кривых на представленных рисунках, прежде всего, можно сделать вывод о том, что в изученном МОП-транзисторе с увеличением затворного напряжения от 1 В до 3 В при постоянном стоковом напряжении моделируемые параметры в среднем изменяются в 1,5 раза – значения энергии и дрейфовой скорости увеличиваются, а подвижности уменьшаются (см. кривые разного типа, обозначаемые одной и той же цифрой). При аналогичном изменении стокового напряжения при постоянном затворном такие

изменения приблизительно вдвое слабее (см. кривые одного типа, обозначаемые разными цифрами). Однако на участке канала вблизи самого стока (где  $x/L_{ch}$  приближается к 1) влияние затворного напряжения фактически исчезает (кривые разного типа, обозначенные одной цифрой, приближаются друг к другу). Вблизи истока (где  $x/L_{ch}$  близко к 0) влияние затворного напряжения также снижается.

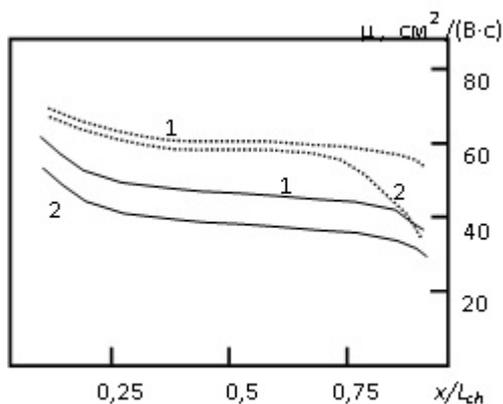


Рис. 3. Распределения вдоль канала МОП-транзистора средних значений подвижности электронов

Для понимания и объяснения отмеченных закономерностей следует иметь в виду два основных фактора влияния затворного напряжения на электрические характеристики короткоканальных МОП-транзисторов [6]. Повышение затворного напряжения приводит к существенному увеличению концентрации электронов в проводящем канале (в нашем случае максимальная концентрация электронов увеличивается приблизительно от величины  $N_e = 2,5 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$  до  $N_e = 7 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$ ) и увеличению напряженности поперечной составляющей электрического поля, направленной от поверхности раздела в глубь подложки. В этой связи исчезновение влияния затворного напряжения вблизи стока, очевидно, обусловлено тем, что два указанных фактора в этой области канала фактически нивелируются. Максимальное же действие этих факторов наблюдается в середине проводящего канала исследуемого МОП-транзистора. Причем на всех

полученных распределениях можно выделить участок канала прибора с более пологим изменением кривых — от 0,25 до 0,75  $x/L_{ch}$ . Это и есть область максимального влияния затворного напряжения.

Таким образом, в настоящей работе с помощью численного моделирования методом Монте-Карло проанализировано влияние затворного напряжения на распределения средних значений энергии, дрейфовой скорости и подвижности электронов вдоль канала короткоканальных МОП-транзисторов. Показано, что оно существенно и неоднородно почти вдоль всего проводящего канала транзистора и только вблизи стока практически исчезает.

1. Fiegna C., Iwai H., Wada T., Saito M., Sangiorgi E., and Ricco B. Scaling the MOS Transistor Below 0.1  $\mu\text{m}$ : Methodology, Device Structures, and Technology Requirements // IEEE Trans. Electron Dev. — 1994. — Vol. 41, No 6. — P. 941–951.
2. Iwai H., Momose H. S. Technology toward low power / low voltage and scaling of MOSFETs // Microelectron. Engineer. — 1997. Vol. 39, No 1. — P. 7–30.
3. Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов. — Москва: Техносфера, 2011. — 799.
4. 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.
5. Zhevnyak O. Temperature effect on electron transport in conventional short channel MOSFETs: Monte Carlo simulation // Proc. SPIE. — 2008. — Vol. 7025. — P. 1M-1–8.
6. Жевняк О. Г., Борздов В. М., Борздов А.В., Буслюк В. В. Сравнительное моделирование тока стока в КНИ-МОП-транзисторах и стандартных МОП-транзисторах: метод Монте-Карло // Электроника инфо. — 2014, № 11. — С. 50–52.