

ПРИБЛИЖЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В УЛЬТРАКОРОТКОКАНАЛЬНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРАХ

А. В. Зезюля

Существующие сегодня подходы к решению уравнения Пуассона в короткоканальных МОП-транзисторах (см., например, [1; 2]) основаны на стандартной методике определения граничных условий (их постоянства на всех этапах решения) и потому требуют с целью адекватного задания таких условий выбирать в качестве области решения данного уравнения всю структуру МОП-транзистора. Это приводит, в свою очередь, к необходимости преодоления проблемы сочетания и подгонки различных методов и моделей, приемлемых для одних участков прибора и неадекватных для других (в частности, дрейфово-диффузионных, гидродинамических, кинетических). В рамках существующих подходов необходимо разрабатывать специфические модели отдельно для областей истока, стока, их обедненных участков, а также канала, подложки, а при решении некоторых задач – и подзатворного окисла. Предложенная в настоящей работе модель граничных условий позволяет избежать этих проблем и ограничиться моделированием только области канала. В ее основе лежит самосогласо-

ванная процедура. Граничные условия для потенциала задаются не постоянными, а уточняются на каждом шаге итерационного процесса решения уравнения Пуассона. По достижении сходимости этого процесса данные условия остаются постоянными.

Конечно-разностная схема для уравнения Пуассона строится способом, подробно описанным в [3]. Для определения напряженности электрического поля в точках, расположенных на геометрической границе исток-подложка (ИП) и сток-подложка (СП), были получены следующие формулы:

$$E_{ИП} = \left(\frac{en_0}{2\varepsilon} A_S \right)^{1/2} \left(1 - \frac{\varphi_k}{2A_S} \right), \quad (1)$$

$$E_{СП} = \left(\frac{en_0}{2\varepsilon} A_d \right)^{1/2} \left(1 - \frac{\varphi_k}{2A_d} \right), \quad (2)$$

где $A_S = \frac{kT}{e} \left(\ln n_0 - \ln \frac{n_i^2}{N_a} \right)$, $A_d = A_S + V_d$, φ_k – электрический потенциал

точки k на границах ИП и СП, n_i – собственная концентрация электронов в кремнии, e – заряд электрона, n_0 – концентрация электронов в истоковой и стоковой области, ε – диэлектрическая проницаемость кремния, N_a – концентрация акцепторной примеси в подложке, k – постоянная Больцмана, T – температура.

Предложенная модель путем включения в общую процедуру кинетического моделирования короткоканальных кремниевых МОП-транзисторов, разработанная и описанная достаточно подробно в работах [4–6], позволяет рассчитать распределения потенциалов, полей и концентрации носителей заряда в канале ультракороткоканальных транзисторов. На рис. 1 приведены некоторые из полученных с ее по-

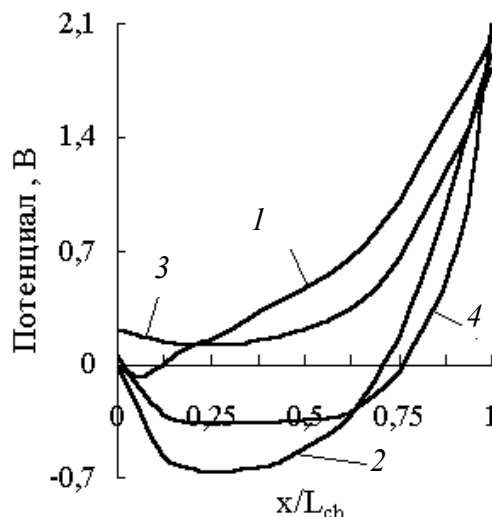


Рис. 1. Зависимости потенциала от относительной координаты вдоль канала: 1, 3 – вблизи поверхности раздела окисел-полупроводник; 2, 4 – вблизи границы области обеднения $V_g=V_d=2$ В, $N_a=2 \cdot 10^{23}$ м⁻³, $d_{ox}=10^{-8}$ м; 1, 2 – взяты из работы [7]; 3, 4 – рассчитаны нами

мощью результатов. Из поведения кривых на рис. 1 можно сделать вывод об адекватности разработанной модели, для чего на этом же рисунке в качестве сравнения приведены результаты работы [7]. В ней предложена комбинированная модель, предполагающая равенство нулю потенциала подвижного заряда на границах областей истока и стока. Очевидно, что в полученных нами результатах величина этого потенциала, как правило, всегда отлична от нуля. Кроме того, в работе [7] использованы приближения, не учитывающие особенности электронного переноса в обедненных областях истока и стока. Согласно, например, [8] эти особенности приводят к появлению в короткоканальных транзисторах вблизи истока достаточно обширного участка канала со слабым запирающим полем, а у стока, наоборот, относительно узкого участка с очень высокой напряженностью ускоряющего поля. Как можно видеть, с помощью разработанной нами модели получаются результаты, достаточно адекватно отражающие эти особенности поведения напряженности электрического поля в ультракороткоканальных МОП-транзисторах.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что с помощью разработанной в настоящей работе модели решения уравнения Пуассона в ультракороткоканальных кремниевых МОП-транзисторах можно достаточно адекватно и эффективно изучать перенос электронов в такого рода приборах.

Литература

1. *Kosina H. and Selberherr S.* Coupling of Monte Carlo and Drift Diffusion Method with Applications to Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors // *Jap. J. Appl. Phys.* 1990, V. 29. № 12. P. L2283–2285.
2. *Fischetti M. and Laux S.* Monte Carlo analysis of electron transport in small semiconductor devices including band-structure and space-charge effects // *Phys. Rev.* 1988. V. B38. № 14. P. 9721–9745.
3. *Мулярчик С. Г.* Численное моделирование микроэлектронных структур. Мн.: Изд-во «Университетское», 1987. 368 с.
4. *Борздов В. М., Жевняк О. Г., Комаров Ф. Ф.* Влияние электрон-электронного рассеяния на перенос носителей заряда в n-канале кремниевого субмикронного МОП-полевого транзистора: Метод Монте-Карло // *Физика и техника полупроводников.* 1995. Т. 29. № 2. С. 193–200.
5. *Борздов В. М., Комаров Ф. Ф.* Моделирование электрофизических свойств твердотельных слоистых структур интегральной электроники. Мн.: БГУ, 1999. 235 с.
6. *Борздов В. М., Галенчик В. О., Жевняк О. Г., Комаров Ф. Ф.* Моделирование МОП-транзисторов с коротким каналом на основе метода Монте-Карло // *Материалы Четвертой междунар. конф. CAD DD'2001.* Мн., 2001. С. 132–139.

7. *Hamaguchi C.* Hot electron transport in very short semiconductors // *Physica*. 1985. V. 134B. P. 87–96.
8. *Roldan J. B., Gamiz F., Lopez-Villanueva, Carceller J. E. and Cartujo P.* The dependence of the electron mobility on the longitudinal electric field in MOSFETs // *Semicond. Sci. Technol.* 1997. № 12. P. 321–330.