Моделирование фотоэлектрических характеристик субмикронного КНИ-МОП-транзистора

[1] Борздов А. В., [1] Борздов В. М., [2] Абрамов И. И.

[1] *Белорусский государственный университет*
г. Минск, 220030, пр-т Независимости, 4, Республика Беларусь
borzdov@bsu.by
[2] *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*
г. Минск, 220013, ул. П. Бровки, 6, Республика Беларусь

Аннотация: *На основе численного моделирования многочастичным методом Монте-Карло рассчитаны выходные вольтамперные характеристики субмикронного КНИ-МОП-транзистора с длиной канала 0,25 мкм. Исследована фотопроводимость транзистора при воздействии излучения видимого спектрального диапазона с длиной волны 650 нм.*

1. Введение

Интегральные КНИ-структуры, в частности субмикронные КНИ-МОП-транзисторы, являются перспективными для использования в качестве фотодетекторов излучения видимого спектрального диапазона [1], а также могут использоваться в качестве фототранзисторов, в связи с чем несомненный интерес представляет исследование влияния видимого излучения на вольтамперные характеристики таких приборных структур [2–4]. Для исследования вольтамперных характеристик субмикронных КНИ-МОП-транзисторов, в том числе и фототранзисторов, весьма эффективным и нашедшим к настоящему моменту широкое применение подходом является численное самосогласованное моделирование на основе многочастичного метода Монте-Карло [4–6].

В представленной работе проведено моделирование многочастичным методом Монте-Карло выходных вольтамперных характеристик субмикронного КНИ-МОП-транзистора с длиной канала 0,25 мкм при воздействии излучения видимого диапазона спектра с длиной волны 650 нм интенсивностью 10^8 Вт/м^2.

2. Модель фототранзистора и результаты расчетов

Структура моделируемого КНИ-МОП-транзистора схематически представлена на рисунке 1. Вольтамперные характеристики и фотопроводимость транзистора рассчитываются в рамках двумерного моделирования методом частиц. Предполагается, что излучение направлено перпендикулярно плоскости затвора транзистора и охватывает только область канала. Полагается также, что интенсивность излучения равномерно распределена по всей площади затвора. Также используется предположение, что все излучение проникает под электрод затвора (электрод считается практически прозрачным), при этом учитываются процессы отражения на границах Si/SiO_2.

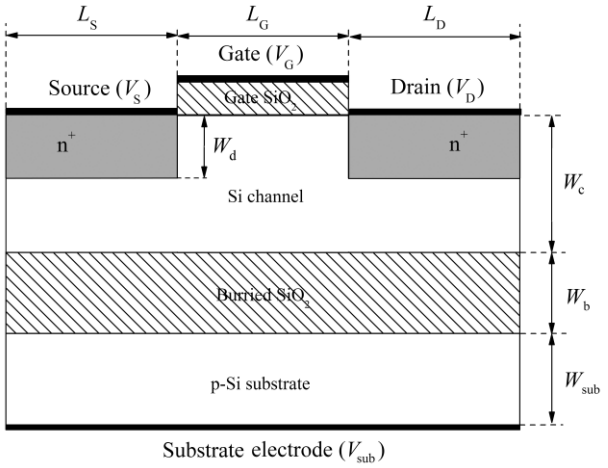


Рис. 1. Двумерная моделируемая область КНИ-МОП-транзистора

Перенос электронов и дырок моделируется с учетом процессов рассеяния на оптических и акустических фононах, ионизированной примеси, а также процессов оптической генерации электронно-дырочных пар при поглощении фотонов в канале транзистора. Процессы собственного по-

глощения излучения в канале транзистора разыгрываются с учетом отражения излучения от границ раздела Si/SiO_2. Размеры транзистора следующие: длина канала равна L_G = 250 нм, толщина подзатворного окисла (Gate SiO_2) – 5 нм, толщина скрытого окисла (Burried SiO_2) – W_b = 145 нм, толщина подложки – W_{sub} = 200 нм, глубина залегания истоковой и стоковой областей – W_b = 50 нм. Размеры областей истока (Sourse) и стока (Drain) составляют $L_S = L_D$ = 100 нм. Канал транзистора полагается нелегированным. Рассмотрены транзисторы с толщинами каналов W_c = 50, 150 и 250 нм. Температура кристаллической решетки – 300 К.

На рисунке 2 приведены рассчитанные выходные вольтамперные характеристики транзистора (зависимости плотности тока стока I_D от напряжения на стоке V_D) при напряжении на затворе V_G = 0,25 В относительно истока. Сплошные кривые соответствует темновому режиму работы, а штриховые кривые соответствуют зависимостям тока стока при облучении с интенсивностью 10^8 Вт/м^2. Кривые 1 соответствуют транзистору с толщиной канала W_c = 50 нм, кривые 2 – 150 нм, кривые 3 – 250 нм. Напряжение на подложке относительно истока V_{sub} для всех случаев равно нулю.

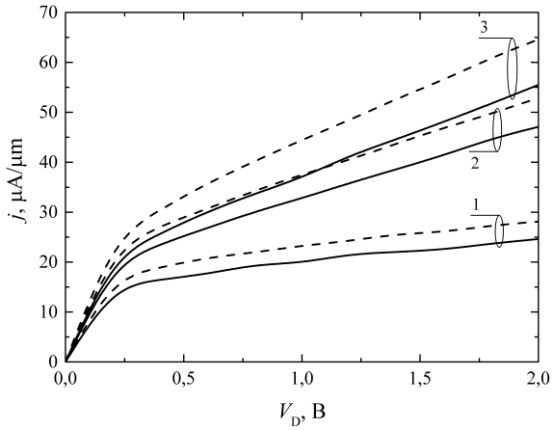


Рис. 2. Вольтамперные характеристики КНИ-МОП-транзистора

Результаты расчетов, в частности, показывают, что для представленной структуры транзистора максимальное изменение величины выходного тока составляет не более 30 % для транзистора с наибольшей толщиной канала и снижается с уменьшением толщины канала. Для такой структуры транзистора это обусловлено небольшими толщинами канала транзистора и процессами отражения и прохождения излучения через границы раздела SiO_2/Si, приводящими к достаточно низкой квантовой эффективности при поглощении излучения.

3. Заключение

Путем численного моделирования многочастичным методом Монте-Карло рассчитаны вольтамперные характеристики и исследована фотопрводимость субмикронного КНИ-МОП-транзистора с длиной канала 0,25 мкм при воздействии излучения видимого диапазона с длиной волны излучения, равной 650 нм и интенсивностью 10^8 Вт/м^2. Результаты расчетов позволяют сделать вывод, что изменение тока в канале транзистора при воздействии излучения видимого диапазона спектра возможно, но требует достаточно больших постоянных во времени интенсивностей излучения. Объяснить это можно низкой квантовой эффективностью при поглощении излучения в таких КНИ-МОП-транзисторах.

Список литературы

1. Koziy A. A., Losev A. V., Zavodilenko V. V. et al. Modern methods of detecting single photons and their application in quantum communications // Quantum Electronics. 2021. Vol. 51, No. 8. P. 655–669.
2. Abraham G. K., Pal B. B., Khan R. U. Light dependence of SOI MOSFET with nonuniform doping profile // IEEE Trans. Electron Devices. 2000. Vol. 47, No. 7. P. 1469–1471.
3. Golam Rabbani M., Sundararajan J. P., Verma A. et al. Photoresponse of silicon with asymmetric area contacts // Semicond. Sci. Technol. 2017. No. 32. P. 1–6.
4. Абрамов И. И. Основы моделирования элементов микро- и наноэлектроники. Saarbrücken : LAP Lambert Academic Publishing, 2016. 444 с.
5. Shiri D., Verma A., and Khader M. M. Photoconductive response of strained silicon nanowires: A Monte Carlo study // J. Appl. Phys. 2014. Vol. 115. P. 133708-1–133708-9.
6. Borzdov A. V., Borzdov V. M., Vyurkov V. V. Monte Carlo simulation of picosecond laser irradiation photoresponse of deep submicron SOI MOSFET // Proc. SPIE. 2022. Vol. 12157. P. 121570Y-1–121570Y-6.