

Моделирование электрических характеристик фотодетектора на основе 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: С помощью численного моделирования многочастичным методом Монте-Карло переноса носителей заряда в фотодетекторе на основе субмикронного КНИ-МОП-транзистора с длиной канала 250 нм рассчитаны зависимости плотности тока от времени при воздействии импульсов лазерного излучения видимого спектрального диапазона длительностью 0,5 и 1 пс с длиной волны 650 нм и интенсивностью 10^{11} Вт/м².

1. Введение

Хорошо известно, что интегральные КНИ-структуры, в частности субмикронные КНИ-МОП-транзисторы, являются перспективными для использования в качестве фотодетекторов излучения видимого спектрального диапазона [1, 2]. При этом отдельный интерес представляет исследование воздействия коротких (фемто- и пикосекундных) импульсов лазерного излучения на электрические характеристики таких фотодетекторов [3]. Для исследования электрических характеристик субмикронных полупроводниковых приборных структур, в том числе и фотодетекторов, весьма эффективным и нашедшим к настоящему моменту широкое применение подходом является численное самосогласованное моделирование на основе многочастичного метода Монте-Карло [3–5].

В данной работе приведены результаты моделирования зависимости тока от времени в канале фотодетектора на основе субмикронного КНИ-МОП-транзистора с длиной канала 250 нм при воздействии импульсов лазерного излучения видимого диапазона спектра.

2. Модель фотодетектора и результаты расчетов

Электрические характеристики транзистора рассчитаны в рамках двумерного моделирования методом частиц. Предполагается, что лазерное излучение направлено перпендикулярно плоскости затвора транзистора и охватывает только область канала. Полагается также, что интенсивность импульсов излучения постоянна во времени и равномерно распределена по всей площади затвора. При этом электрод затвора считается практически прозрачным для рассматриваемого излучения. Оптические характеристики материалов взяты из работы [6]. Перенос электронов и дырок моделируется с учетом процессов рассеяния на оптических и акустических фононах, ионизированной примеси, а также процессов оптической генерации и ударной ионизации. Моделируемая область КНИ-МОП-транзистора представлена на рисунке 1.

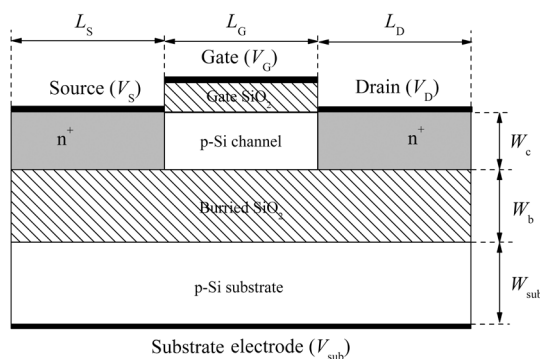


Рис. 1. Двумерная моделируемая область фотодетектора на основе КНИ-МОП-транзистора

Размеры транзистора следующие: длина канала равна $L_G = 250$ нм, его толщина — $W_c = 50$ нм, толщина подзатворного окисла (Gate SiO_2) — 5 нм, толщина скрытого окисла (Buried SiO_2) — $W_b = 145$ нм, толщина подложки — $W_{\text{sub}} = 200$ нм. Размеры областей истока (Source) и стока (Drain) составляют $L_S = L_D = 50$ нм. Канал транзистора полагается нелегированным. Температура кристаллической решетки — 300 К.

На рисунке 2 приведены зависимости плотности тока стока транзистора от времени для значений напряжения на стоке $V_D = 1$ В при напряжении на затворе $V_G = 0$ В относительно истока. Напряжение на подложке относительно истока V_{sub} равно нулю. На рисунке представлены результаты для длительностей импульса воздействующего лазерного излучения, равных 0,5 (сплошная кривая) и 1 пс (штриховая кривая). Длина волны излучения — 650 нм, его интенсивность составляет 10^{11} Вт/м². Включение излучения происходит в момент времени $t = 0$.

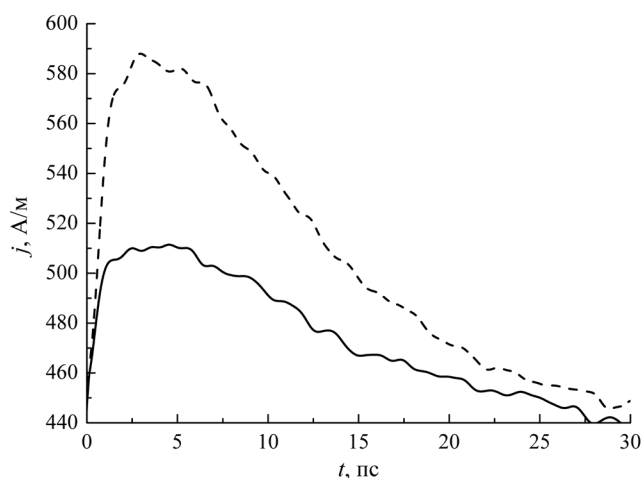


Рис. 2. Зависимость плотности тока фотодетектора от времени

На рисунке видно, что для фотодетектора на основе рассмотренного КНИ-МОП-транзистора, время затухания тока после окончания воздействия излучения при заданных напряжениях на электродах составляет порядка 30 пс как для импульса длительностью 0,5 пс, так и для пикосекундного импульса. При этом изменяется максимальное значение плотности тока.

3. Заключение

Путем численного моделирования на основе многочастичного метода Монте-Карло исследовано затухание тока фотодетектора на основе субмикронного КНИ-МОП-транзистора с длиной канала 250 нм при воздействии импульсного лазерного излучения с длительностью импульсов 0,5 и 1 пс и интенсивностью 10^{11} Вт/м² для длины волны излучения, равной 650 нм. Результаты расчетов позволяют сделать вывод, что время затухания тока после воздействия одиночного импульса излучения в обоих случаях остается почти постоянным и составляет порядка 30 пс, а изменяется только максимальное значение тока. Из этого можно сделать вывод, что механизм затухания плотности тока, обусловленный процессами, происходящими в электронно-дырочной плазме у границы раздела подзатворный окисел–канал транзистора, для рассмотренного фотодетектора с длиной канала, равной 250 нм, имеет те же характерные особенности, что и для КНИ-МОП-транзисторов с более коротким каналом, описанных в [7].

Список литературы

1. Cao X.-Y., Lin W.-S., Liu H.-B., Deng J.-N., Arsalan M., Zhu K.-M., Chen Y.-F., and Wan J. An SOI photodetector with field-induced embedded diode showing high responsivity and tunable response spectrum by backgate // *IEEE Trans. Electron Devices*. 2018. Vol. 65. No. 12. P. 5412–5418.
2. Liu J., Cristoloveanu S., Wan J. A review on the recent progress of silicon-on-insulator-based photodetectors // *Phys. Status Solidi A*. 2021. Vol. 218. P. 2000751–1–16.
3. Soroosh M., Amiri Y. An ensemble Monte Carlo model to calculate photocurrent of MSM photodetector // *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*. 2013. Vol. 10. No. 2. P. 319–324.
4. Абрамов И. И. Основы моделирования элементов микро- и нанoeлектроники. Saarbrücken : LAP Lambert Academic Publishing, 2016. 444 с.
5. 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.
6. Wang H., Liu X., Zhang Z. M. Absorption coefficients of crystalline silicon at wavelengths from 500 nm to 1000 nm // *Int. J. Thermophys.* 2013. Vol. 34. P. 213–225.
7. 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-1–6.