

- пространственное распределение свечений второго эмиссионного слоя в красной линии кислорода на длине волны 629,5–630,5 нм (контроль датчиком высотных распределений свечений ДВРС-2);
- излучение на трех длинах волн в диапазоне 400–900 нм (контроль датчиком спектральных изображений ДСИ);
- излучение изображения тестовой миры.

УДК 621.383.534

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТООТКЛИКА СУБМИКРОННОГО КНИ-МОП-ТРАНЗИСТОРА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПИКОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Борздов А.В., Борздов В.М.

*Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь*

Современные кремниевые полупроводниковые структуры и МОП-транзисторы являются перспективными оптоэлектронными приборами для использования в качестве детекторов излучения видимого и инфракрасного диапазонов, фототранзисторов и фотосенсоров [1–4]. При этом повышенный интерес к МОП-транзисторам обусловлен рядом причин, в частности возможностью простой интеграции таких приборов в интегральные схемы и их дальнейшей миниатюризацией, низким энергопотреблением и достаточно высокой чувствительностью при более низком уровне шумов по сравнению с лавинными фотодиодами. Относительно недавно продемонстрировано использование глубоко субмикронных интегральных МОП-транзисторов со структурой “кремний-на-изоляторе” (КНИ-МОП-транзисторов) в качестве детекторов излучения, работающих в режиме счета одиночных фотонов при комнатной температуре [5].

Для исследования рабочих характеристик фотодетекторов и фототранзисторов в течение достаточно длительного времени широко применяется самосогласованное моделирование на основе метода Монте-Карло. Преимуществом использования многочастичного метода МонтеКарло является возможность прослеживания траекторий движения носителей заряда в пространстве координат и импульсов при различных условиях, и расчет соответствующих функций распределения, плотностей заряда и напряженностей электрических полей, а также возможность непосредственного включения и учета различных процессов рассеяния и генерации носителей заряда в приборных структурах [6].

При исследовании рабочих характеристик фотодетекторов и фототранзисторов интерес представляет, в частности, время отклика фототока при воздействии импульса излучения определенной мощности и длительности, поскольку это время определяет быстродействие прибора. В настоящей работе проведено моделирование воздействия коротких импульсов лазерного излучения различной мощности на величину тока в канале субмикронного КНИ-МОП-транзистора. Объектом моделирования

При проведении испытаний МБНА устанавливается на общем кронштейне и юстируется с объективами и блендами КПА.

1. Beliaev, B. The multisensor payload «Structura» for the observation of atmospheric night glows from the ISS board / B. Beliaev, Y. Krot, L. Katkovsky // Proc. SPIE 10000, Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XX, 100001U (October 19, 2016); doi:10.1117/12.2241791, Edinburgh, United Kingdom, October 19, 2016.

является КНИ-МОП-транзистор, сходный по структуре с исследованным в [5] в качестве однофотонного фотодетектора и аналогичный рассмотренному нами ранее в [7, 8]. Схематически сечение транзистора представлено на рисунке 1. Размеры моделируемых областей следующие: длина канала равна 100 нм, его толщина $W_c = 50$ нм, толщина подзатворного окисла – 5 нм, толщина скрытого окисла $W_b = 145$ нм, толщина подложки $W_{sub} = 200$ нм. Уровень легирования канала акцепторной примесью равен 10^{21} м^{-3} . Температура моделирования – 300 К.

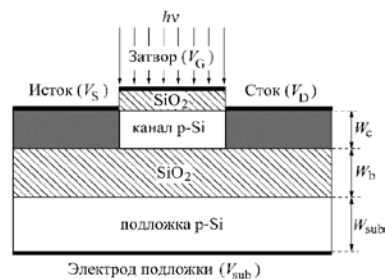


Рисунок 1 – Структура моделируемого КНИ-МОП-транзистора

Предполагалось, что лазерное излучение с длиной волны 532 нм направлено перпендикулярно плоскости затвора транзистора и охватывает только область канала. Длительность лазерного импульса равна 1 пс.

В качестве приближения мы полагали, что металлизация затвора достаточно тонкая, и ее можно считать прозрачной для используемого излучения. Коэффициент поглощения излучения в Si, а также оценка коэффициентов отражения на границах раздела Si-SiO₂ взяты на основании данных из [9, 10]. Напряжения на затворе V_G и подложке V_{sub} равны нулю. Все напряжения подавались относительно истока ($V_S = 0$).

На рисунке 2 в качестве примера приведены зависимости фототока в канале транзистора от времени при напряжении на стоке $V_D = 0,5$ В для различных интенсивностей излучения. Для рассматриваемого напряжения на стоке процессы ударной ионизации в канале транзистора не

существенны, и лавинное умножение носителей заряда можно исключить. Предполагалось, что лазерное излучение включается в момент времени $t = 0$ и в течение 1 пс действует с постоянной интенсивностью [3]. При этом до начала воздействия излучения моделирование проводилось в течение некоторого времени, достаточного для установления стационарного процесса переноса носителей заряда в канале транзистора.

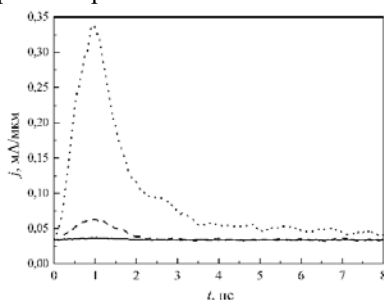


Рисунок 2 – плотность фототока j при воздействии импульсов лазерного излучения с различной интенсивностью I . Сплошная кривая – $I = 5 \cdot 10^9$ Вт/м², штриховая – $I = 5 \cdot 10^{10}$ Вт/м², точечная – $I = 5 \cdot 10^{11}$ Вт/м²

Как видно из рисунка, после окончания воздействия излучения ($t > 1$ пс) стационарное значение темнового тока достигается приблизительно через 8 пс для наибольшей мощности излучения. Как показали проведенные расчеты, определенный заряд сгенерированных излучением электронов и дырок сохраняется еще в течение некоторого времени после снятия действия излучения и после того, как ток спадает до значения темнового. Причем чем больше мощность излучения, тем больше это время. Заметим, что сохранение заряда сгенерированных носителей в канале в течение некоторого времени после спада фототока до темнового значения наблюдается также и в фотодиодах со структурой “металл-полупроводник-металл” и объясняется эффектом динамического экранирования в электронно-дырочной плазме [6]. При этом в отличие от фотодетекторов на основе GaAs [6] отклик тока в КНИ-МОП-транзисторе практически в равной степени обусловлен как электронной, так и дырочной составляющими для всех рассмотренных значений интенсивности излучения. Как можно видеть из рисунка 2, для $t > 3$ пс на графике зависимости плотности тока от времени наблюдаются заметные флуктуации плотности тока при наибольшей мощности

излучения. Является ли это следствием процессов, происходящих в электронно-дырочной плазме, либо обусловлено вычислительными особенностями самосогласованного моделирования, требует дальнейшего выяснения.

Таким образом, проведенные расчеты отклика фототока в субмикронном КНИ-МОП-транзисторе с длиной канала 100 нм при воздействии лазерного излучения пикосекундной длительности с длиной волны 532 нм и интенсивностями $5 \cdot 10^9$ Вт/м², $5 \cdot 10^{10}$ Вт/м² и $5 \cdot 10^{11}$ Вт/м² показали, что время затухания фототока зависит от интенсивности излучения и для максимального рассмотренного ее значения составляет около 8 пс. Также установлено, что в течение определенного времени после спада фототока до значения темнового тока в канале транзистора сохраняется некоторый заряд сгенерированных излучением электронов и дырок, что может быть обусловлено эффектами динамического экранирования в электронно-дырочной плазме.

- Jain, P. Power Gain Analysis of Optically Illuminated MOSFET / P. Jain, B.K. Mishra, G. Phade // International Journal of Computer Applications. – 2012. – Vol. 51, No. 16. – P. 50–54.
- Gautam, R. / R. Gautam [et al.] // Journal of Semiconductor Technology and Science. – 2013. – Vol. 13, No. 5. – P. 500–510.
- Shiri, D. Photoconductive response of strained silicon nanowires: A Monte Carlo study / D. Shiri, A. Verma, M.M. Khader // J. Appl. Phys. – 2014. – Vol. 115. – P. 133708-1–133708-9.
- Golam Rabbani, M. Photoresponse of silicon with asymmetric area contacts / M. Golam Rabbani [et al.] // Semicond. Sci. Technol. – 2017. – Vol. 32. – P. 1–6.
- Du, W. Single-Photon Detection by a Simple Silicon-on-Insulator Metal–Oxide–Semiconductor Field-Effect Transistor / W. Du [et al.] // Jap. J. Appl. Phys. – 2012. – Vol. 51. – P. 06FE01-1–06FE01-4.
- Moglestue, C. Monte Carlo simulation of semiconductor devices / C. Moglestue. – Springer, 1993. – 334 p.
- Borzdov, A.V. Monte Carlo simulation of hot electron transport in deep submicron SOI MOSFET / A.V. Borzdov, V.M. Borzdov, V.V. V'yurkov // Proc. SPIE. – 2014. – Vol. 9440. – P. 944013-1–944013-7.
- Borzdov, A.V. Numerical simulation of electric characteristics of deep submicron silicon-on-insulator MOS transistor / A.V. Borzdov, V.M. Borzdov, N.N. Dorozhkin // Devices and Methods of Measurements. – 2016. – Vol. 7, No 2. – P. 161-168.
- Aspnes, D.E. Dielectric functions and optical parameters of Si, Ge, GaP, GaAs, GaSb, InP, InAs, and InSb from 1.5 to 6.0 eV / D.E. Aspnes, A.A. Studna // Phys. Rev. B. – 1983. – Vol. 27, No 2. – P. 985–1009.
- Wang, H. Absorption Coefficients of Crystalline Silicon at Wavelengths from 500 nm to 1000 nm / H. Wang, X. Liu, Z.M. Zhang // Int. J. Thermophys. – 2013. – Vol. 34. – P. 213–225.

УДК 621.382:621.373.820

СПЕКТРЫ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СИНИХ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Бобученко Д.С.¹, Бумай Ю.А.¹, Цвирко В.И.²

¹Белорусский национальный технический университет

²РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси»

Минск, Республика Беларусь

Исследовались InGaN/GaN светодиоды синего свечения мощностью 5 Вт с множественными квантовыми ямами фирмы Philips LXC2-PB14-

P00 [1]. Измерения проводились при токе 10 мА. Измерения проводились на специализированном спектрометрическом оборудовании в