

SIMULATION OF CURRENT DENSITY FLUCTUATIONS IN SUBMICRON SILICON DIODE

Borzdov A. V.¹, Borzdov V. M.¹, Busliuk V. V.²

¹Belarusian State University

4, Nezavisimosty ave., Minsk, 220030, Belarus

Ph.: (375) 17 3987545, e-mail: borzdov@bsu.by

²Unitary company "SKB West"

96/1, Suvorov str., Brest, 224022, Belarus

Ph.: (375) 162 523759, e-mail: skbw@rambler.ru

Abstract — Ensemble Monte Carlo simulation of current density fluctuations in submicron silicon diode with n^+-n-n^+ structure has been performed. The influence of impact ionization process on the noise characteristics of the device has been studied.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА В СУБМИКРОННОМ КРЕМНИЕВОМ ДИОДЕ

Борздов А. В.¹, Борздов В. М.¹, Буслюк В. В.²

¹Белорусский государственный университет

пр. Независимости, 4, г. Минск, 220030, Беларусь

тел.: (375) 17 3987545, e-mail: borzdov@bsu.by

²Унитарное предприятие "СКБ Запад"

ул. Суворова, 96/1, г. Брест, 224022, Беларусь

тел.: (375) 162 523759, e-mail: skbw@rambler.ru

Аннотация — Проведено моделирование многочастичным методом Монте-Карло флуктуаций плотности тока в субмикронном кремниевом диоде со структурой n^+-n-n^+ . Изучено влияние процесса ударной ионизации на шумовые характеристики прибора.

I. Введение

В связи с уменьшением размеров активных элементов интегральных микросхем большой интерес вызывает изучение влияния шумов на их работу, а также определение основных физических источников этих шумов. Для микро- и наноразмерных интегральных диодных и транзисторных структур, в частности, интерес представляет исследование флуктуаций плотности тока, протекающего через электроды прибора, оказывающих принципиальное влияние на нормальную работу этих приборов [1]. При этом особое внимание уделяется изучению влияния процессов генерации-рекомбинации носителей заряда на шумовые характеристики приборов. К таковым процессам можно отнести и лавинное умножение носителей заряда в результате ударной ионизации [2]. Известно, что в настоящее время все большее значение при исследовании шумовых характеристик приобретает численное моделирование, в частности самосогласованное моделирование переноса носителей заряда на основе многочастичного метода Монте-Карло, поскольку оно позволяет детально исследовать физику этих процессов. Обзор основных проблем, возникающих при моделировании шумов методом Монте-Карло, можно найти, например, в [3].

Цель данной работы, являющейся продолжением предыдущего исследования [4], — изучение шумовых характеристик кремниевых диодов со структурой n^+-n-n^+ в режиме токовых флуктуаций, когда к электродам приложено постоянное напряжение.

II. Основная часть

Структура моделируемого диода схематически представлена на рис. 1. Приконтактные n^+ -области длиной $L_1 = L_3 = 100$ нм полагаются легированными

донорной примесью с концентрацией 10^{23} м^{-3} , а n -область, являющаяся каналом, также имеет длину $L_2 = 100$ нм и уровень легирования донорами, равный 10^{21} м^{-3} .

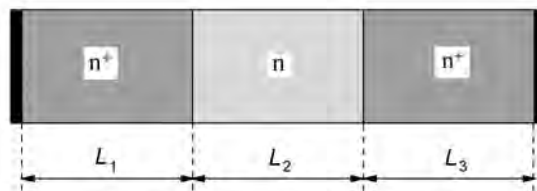


Рис. 1. Структура моделируемого диода.

Fig. 1. The simulated diode structure

Основными параметрами и использованными приближениями при самосогласованном моделировании многочастичным методом Монте-Карло аналогичны предыдущей работе [4]. Особенности расчета таких характеристик шумов, как автокорреляционная функция токовых флуктуаций, описаны, например, в [1, 5]. Основной проблемой при расчете шумовых характеристик является необходимость моделирования переноса ансамбля частиц в течение достаточно длительного времени. Так, для адекватного расчета корреляционных функций в подобных исследуемой в данной работе структурах время моделирования должно составлять несколько нс, а время коррекции поля — $1\div 10$ фс в зависимости от уровней легирования контактных областей и канала. В данном случае уровни легирования контактных областей взяты несколько меньшими, нежели те, которые имеют место в реальных микро- и наноразмерных приборных структурах, с целью обеспечить приемлемое время расчета для ансамбля из $10\,000\div 15\,000$ частиц. Данное обстоятельство не сужает общности

выводов, сделанных по результатам исследования, и не влияет на качественное описание шумовых характеристик приборов такого рода.

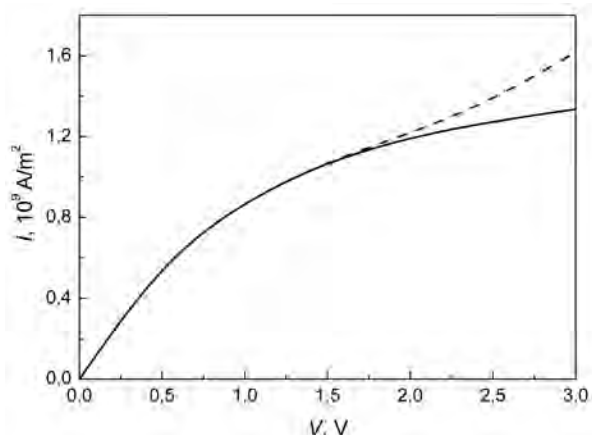


Рис. 2. Вольтамперные характеристики диода: сплошная кривая — без учета, штриховая — с учетом процесса ударной ионизации.

Fig. 2. Current-voltage characteristics of the diode: solid curve — without account, and dashed curve — with account of impact ionization process

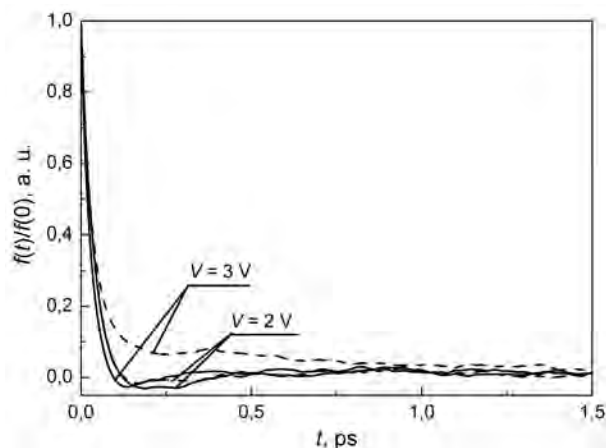


Рис. 3. Автокорреляционные функции флуктуаций плотности тока: сплошные кривые — без учета, штриховые — с учетом процесса ударной ионизации.

Fig. 3. Autocorrelation functions of current density fluctuations: solid curves — without account, and dashed curves — with account of impact ionization process

Все результаты моделирования получены для температуры $T = 300$ К. Учитывая особенности рассматриваемой диодной структуры, моделировался перенос только основных носителей заряда — электронов. В отсутствие ударной ионизации дырочным током можно пренебречь, однако дырочную компоненту тока необходимо учитывать в случае, когда имеет место интенсивный процесс генерации электронно-дырочных пар в результате ударной ионизации. Также в данной модели рассматривался только процесс ударной ионизации электронами. При моделировании переноса носителей заряда учитывались следующие механизмы рассеяния: на фонах, ионизированной примеси, а также процесс ударной ионизации электронами в рамках модели Келдыша с

мягким порогом. В целом использованная в данной работе Монте-Карло модель переноса аналогична таковой для кремниевых МОП-транзисторов [6, 7].

На рис. 2 приведены статические вольтамперные характеристики диода с учетом и без учета процесса ударной ионизации. Как видно из рисунка, для рассматриваемой структуры ударная ионизация оказывает заметное влияние на величину тока при напряжениях между электродами, больших 2 В.

На рис. 3. представлены автокорреляционные функции флуктуаций плотности тока диода для стационарного режима с учетом и без учета процесса ударной ионизации при напряжениях между электродами 2 и 3 В. Как видно из рисунка, автокорреляционные функции представляют собой фактически экспоненциально убывающие со временем функции. Существенное различие в автокорреляционных функциях с учетом и без учета процессов ударной ионизации имеет место для напряжения 3 В, когда эти процессы протекают достаточно интенсивно. При этом проведенные расчеты показывают, что в случае учета ударной ионизации наблюдается увеличение времени корреляции флуктуаций плотности тока в структуре.

III. Заключение

Многочастичным методом Монте-Карло промоделированы процессы переноса носителей заряда и флуктуации плотности тока в кремниевом диоде при постоянном напряжении между электродами с учетом процесса ударной ионизации. Рассчитаны зависимости плотности тока в диоде от приложенного напряжения, а также автокорреляционные функции флуктуаций плотности тока. Показано, что процессы ударной ионизации приводят к увеличению времени корреляции флуктуаций плотности тока.

IV. References

- [1] Rengel R., Martin M. J., Gonzalez T., Mateos J., Pardo D., Dambrine G., Raskin J.-P., Danneville F. A microscopic interpretation of the RF noise performance of fabricated FDSOI MOSFETs. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2006, Vol. 53, No 3, pp. 523-532.
- [2] Reklaitis A., Reggiani L. Monte Carlo investigation of current voltage and avalanche noise in GaN double-drift impact diodes. *Journal of Applied Physics*, 2005, Vol. 97, pp. 043709-1-043709-8.
- [3] Gonzalez T., Mateos J., Martin-Martinez M. J., Perez S., Rengel R., Vassalo B. G., Pardo D. Monte Carlo simulation of noise in electronic devices: limitations and perspectives. *CP665, Unresolved Problems of Noise and Fluctuations: UPoN 2002: Third International Conference*, 2003, pp. 496-503.
- [4] Borzdov A. V., Borzdov V. M., Busliuk V. V. Simulation of the influence of impact ionization process on the current noise in deep submicron silicon diode. *2014 24th Int. Crimean Conf. "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2014)*. Sevastopol, 2014, pp. 805-806.
- [5] Martin M. J., Velazques J. E., Pardo D. Analysis of current fluctuations in silicon pn^+ and p^+n homojunctions. *Journal of Applied Physics*, 1996, Vol. 79, No. 9, pp. 6975-6981.
- [6] Borzdov V. M., Borzdov A. V., Speransky D. S., V'yurkov V. V., Orlikovsky A. A. Evaluation of the effective threshold energy of the interband impact ionization in a deep-submicron silicon n-channel MOS transistor. *Russian Microelectronics*, 2014, Vol. 43, No 3, pp. 189-193.
- [7] Borzdov A. V., Borzdov V. M., V'yurkov V. V. Monte Carlo simulation of hot electron transport in deep submicron SOI MOSFET. *Proceedings of SPIE*, 2014, Vol. 9440, pp. 944013-1-944013-7.