СЕКЦИЯ 1
ПРОЦЕССЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ И ПЛАЗМЫ С ТВЕРДЫМ ТЕЛОМ

SECTION 1
PROCESSES OF RADIATION AND PLASMA INTERACTION WITH SOLIDS

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО КРЕМНИЕВОГО ФОТОДЕТЕКТОРА СО СТРУКТУРОЙ МЕТАЛЛ-ПОЛУПРОВОДНИК-МЕТАЛЛ

А.В. Борздов, В.М. Борздов
Белорусский государственный университет,
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Беларусь, borzdov@bsu.by

Проведено самосогласованное моделирование на основе многочастичного метода Монте-Карло фототока кремниевого фотодетектора со структурой металл-полупроводник-металл при воздействии пикосекундного импульса лазерного излучения с длиной волны 650 нм интенсивностью 10^{10} Вт/м^2. Исследован фотоотклик детекторов с омическими контактами и контактами с барьером Шоттки. Установлено, что время затухания фототока в структуре с барьером Шоттки меньше, чем в структуре с омическими контактами.

Ключевые слова: кремниевый фотодетектор; метод Монте-Карло; моделирование.

MONTE CARLO SIMULATION OF SILICON PHOTODETECTOR WITH METAL-SEMICONDUCTOR-METAL STRUCTURE

A.V. Borzdov, V.M. Borzdov
Belarusian State University, 4 Nezavisimosty Ave., 220030 Minsk, Belarus, borzdov@bsu.by

Self-consistent ensemble Monte Carlo simulation of photocurrent in silicon photodetector with metal-semiconductor-metal structure is performed. Photocurrent is simulated for picosecond laser irradiation with 650 nm wavelength and intensity of 10^{10} W/m^2. The lattice temperature is 300 K. The structures with ohmic contacts and contacts with Schottky barriers are considered. To provide an ohmic contacts the silicon regions under metal contacts are supposed to be doped by donor impurity at 10^{23} m^{-3} level, while for Schottky contacts semiconductor is supposed to be pure. The spacing between contacts is 0.5 μm, the width of the absorbing silicon layer is 0.5 μm. The laser irradiation is supposed to be uniform in space and time. Only intrinsic absorbtion is regarded. The simulation shows that the photocurrent in the structure with Schottky contacts decays faster than in the structure with ohmic contacts.

Keywords: silicon photodetector; Monte Carlo method; simulation.

Введение

Полупроводниковые структуры металл-полупроводник-металл используются в качестве детекторов излучения видимого и инфракрасного диапазонов [1, 2]. При этом повышенный интерес к кремниевым детекторам обусловлен рядом причин, в частности, возможностью простой интеграции таких приборов в интегральные схемы и их дальнейшей миниатюризацией.

Для исследования рабочих характеристик фотодетекторов достаточно успешно применяется самосогласованное моделирование на основе метода Монте-Карло (см. например [1, 3]). Преимуществом использования многочастичного метода Монте-Карло является возможность непосредственного включения и учета различных процессов рассеяния, поглощения и генерации носителей заряда в приборных структурах [1].

Результаты и их обсуждение

При исследовании электрических характеристик фотодетекторов основной интерес представляет отклик тока при воздействии импульса излучения определенной мощности и длительности, поскольку время отклика определяет быстродействие прибора. В данной работе проведено численное моделирование воздействия пикосекундного импульса лазерного излучения на величину тока в канале кремниевого фотодетектора со структурой металл-полупроводник-металл. Рассмотрены две структуры: с омическими контактами и контактами с барьером Шоттки. Для обеспечения омичности контактов приконтактные области кремния полагаются легированными донорной примесью. При моделировании предполагается, что идеальный омический контакт в каждый момент времени инжектирует определенное количество носителей заряда, необходимое для поддержания квазинейтрального состояния полупроводника у границы раздела металл-кремний. При этом все носители, достигающие границы раздела металл-полупроводник изнутри прибора, поглощаются контактом. Контакт с барьером Шоттки рассматривается как идеальный поглощающий контакт, для которого инжекцией носителей заряда можно пренебречь.

При моделировании процессов переноса электронов учитывается внутридолинное и междолинное рассеяние на фононах, рассеяние на ионизированной примеси, и рассеяние на плазмонах в легированных областях. Для дырок учитываются фононные механизмы рассеяния и рассеяние на ионизированной примеси.

Поперечное сечение фотодетектора схематически представлено на рис. 1. Размеры моделируемых областей следующие: расстояние между электродами L_C = 0.5 мкм, толщина поглощающего слоя кремния W_S = 0.50 мкм, глубина легированных n-областей для структуры с омическими контактами W = 0.2 мкм. Уровень легирования контактных областей донорной примесью составляет 10^{23} $м^{-3}$. Длины контактных областей приняты равными 0.2 мкм. Температура моделируемой структуры – 300 К.

Полагается, что лазерное излучение направлено перпендикулярно поверхности кремния (рис. 1) и охватывает область между контактами. Длительность лазерного импульса равна 1 пс. При этом в качестве модельного приближения предполагается, что интенсивность излучения постоянна во времени и равномерно распределена по площади поверхности фотодетектора. Рассмотрен процесс собственного поглощения излучения кремнием.

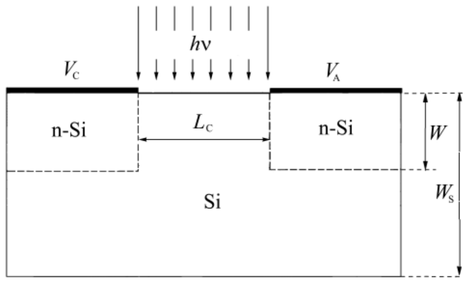
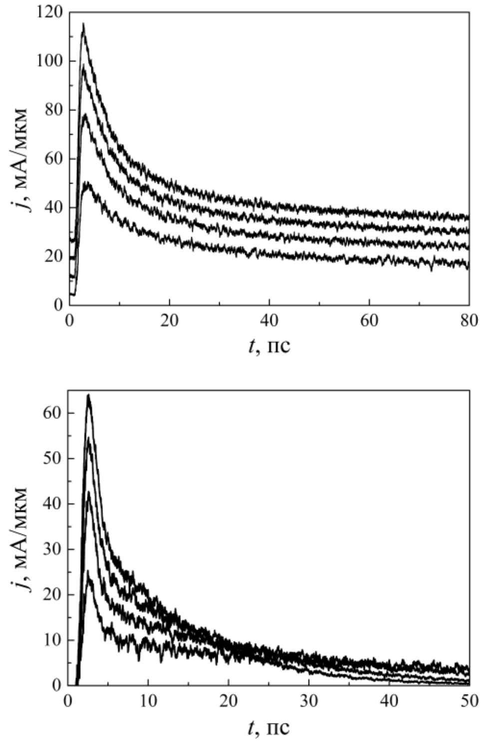


Рис. 1. Поперечное сечение моделируемого фотодетектора
Fig. 1. Crossection of the simulated photodetector

Параметры, характеризующие оптические свойства полупроводника, такие как коэффициент поглощения и преломления в Si для данной длины волны, взяты на основании данных, представленных в [4, 5].

Напряжение подается на один из электродов — анод (V_A), относительно второго электрода — катода (V_C), т.е V_C полагается равным нулю.

На рис. 2 приведены зависимости от времени фототока для четырех значений напряжения на аноде V_A: 0.5, 1, 1.5 и 2 В. На рисунках (а) и (б) кривые с большим максимальным значением фототока соответствуют большему значению приложенного к аноду напряжения. Предполагается, что лазерное излучение включается в момент времени t = 1 пс. При этом до начала воздействия излучения моделирование проводится в течение некоторого времени, достаточного для установления стационарного процесса переноса электронов и дырок в фотодетекторе.



а(*a*)

б(*b*)

Рис. 2. Зависимость фототока от времени: а – структура с омическими контактами; б – структура с контактами Шоттки

Fig. 1. Dependence of the photocurrent on time: *a* – structure with ohmic contacts; *b* – structure with Schottky contacts

Как видно из рисунка, для структуры с омическими контактами время затухания фототока значительно превосходит таковое для структуры с контактами Шоттки. Такую зависимость фототока от времени можно объяснить, на наш взгляд, тем, что в сильно легированных приконтактных областях напряженность электрического поля гораздо меньше, нежели в области, прилегающей к контакту Шоттки. Таким образом, экстракция сгенерированных излучением электронов и дырок из приконтактных областей фотодетектора происходит медленнее в случае омических контактов. Также в качестве преимущества фотодетекторов с контактами Шоттки можно отметить существенно меньшее значение темнового тока по сравнению с детектором с омическими контактами.

Заключение

Проведено численное моделирование на основе многочастичного метода Монте-Карло отклика тока кремниевого фотодетектора со структурой металл-полупроводник-металл на воздействие пикосекундного импульса лазерного излучения с длиной волны 650 нм и интенсивностью 10^{10} Вт/м^2 при температуре 300 K. Рассмотрены структуры фотодетекторов с омическими контактами и контактами Шоттки. Установлено, что время затухания фототока в детекторах с контактами Шоттки меньше, чем в детекторах с омическими контактами при рассмотренных напряжениях между электродами.

Библиографические ссылки/ References

1. Moglestue C. Monte Carlo simulation of semiconductor devices. Springer; 1993. 334 p.
2. Pancheri L., Scandiuzzo M., Dalla Betta G.-F., Stoppa D. et al. A silicon metal-semiconductor-metal photodetector macromodel for circuit simulations. *Solid-State Electronics* 2005; (49): 175-181.
3. Dunnts G.M., Walkert A.B., Jefferson J.H., Herbert D.C. Monte Carlo simulation of GaAs optically activated switches. *Semiconductor science and technology* 1994; (9): 2116-2122.
4. Aspnes D.E., Studna A.A. Dielectric functions and optical parameters of Si, Ge, GaP, GaAs, GaSb, InP, InAs, and InSb from 1.5 to 6.0 eV. *Physical Review B* 1983; 27(2): 985–1009.
5. Wang H., Liu X., Zhang Z.M. Absorption coefficients of crystalline silicon at wavelengths from 500 nm to 1000 nm. *International Journal of Thermophysics* 2013; (34): 213-225.