

Рис. 2. Пример обратной ветви ВАХ генераторного диода в модели ATLAS - Silvaco

Как видно из рис. 2 (напряжение пробоя 6,23 В) точке с наибольшим изломом криволинейной ВАХ соответствуют ток на уровне 0,5 нА и напряжение 6,15 В (дифференциальное сопротивление диода здесь снижается более чем на два порядка – с 570 до 2 мОм). Ширина диапазона в 80 мВ, по-видимому, соответствует наибольшей возможной амплитуде шумового сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукьянчикова, Н.Б. Флуктуационные явления в полупроводниках и полупроводниковых приборах / Н.Б. Лукьянчикова. М.: Радио и связь. 1990. 300 с.
2. Барановский, О.К. Кремниевые диоды-генераторы шумовых импульсных последовательностей: сб. научн. трудов II Междунар. науч. конф « Материалы и структуры современ. электроники» / О.К. Барановский [и др.]. 5–6 октября 2006. Минск. 2006. – С.58–61.
3. Грехов, И.В. Лавинный пробой р-п перехода в полупроводниках / И.В. Грехов, Ю.Н. Сережкин. Л.: Энергия. 1980. 152 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ВЛИЯНИЯ УДАРНОЙ ИОНИЗАЦИИ НА ВАХ И ФЛУКТУАЦИИ ТОКА В КРЕМНИЕВОМ ДИОДЕ СО СТРУКТУРОЙ $n^+ - n - n^+$

А. В. Борздов¹, В. М. Борздов¹, В. В. Буслюк²

¹Белорусский государственный университет, borzdov@bsu.by

²Частное научно-исследовательское унитарное предприятие «СКБ Запад», skbwest@rambler.ru

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время большое внимание уделяется вопросам компьютерного моделирования шумов и их характеристик в различных полупроводниковых структурах и приборах. На данный момент с этой целью используется несколько методов и подходов, в основе которых лежат различные модели переноса носителей заряда в исследуемых структурах. В этой связи необходимо отметить, что метод Монте-Карло является одним из самых перспективных методов исследования приборных шумов,

поскольку позволяет естественным образом учесть все основные причины их возникновения при протекании тока через прибор. Основанный на самосогласованном решении уравнений Больцмана и Пуассона с учетом процессов рассеяния, генерации-рекомбинации, ударной ионизации, а также особенностей зонной структуры конкретного полупроводника, он позволяет с необходимой адекватностью описывать как источники и причины возникающих в приборе шумов, так и их численные характеристики и закономерности [1, 2].

Известно, что основными видами шумов в интегральных приборных структурах являются тепловой, дробовой, фликер-шум, а также шум, связанный с процессами генерации-рекомбинации. Известно также, что с уменьшением линейных размеров элементов при дальнейшей миниатюризации элементной базы электроники в сильных электрических полях, существующих в активных областях приборов, носители заряда могут существенно разогреваться, становясь горячими. В этом случае очень важную роль должен играть шум, обусловленный процессами ударной ионизации. Основными причинами такого шума являются флуктуации числа первичных носителей, вызывающих акт ударной ионизации, а также случайный характер самого процесса умножения. Целью данной работы явилась разработка численной модели переноса носителей заряда в кремниевой глубокосубмикронной диодной структуре $n^+ - n - n^+$ на основе метода Монте-Карло в условиях значительного разогрева электронного газа в проводящем канале для расчета ее вольтамперных характеристик (ВАХ), и исследования влияния процесса межзонной ударной ионизации на электрический шум в этой структуре.

МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА

Исследуемый в данной работе диод представляет собой кремниевую структуру с двумя резкими гомопереходами [3]. Моделируемая область диода схематически представлена на рис. 1. Контактные n^+ -области длиной $L_1 = L_3 = 100$ нм полагаются легированными до 10^{25} м^{-3} , а n -область, называемая каналом, также имеет длину $L_2 = 100$ нм и уровень легирования 10^{22} м^{-3} .

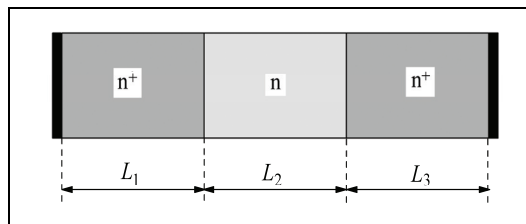


Рис. 1. Структура моделируемого диода

Для расчета электростатического потенциала и полей в диоде, а также расчета электрического тока и других электрофизических характеристик структуры, используется самосогласованное моделирование, включающее решение уравнения Пуассона вместе с моделированием переноса носителей заряда многочастичным методом Монте-Карло. В рассматриваемом случае предполагается, что поперечные размеры диода гораздо больше расстояния между контактами, равного $L_1 + L_2 + L_3$ (см. рис. 1), так что в поперечном сечении электрическое поле можно считать постоянным. При этом применяется так называемое одномерное приборное моделирование, когда решается одномерное уравнение Пуассона, а многочастичный метод Монте-Карло яв-

ляется одномерным в пространстве координат и трехмерным в пространстве импульсов.

Контакты металл-полупроводник рассматриваются как идеальные омические контакты, т. е. считается, что со стороны кремния в некоторой приграничной области поддерживается квазиравновесное состояние для обоих типов носителей заряда. В таком случае частицы, достигающие контакта металл-полупроводник со стороны полупроводника, свободно покидают область моделирования. Металлический контакт при этом постоянно инжектирует определенное число носителей заряда, необходимое для поддержания квазиравновесного состояния в этой приграничной области. Моделирование проводится для температуры $T = 300$ К, поэтому полагается, что легирующая примесь полностью ионизирована.

Для рассматриваемого диода ток в канале обусловлен переносом основных носителей — электронов. Дырочным же током можно пренебречь за исключением случая, когда имеет место интенсивный процесс генерации электронно-дырочных пар в результате ударной ионизации.

Перенос электронов и дырок моделируется с учетом эффекта непараболичности и анизотропии законов дисперсии по аналогии с кремниевым субмикронным МОП-транзистором [4]. Учитывалось внутридолинное и междолинное рассеяние электронов на фонах, рассеяние на ионизированной примеси и межзонная ударная ионизация. Для дырок учитывались процессы рассеяния на акустических и оптических фонах, а также ионизированной примеси.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 2а представлены статические ВАХ диода, рассчитанные с учетом (сплошная кривая) и без учета (штриховая кривая) процесса ударной ионизации.

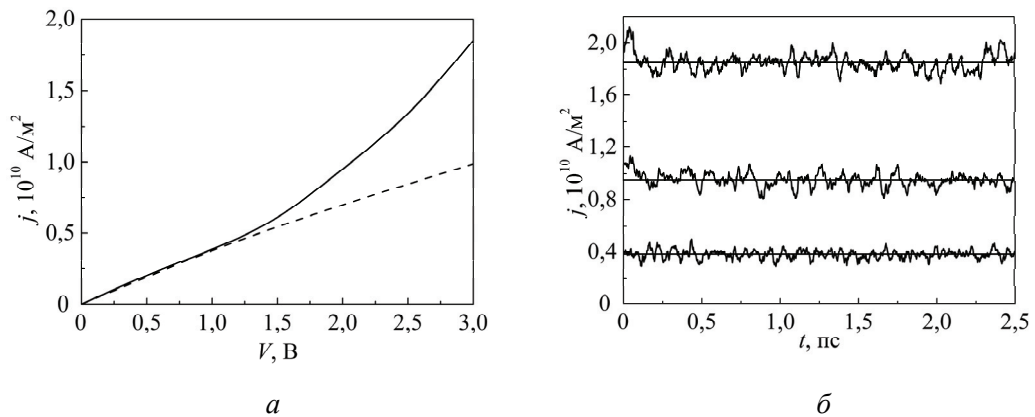


Рис.2 Статические ВАХ (а) и флуктуации тока (б) в диоде

Существенное влияние процесс ударной ионизации оказывает на ВАХ диода при напряжениях между электродами больших 1,5 В. Отметим, что аналогичное исследование для n-канального глубокосубмикронного МОП-транзистора было выполнено нами в [5], результаты которого также выявили сильную зависимость ВАХ этого прибора от интенсивности процесса межзонной ударной ионизации.

На рисунке 2б в качестве примера приведены зависимости плотности тока в канале диода от времени вместе с ее средними установившимися значениями для напряжений V между электродами 1, 2 и 3 В (большему значению напряжения соответствует большее среднее значение плотности тока).

Анализ рассчитанных зависимостей показал, в частности, что имеет место значительный рост величины дисперсии плотности тока в случае учета процесса ударной ионизации по отношению к величине дисперсии, рассчитанной без учета этого процесса. Для более детального количественного анализа влияния процесса ударной ионизации на флуктуации тока диодов необходим расчет других важных параметров, таких как, например, корреляционные функции, что является предметом дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gonzalez, T.* Monte Carlo simulation of noise in electronic devices: limitations and perspectives / T. Gonzalez [et al.] // Unresolved Problems of Noise and Fluctuations: UPoN 2002: Third International Conference. 2003. Vol. CP665. P. 496.
2. *Rengel, R.* A microscopic interpretation of the RF noise performance of fabricated FDSOI MOSFETs / R. Rengel [et al.] // IEEE Transactions on Electron Devices. 2006. Vol. 53. No 3. P. 523.
3. *Muscato, O.* Electrothermal Monte Carlo validation of a hydrodynamic model for sub-micron silicon devices / O. Muscato, V. Di Stefano // Journal of Physics: Conference Series. 2009. Vol. 193. P. 1.
4. *Борздов, В. М.* Оценка эффективной пороговой энергии межзонной ударной ионизации в глубокосубмикронном кремниевом n-канальном МОП-транзисторе / В. М. Борздов [и др.] // Микроэлектроника. 2014. Т. 43. № 3. С. 188.
5. *Speransky, D.* Impact ionization process in deep submicron MOSFET / D. Speransky, A. Borzdov, V. Borzdov // International Journal of Microelectronics and Computer Science. 2012. Vol. 3. No 1. P.21.

УМЕНЬШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В КРЕМНИЕВЫХ СЛОЯХ СТРУКТУР КРЕМНИЙ НА САПФИРЕ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИМПУЛЬСАМИ БЕЛОГО СВЕТА СО СТОРОНЫ САПФИРОВОЙ ПОДЛОЖКИ

А. Б. Герасимов¹, Г. Д. Чирадзе²

¹Грузинский технический университет, департамент физики,

²Госуниверситет Акакия Церетели, департамент физики,

gogichiradze@yahoo.com

Использование гетероструктур кремний на сапфире (КНС) является одним из перспективных с целью изготовления высокочастотных интегральных схем с высокой плотностью элементов. Приборы, изготовленные на основе этой структуры, более долговечны, имеют высокую стойкость к радиации и потребляют меньше энергии по сравнению со структурами, изготовленными на массивном кремнии.