

Влияние шероховатостей поверхности на дрейфовую скорость электронов в транзисторной структуре с одномерным проводящим каналом

А. В. Борздов, В. М. Борздов, Д. В. Поздняков

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
e-mail: borzdov@bsu.by*

Исследуется влияние шероховатостей поверхности на дрейфовую скорость электронов в транзисторной структуре с одномерным проводящим каналом на основе GaAs-квантовой проволоки. Перенос электронов моделируется многочастичным методом Монте-Карло. Показана возможность периодического изменения величины дрейфовой скорости электронов в такой структуре под действием переменного затворного напряжения, а также генерации электрических колебаний с удвоенной частотой относительно частоты затворного напряжения.

Ключевые слова: GaAs; квантовая проволока; метод Монте-Карло.

The influence of surface roughness on the drift velocity of electrons in a transistor structure with a one-dimensional conducting channel

A. V. Borzdov, V. M. Borzdov, D. V. Pozdnyakov

Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: borzdov@bsu.by

The effect of surface roughness on the electron drift velocity in a transistor structure with a one-dimensional conducting channel based on a GaAs quantum wire is investigated. Electron transport is simulated using the ensemble Monte Carlo method. The possibility of periodically varying the electron drift velocity in such a structure under the effect of an alternating gate voltage, as well as the possibility of generating electrical oscillations with a frequency double that of the gate voltage, is demonstrated.

Keywords: GaAs; quantum wire; Monte Carlo method.

Введение

Исследование процессов переноса носителей заряда в полупроводниковых структурах с одномерными каналами является весьма актуальной задачей, что обусловлено непрерывным уменьшением размеров элементов интегральных микросхем [1]. Многочастичный метод Монте-Карло позволяет моделировать как процессы стационарного переноса носителей заряда в системах с низкоразмерным электронным газом, так и переходные процессы, а также процессы переноса, происходящие при воздействии периодических внешних электрических полей [2]. В настоящей работе рассматривается транзисторная структура с двумя затворами, проводящим каналом которой является тонкая GaAs-квантовая проволока в матрице барьерного слоя AlAs. Исследуется влияние шероховатостей границы раздела GaAs/AlAs на дрейфовую скорость электронов в структуре при подаче переменного гармонического напряжения на затворы.

Модель и результаты расчетов

Поперечное сечение рассматриваемой транзисторной структуры представлено на рис. 1. Размеры проволоки, использованные при моделировании, следующие: $L = 10$ нм, $W = 5$ нм, $d = 5$ нм. Температура кристаллической решетки равна 300 К.

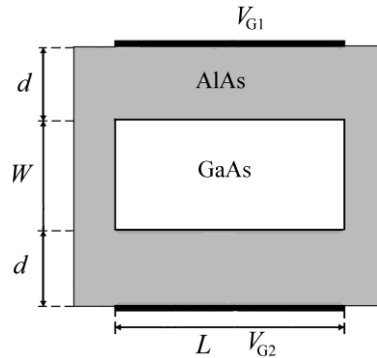


Рис. 1. Поперечное сечение моделируемой квантовой проволоки

Перенос электронов моделируется в условиях электрического квантового предела с учетом только основного квантового состояния. Волновая функция для основного квантового состояния находится путем численного решения двумерного уравнения Шредингера. Рассмотрен случай бесконечно малой концентрации электронов в канале квантовой проволоки. В рамках модельного приближения считается, что действие затворного напряжения сводится только к созданию поперечного электрического поля в структуре и не влияет на концентрацию электронов в канале. Также предполагается, что дрейфовая скорость устанавливается мгновенно при изменении напряжения на затворах.

Помимо рассеяния на шероховатостях границ раздела GaAs и AlAs, процедура моделирования переноса электронов включает процессы рассеяния на локализованных модах полярных оптических и акустических фононов. Интенсивности рассеяния электронов рассчитываются с учетом столкновительного уширения [1, 3]. В работе [3] было показано, что шероховатости поверхности оказывают существенное влияние на величину дрейфовой скорости электронов в тонкой GaAs-квантовой проволоке. При этом интенсивность рассеяния электронов на шероховатостях границы раздела GaAs/AlAs заметным образом зависит от величины напряженности поперечного электрического поля. Этот факт можно использовать для модуляции дрейфовой скорости электронов с помощью переменного смещения, подаваемого на один из затворов относительно второго.

На рис. 2 представлена рассчитанная зависимость дрейфовой скорости электронов в транзисторной структуре от времени для случая, когда на один из затворов подается напряжение относительно второго, которое изменяется во времени по гармоническому закону: $U = U_0 \sin \varphi$, где U_0 – амплитуда смещения, в нашем случае равная 1 В. Аргумент определяется как $\varphi = 2\pi t/T$, где t – текущее время, T – период модулирующего сигнала на затворе. Параметры шероховатостей границы раздела GaAs/AlAs следующие: длина корреляции шероховатостей $\Lambda = 6$ нм, амплитуда

шероховатостей $\Delta = 0,5$ нм [3]. Напряженность постоянного продольного электрического поля составляет 10^4 В/м.

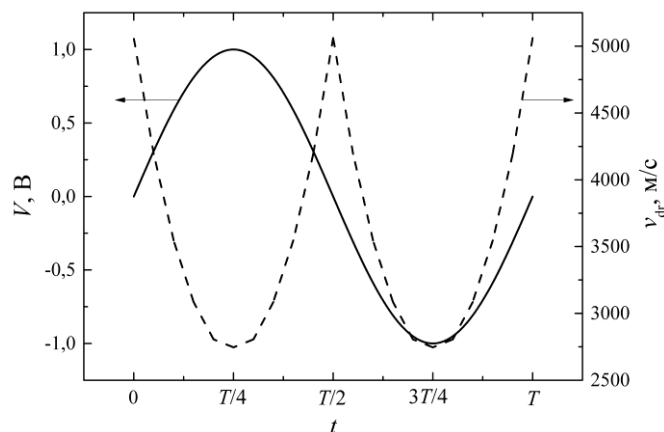


Рис. 2. Зависимость дрейфовой скорости электронов в квантовой проволоке от времени

Как видно из рис. 2, величина модуляции дрейфовой скорости электронов по отношению к ее максимальному значению при изменении затворного напряжения от 0 до 1 В составляет более 20 % при выбранных параметрах шероховатостей. При этом период осцилляций дрейфовой скорости оказывается в два раза меньшим периода переменного затворного напряжения. Таким образом, учитывая тот факт, что величина тока в структуре пропорциональна величине дрейфовой скорости электронов, данный эффект можно использовать для двукратного умножения частоты электрических колебаний в структуре по отношению к частоте переменного затворного напряжения.

Заключение

Многочастичным методом Монте-Карло проведено моделирование зависимости дрейфовой скорости электронов в канале транзисторной структуры на основе тонкой нелегированной GaAs-квантовой проволоки при действии затворного напряжения, изменяющегося по гармоническому закону. Показана возможность модуляции дрейфовой скорости электронов затворным напряжением, которая обусловлена достаточно сильной зависимостью интенсивности рассеяния электронов на шероховатостях границы раздела GaAs и AlAs от приложенного напряжения, а также возможность генерации электрических колебаний в такой структуре с удвоенной частотой по отношению к частоте переменного затворного напряжения.

Библиографические ссылки

1. Поздняков Д. В., Борздов В. М. Моделирование электрофизических свойств приборных структур с одномерным электронным газом. Минск : БГУ, 2025.
2. Modelling of non-stationary electron transport in semiconductor nanowires and carbon nanotubes. / D. Pozdnyakov [et al.]. // Proc. SPIE. 2008. Vol. 7025. P. 70251S-1–9.
3. Моделирование влияния поперечного электрического поля на дрейфовую скорость электронов в GaAs квантовой проволоке / А. В. Борздов [и др.] // Микроэлектроника. 2010. Т. 39, № 6. С. 436–442.