

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПТШ НА GaAs ПРИ ЗАДАННОЙ ГЕОМЕТРИИ

Килесса Г. В., Асанов Э. Э., Зуев С. А.
Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского,
Кафедра радиофизики и электроники
пр. Вернадского, 4, г. Симферополь, 95007, Украина
тел.: 38 095 4017446; e-mail: kilessa@gmail.com

Аннотация — В работе представлены основные теоретические положения, на основе которых построена новая реализация численной модели ПТШ на GaAs, проведены на данной модели исследования основных характеристик ПТШ (ВАХ, реакция на прямоугольный импульс). Для увеличения производительности модели отдельные этапы вычисления проводились на GPU с использованием технологии NVIDIA CUDA.

I. Введение

В настоящее время значимую роль в разработке СВЧ-техники играет проектирование интегральных микросхем СВЧ-диапазона, одним из активных элементов которых является полевой транзистор, в том числе с затвором Шоттки (ПТШ). ПТШ обладают высоким быстродействием и низким уровнем шумов. В связи с наметившейся тенденцией к повышению плотности интеграции микросхем и достижением субмикронных размеров их активных элементов, существует потребность в практически эксплуатируемых численных моделях транзисторов для проведения численных экспериментов и проектирования новых приборов с заданными параметрами, поскольку классические методы анализа приборов дорогостоящие и не дают удовлетворительных результатов.

В данной работе приведено описание численной модели работы ПТШ на основе арсенида галлия.

II. Особенности модели

Для построения достоверной модели процессов, происходящих в активной области транзистора, необходимо промоделировать движение свободных электронов этой области. Данная задача является задачей о движении ансамбля взаимодействующих частиц в неоднородном поле и описывается кинетическим уравнением Больцмана:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \sum_i \frac{\partial f}{\partial r_i} \frac{d \vec{r}_i}{dt} + \sum_i \frac{\partial f}{\partial p_i} \frac{d \vec{p}_i}{dt} = S. \quad (1)$$

Решение кинетического уравнения сводится к решению уравнений движения для носителей заряда в кристалле с учетом рассеяния:

$$\frac{d \vec{r}}{dt} = \frac{1}{\hbar} \frac{d \varepsilon_{\vec{k}}}{d \vec{k}} \quad \text{и} \quad \frac{d \vec{k}}{dt} = \frac{1}{\hbar} \vec{F}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_{\vec{k}}$, m^* — энергия и эффективная масса носителя соответственно, \vec{F} — действующая на него внешняя сила. Сочетая решение уравнений движения за время, соответствующее свободному пробегу носителей между двумя произвольными актами рассеяния, с выбором механизма рассеяния и осуществлением соответствующего фазового перехода, можно на каждом временном этапе получить функцию распределения всего ансамбля носителей заряда в заданной области, то есть решить уравнение (1). Выбор механиз-

ма рассеяния в соответствии с его вероятностью проводится методом Монте-Карло [3].

Для определения силы, действующей на носители заряда со стороны электрического поля, решается уравнение Пуассона:

$$\Delta \varphi = \frac{4\pi e}{\varepsilon \varepsilon_0} \left[\sum_i \int f_i d\vec{k} - N \right], \quad (3)$$

где $N = N(r)$ — распределение ионизированных атомов в решетке, ε — диэлектрическая проницаемость кристалла.

Для того, чтобы модель ПТШ в реальном времени позволяла получать параметры транзистора с приемлемой точностью и небольшими временными затратами можно использовалась GPU, с применением технологии CUDA (Compute Unified Device Architecture). На отдельных этапах вычисления, например, Фурье-анализ (для решения уравнения Пуассона применялся алгоритм FACR — Fourier Analysis and Cyclic Reduction), удалось достигнуть уменьшения расчетного времени свыше 300 раз.

III. Результаты

Была промоделирована рабочая область ПТШ на основе GaAs с геометрией, указанной на рис. 1, уровни легирования слоев GaAs: n_1 — канал — 10^{21} м^{-3} , n_2 — 10^{19} м^{-3} , n_+ — контактный слой — $2 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$, материал металлизации затвора — Au с подслоем из W.

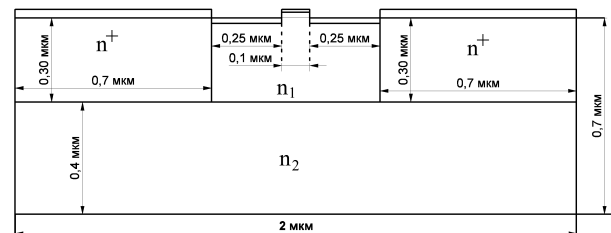


Рис. 1. Геометрия моделируемой области.

Fig. 1. The geometry of the simulated area

На основе полученных значений тока стока при различных значениях Уси была построена ВАХ полевого транзистора.

Чтобы вычислить максимальную рабочую частоту транзистора с данной геометрией и уровнями легирования, на затвор указанной структуры подавались прямоугольные импульсы с амплитудой 1 В, периодом 20 пс и длительностью 7 пс.

Как видно из рис. 3, в форме выходного сигнала транзистора (зависимости тока стока от времени) наблюдаются нелинейные искажения, причиной которых является запаздывание реакции транзистора на импульсы управляющего напряжения. На рис. 3 пунктирными линиями отмечены моменты времени, когда происходит смена уровня тока стока. Время

задержки $T_{\text{реак}}$ составляет в среднем 3 пс. Наличие интервала задержки накладывает ограничение на максимальную частоту сигнала, который транзистор может передавать без значительных искажений: если период входного импульса меньше либо равен времени реакции, то ток стока не будет успевать изменяться по закону входного напряжения. Отсюда максимальная рабочая частота моделируемого транзистора составляет $f_{\text{max}} = 1/(2T_{\text{реак}}) \approx 160$ ГГц.

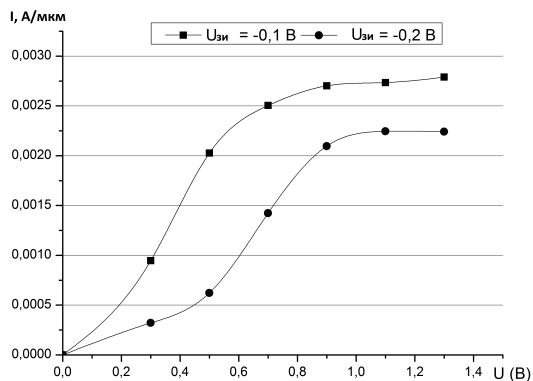


Рис. 2. ВАХ ПТШ с длиной затвора 100 нм.

Fig. 2. CVC of MESFET with a gate length of 100 nm

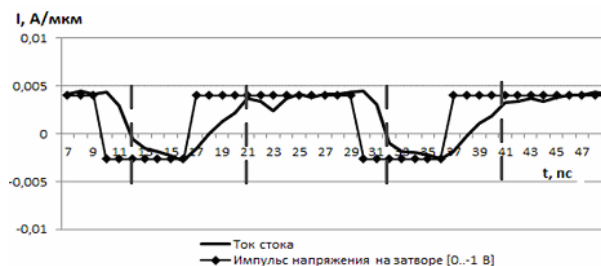


Рис. 3. Зависимость тока стока ПТШ от времени при подаче прямоугольного импульса.

Fig. 3. The dependence of the MESFET drain current vs. time

IV. Заключение

Таким образом, предложена новая реализация численной модели ПТШ, позволяющая анализировать процессы имеющие место в ПТШ в различных режимах работы, а также рассчитывать его переходные и частотные характеристики.

С помощью предложенной модели получено преобразование транзистором входного полигармонического ВЧ-сигнала.

V. Список литературы

- [1] Зи С. Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984. – 456 с.
- [2] Зуев С. А., Старостенко В. В., Шадрин А. А. Модель расчета полевых транзисторов на GaAs субмикронных размеров // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. 2001. Вып.121. С.146—152.
- [3] Поттер Д. Вычислительные методы в физике. М.: Мир, 1975. 394 с.
- [4] Реклайтис А. С., Мицявичус Р. В. Новое в жизни, науке, технике: Метод Монте Карло в физике полупроводников. М.: Знание, 1988. 38 с.
- [5] Хокни Р., Иствуд Д. Численное моделирование методом частиц. М.: Мир, 1987. 638 с.
- [6] NVIDIA CUDA C Programming Guide. Version 3.2, 2010. 183 p.

EXTREME FREQUENCY CHARACTERISTICS OF GaAs-BASED MESFET FOR A GIVEN GEOMETRY

Kilessa G. V., Asanov E. E., Zuev S. A.
Tavrida National University n.a. V. I. Vernadsky,
Department of Radiophysics and Electronics
4, Vernadskogo Ave., Simferopol, 95007, Ukraine
Ph.: 38 095 4017446, e-mail: kilessa@gmail.com

Abstract — The paper presents the basic theoretical principles on which the numerical model of GaAs-based MESFETs is based, and the main characteristics (CVC, response to a rectangular pulse) obtained by the developed model. To increase the productivity of the model, some steps of the calculations were performed on the GPU using NVIDIA CUDA technology.

I. Introduction

Currently the design of integrated circuits for the microwave range, based on metal-semiconductor-field-effect-transistors (MESFET's), plays the significant role in the development of microwave technology. MESFET's have high operating speed and low noise level. In connection with the achievement in the development of submicron gate length it is necessary to create a numerical model of MESFET exploited in practice to carry out computational experiments, since the classical methods of analysis of the instruments do not provide satisfactory results. This paper describes a numerical model of MESFET based on gallium arsenide.

II, III. Main Part

To construct a reliable model of the processes occurring in the active region of the transistor it is necessary to calculate the motion of free electrons in this region in the outer and crystalline fields. This is a problem of the motion of an ensemble of identical interacting particles in a non-uniform field and is described by the kinetic Boltzmann equation.

The solution of the kinetic equation is reduced to solving the equations of motion for charge carriers in the crystal with taking the scattering into account.

Combining solving the equations of motion for the time corresponding to the free path between any two scattering events with choosing the scattering mechanism and implementing of the corresponding phase transition, we can obtain the distribution function of the entire ensemble of carriers in a given area at each time step. The choice of the scattering mechanism in accordance with its probability can be conducted using the Monte Carlo method.

IV. Conclusion

Thus, the numerical model of MESFET is developed, which allows analyzing the processes taking place in MESFET in various work modes and calculating its transient and frequency characteristics.

Transformation of a polyharmonic RF signal is obtained by means of the proposed model.