

# МОДЕЛЬ ОМИЧЕСКОГО КОНТАКТА ПТШ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КРУПНЫХ ЧАСТИЦ

Асанов Э. Э., Килесса Г. В., Зуев С. А., Слипченко Н. И.  
 Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского  
 пр. Вернадского, 4, г. Симферополь, 95007, Украина  
 Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
 пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166, Украина  
 тел.: 095-4086754, e-mail: asanovernest23@gmail.com

**Аннотация** — В работе представлены основные положения, на основе которых построена численная модель контакта металл-полупроводник для случая омического контакта. В результате проведенных вычислительных экспериментов получены вольтамперные характеристики контакта и распределения полей, свидетельствующие о достоверной работе модели.

## I. Введение

В настоящее время моделирование работы субмикронных полупроводниковых приборов (в частности, полевых транзисторов с затвором Шоттки [2, 3]) является чрезвычайно актуальной и нетривиальной задачей. Неотъемлемой частью моделирования полупроводниковых приборов и устройств является построение численных моделей контактов металл-полупроводник (КМП). Точность описания контактов особенно актуальна для короткоканальных приборов, характеристики которых в значительной степени определяются свойствами контактов.

Целью данной работы является обоснование основных параметров численной модели контакта металл-полупроводник, исследование физики процессов прохождения носителей заряда через потенциальный барьер контакта и анализ интегральных характеристик контакта.

## II. Основные положения модели

Построение модели контакта металл-полупроводник можно разбить на три этапа:

- Моделирование рабочей области исследуемого полупроводникового образца;
- Расчет инжекции электронов из металла в полупроводник;
- Моделирование перехода электрона через потенциальный барьер П-образного вида.

При моделировании рабочей области полупроводника использовалась упрощенная версия численной модели, которая была разработана авторами ранее, и использовалась при исследовании полевых транзисторов с затвором Шоттки [2, 3].

Для моделирования инжекции из металла в полупроводник необходимо рассчитать количество электронов, которые способны перейти в зону проводимости полупроводника, находятся в приконтактном объеме металла и в состоянии преодолеть приконтактный барьер. Количество электронов в интервале энергий от  $E$  до  $E+dE$  в приконтактном объеме металла, способных за время  $dt$  пересечь границу металла, определяется по следующей формуле:

$$dN_{\Phi}(E) = F(E)V(E)D(E)dE$$

Здесь  $V(E) = S \cdot v(E) \cdot dt$  — объем приконтактной области,  $D(E)$  — коэффициент прохождения барьера, и  $F(E)$  — функция распределения свободных электронов по энергиям в металле. Тогда полное

количество инжектируемых электронов можно определить как:

$$N_{\Phi}(E) = \int_{E_C}^{E_M} F(E)V(E)D(E)dE$$

По мере инжекции электронов из металла в полупроводник в приконтактном слое со стороны металла образуется положительный заряд поверхностной плотности  $\sigma$ , который создает электрическое поле

$$\xi = \frac{\sigma}{\epsilon_0}, \text{ препятствующее инжекции электронов.}$$

Результатом действия этого поля является уравновешивание токов в омическом контакте.

При попадании частицы на потенциальный П-образный барьер возможно определение коэффициента прохождения барьера  $D(E)$ . Аналитическая формула, описывающая зависимость  $D(E)$  была получена в результате решения стационарной задачи Шредингера для электрона, проходящего через потенциальный барьер П-типа [1].

Затем по равновероятностному распределению генерируется случайное число  $r \in (0,1]$ , и при выполнении условия  $D(E) \leq r$  считается, что макрочастица прошла через барьер.

При расчете перехода через барьер эмиссионных электронов из металла те макрочастицы, которые преодолели барьер, заносятся в список частиц полупроводниковой структуры с энергией  $E = E_0 - E_n$ , где  $E_0$  — изначальная энергия частицы (энергия, с которой частица налетает на барьер), получаемая из распределения Больцмана,  $E_n$  — энергия, затрачиваемая на преодоление поля в барьере.

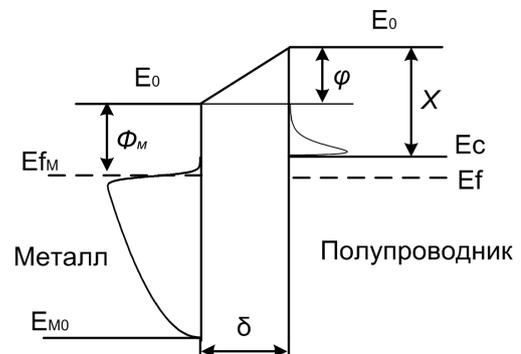


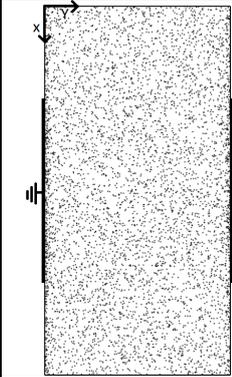
Рис. 1. Энергетическая диаграмма омического контакта с учетом поля  $\xi = \frac{\phi}{\delta}$ .

Fig. 1. Energy diagram of an ohmic contact with  $\xi = \frac{\phi}{\delta}$ .

### III. Результаты вычислительных экспериментов

Для проверки модели контакта металл-полупроводник была проведена серия вычислительных экспериментов. Для получения вольтамперной характеристики моделировалась область с параметрами, приведенными в табл. 1., при изменении потенциала на одном из контактов в пределах от  $-1,25$  В до  $1,25$  В с шагом в  $0,25$  В, и нулевым значением потенциала на другом.

Табл. 1. Параметры моделируемой области  
Table 1. The parameters of the simulated area

|   |                                  |                   |
|---|----------------------------------|-------------------|
|  | Количество марочастиц            | 5000              |
|   | Коэффициент укрупнения           | 4000              |
|   | Временной шаг dt (с)             | $10^{-15}$        |
|   | Ширина области (м)               | $1 \cdot 10^{-6}$ |
|   | Высота области (м)               | $2 \cdot 10^{-6}$ |
|   | Кол-во узлов в сетке по оси OX   | 33                |
|   | Кол-во узлов в сетке по оси OY   | 100               |
|   | Слой dz (м)                      | $10^{-6}$         |
|   | Длина контактов (м)              | $10^{-6}$         |
|   | Концентрация ( $\text{м}^{-3}$ ) | $10^{25}$         |

Полученная ВАХ приведена на рис. 2. Можно отметить, что характеристика линейная при  $|U| > 0,05$ , а вблизи нуля наблюдается скачок из-за наличия пространственного заряда, создающего потенциал в рабочей области ПП вплоть до  $0,05$  В, при нулевых потенциалах на обоих контактах.

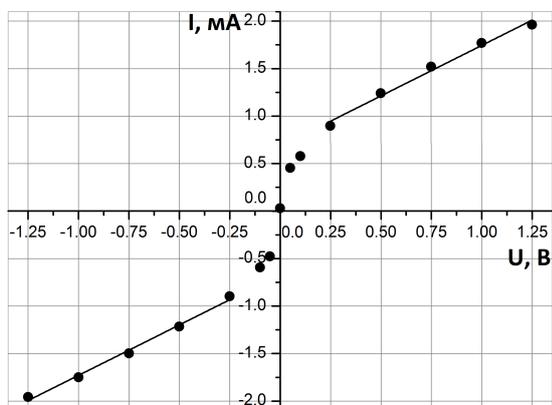


Рис. 2. ВАХ моделируемого омического контакта.

Fig. 2. CVC of the simulated ohmic contact

Также были получены картины распределения потенциалов в области полупроводника при разных потенциалах на контакте. На следующем рисунке приведено распределение потенциалов при напряжении  $0,75$  В и  $-0,75$  В.

### IV. Заключение

В работе представлена численная модель контакта металл-полупроводник с сильно легированной приконтактной областью и линейной вольтамперной характеристикой — случай омического контакта.

Для верификации численной модели были проведены вычислительные эксперименты, в результате которых было получено распределение поля в рабочей области полупроводника и вольтамперная характеристика контакта. Полученные характеристики свидетельствуют о достоверной работе построенной численной модели омического контакта, и как след-

ствие, она может быть использована при моделировании различных полупроводниковых структур.

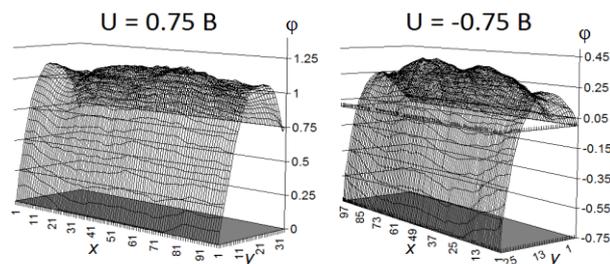


Рис. 3. Распределение потенциалов при напряжении  $0,75$  В и  $-0,75$  В.

Fig. 3. Distribution of potentials at voltage of  $\pm 0,75$  V

### V. Список литературы

- [1] Аладышкин А. Ю. Туннельные явления в нанофизике. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. 32 с
- [2] Килесса Г. В., Асанов Э. Э., Зуев С. А. Предельные частотные характеристики ПТШ на GaAs при заданной геометрии // 21-ая Международная Крымская Конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (CriMiCo'2011). Севастополь, 2011. С. 244—245.
- [3] Шалимова К. В. Физика полупроводников. М.: Энергоатомиздат, 1985. 392 с.
- [4] Zuev S. A., Starostenko V. V., Shadrin A. A. A Calculation Model for Submicron Field-Effect Transistors Based on GaAs // Telecommunications and Radio Engineering. 2002. No. 58. P. 90—98.

### MODEL OF OHMIC CONTACT IN MESFET WITH LARGE PARTICLE CALCULATION METHOD

Asanov E. E., Kilessa G. V., Zuev S. A., Slipchenko N. I.  
Tavrida National V. I. Vernadsky University  
4, Academician Vernadsky Ave., Simferopol, 95007,  
Ukraine  
Kharkiv National University of Radioelectronics  
14, Lenin Str., Kharkiv, 61166, Ukraine  
Ph.: 095-4086754, e-mail: asanovernest23@gmail.com

**Abstract** — The paper presents the main points on which a new implementation of the numerical model of an ohmic metal-semiconductor contact was built. As a result of computational experiments the current-voltage characteristics of contact and fields distribution were obtained, indicating the reliability of the model.

### I. Introduction

Currently, modeling of sub-micron semiconductor devices is an extremely urgent and complex task. An integral part of semiconductor structures modeling is to construct numerical models of metal-semiconductor contact (MSC).

To analyze the properties and characteristics of contacts a model is necessary that takes into account processes of current flow in the metal-semiconductor contact and the passing of charge carriers through the contact potential barrier.

### II, III. Main Part

Development of model of metal-semiconductor contact can be divided into three stages: 1) simulation of the semiconductor sample; 2) the calculation of the injection of electron from the metal to semiconductor; 3) simulation of an electron passing through U-shaped potential barrier.

### IV. Conclusion

The paper presents a computer model of the metal-semiconductor contact with a heavily doped contact region and a linear current-voltage characteristic - the case of an ohmic contact.