

**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ И СЕНСОРЫ**

УДК 539.1.074

*А.Н. ЗАРУБИН, А.Д. ЛОЗИНСКАЯ, В.А. НОВИКОВ, О.П. ТОЛБАНОВ, А.В. ТЯЖЕВ, И.Д. ЩЕРБАКОВ*

**ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ GaAs С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ КОМПЕНСАЦИИ ХРОМОМ**

Представлен детальный анализ температурных зависимостей вольт-амперных характеристик (ВАХ) сенсоров на основе арсенида галлия, компенсированного хромом (GaAs:Cr). На поверхности GaAs:Cr методом электронно-лучевого напыления были сформированы контакты Cr/Ni. Исследуемые образцы, таким образом, имели следующую структуру: Ni/Cr–GaAs:Cr–Cr/Ni. Измерения проводились при изменении температуры от 23 до 70 °С. Полученные ВАХ хорошо описываются термоэмиссионной моделью токопереноса. На основе экспериментальных зависимостей сделан вывод о величине барьера Шоттки исследуемых образцов.

**Ключевые слова:** GaAs, детектор, барьер Шоттки.

Как известно, рентгеновское и гамма-излучения обладают большой проникающей способностью, и для них становятся прозрачными все предметы. Излучение, прошедшее через какой-либо предмет, несет в себе информацию о внутреннем содержании данного объекта и с помощью детектора ионизирующего излучения на основе GaAs:Cr можно фиксировать изменение энергетического спектра и интенсивности. Все это позволяет полностью охарактеризовать исследуемый объект [1]. Как будет сказываться повышение температуры окружающей среды на работоспособность детектора, пока полностью не изучено, и поэтому данный эксперимент представляет большой интерес. Целью данной работы было измерение высоты потенциального барьера в сенсорах на основе арсенида галлия с различным уровнем компенсации хромом.

Детектор представляет собой симметричную структуру металл – полупроводник – металл. Для получения данной структуры использовались кристаллы *n*-GaAs, выращенные методом Чохральского. Контакт металл – полупроводник получен химическим осаждением Ni на поверхность полупроводника. Для того чтобы увеличить время жизни носителей заряда и глубину проникновения электрического поля, GaAs компенсируют Cr. Концентрация Cr в полупроводниковом материале определяется температурой отжига.

На рис. 1 и 2 представлены ВАХ при прямом и обратном смещениях для образцов с температурой отжига  $T$  °С (образец № 1) и  $T + 20$  °С (образец № 2). Введенное обозначение « $T$  °С» подразумевает температуры отжига 900–1000 °С.

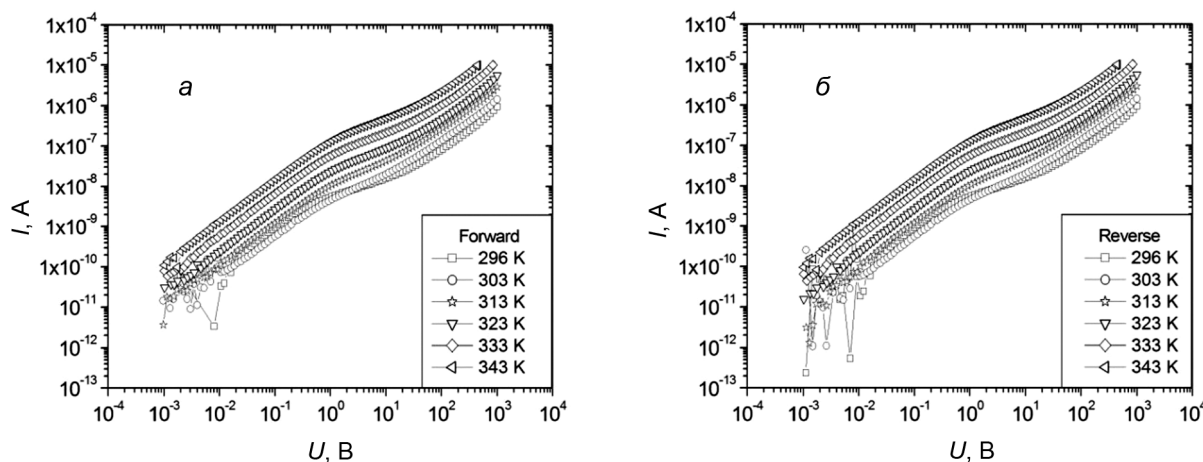


Рис. 1. ВАХ для образца № 1 при прямом (а) и обратном (б) смещениях

Были сняты вольт-амперные характеристики в диапазоне температур от 296.15 до 343.15 К при напряжениях 0.001–1000 В. Измерения проводились при «прямом» и «обратном» напряжениях смещения, положительное и отрицательное напряжения смещения подавались на верхний контакт детектора. Так как детектор представляет собой симметричную структуру, то ВАХ, снятые

при прямом и обратном напряжениях смещения, полностью совпадают. Видно, что в диапазоне напряжений от 0 до 1 В ВАХ близка к линейной, далее при увеличении напряжения от 1 до 10 В зависимость приобретает сублинейной. При дальнейшем увеличении напряжения зависимость приобретает сверхлинейный характер, что, возможно, связано с лавинным пробоем. Наличие сублинейного участка подтверждает образование барьерного контакта Ni-GaAs:Cr.

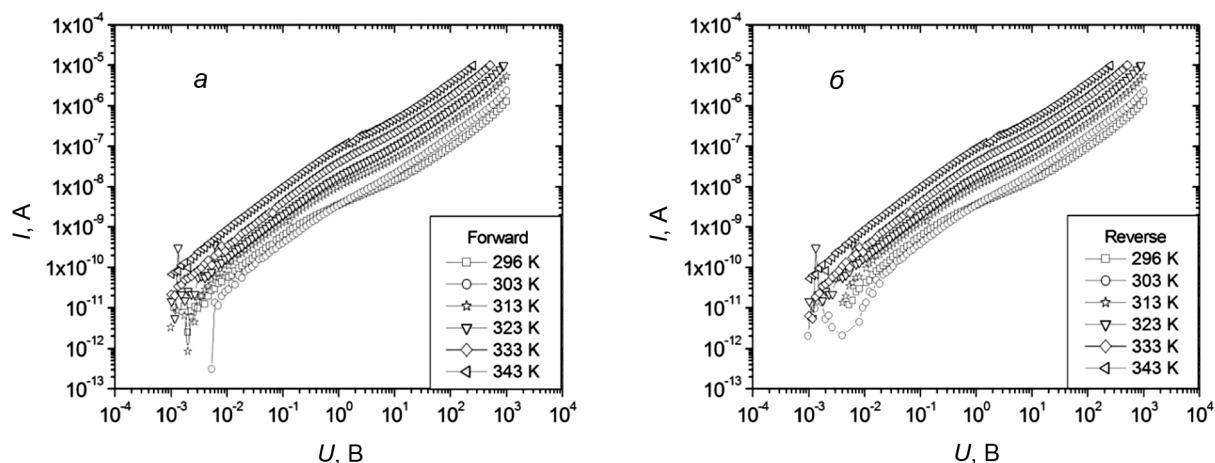


Рис. 2. ВАХ для образца № 2 при прямом (а) и обратном (б) смещениях

Для образца № 2 так же, как и для образца № 1, сохраняются диапазоны напряжений, в которых наблюдаются участки линейной, сублинейной и сверхлинейной зависимостей тока, прямая и обратная ветви совпадают. Можно заметить, что сублинейная часть для данного образца стала менее выражена, что можно объяснить уменьшением высоты потенциального барьера.

Анализируя полученные ВАХ, можно отметить, что с повышением температуры, при которой проводились измерения, растет и величина тока в образце. Для всех детекторов наблюдается увеличение тока с  $10^{-8}$  до  $10^{-7}$  А при температуре 296.15 и 343.15 К соответственно при постоянном напряжении смещения величиной 10 В.

Для измерения высоты потенциального барьера использовался метод энергии активации [2]. Принципиальное преимущество этого метода заключается в том, что не требуется сведений о площади полупроводникового образца и постоянной Ричардсона. Ток через однородный металл – полупроводник в зоне контакта за счет термоэлектронной эмиссии может быть выражен следующим образом:

$$I = I_0 \exp\left(\frac{qU}{nkT}\right) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{qU}{kT}\right) \right], \quad (1)$$

где  $I_0$  является током насыщения и определяется формулой

$$I = AA^* T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_0}{kT}\right). \quad (2)$$

Логарифмируя выражение (2) для тока насыщения, получаем

$$\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) = \ln(AA^*) - \frac{q\Phi_0}{kT}. \quad (3)$$

Здесь  $q$  – заряд электрона;  $U$  – напряжение прямого смещения;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – абсолютная температура;  $A^*$  – постоянная Ричардсона;  $\Phi_0$  – нулевое смещение высоты барьера;  $n$  – коэффициент идеальности.

Выражение (3) можно представить как уравнение прямой вида  $y = a - bx$ . При построении графиков в координатах  $\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right)$  от  $\ln\left(\frac{q}{kT}\right)$  тангенс угла наклона даст значение высоты потенциального барьера.

Используя ВАХ для каждого из образцов методом линейной экстраполяции зависимости к  $U = 0$ , были найдены значения тока насыщения при соответствующих температурах. На рис. 3 представлены зависимости  $\ln(I_n)$  от  $1/kT$  для исследованных образцов.

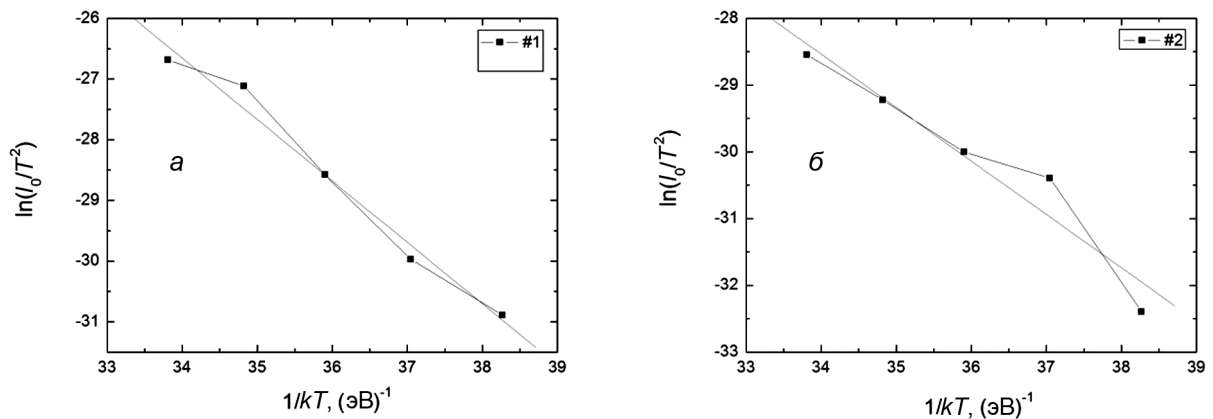


Рис. 3. Зависимость тока насыщения от температуры для образцов № 1 и 2

#### Полученные значения высоты потенциального барьера для каждого из образцов

Номер образца	Температура отжига, °C	Высота потенциального барьера, эВ
1	$T$	1.04
2	$T + 20$	0.83

Значения высоты барьера образца № 1 превышают типичные для контакта Ni–GaAs:Cr 0.7–0.8 эВ на 0.2 эВ. Это может быть связано с тем, что на границе металл – полупроводник существует большая концентрация поверхностных состояний, которая приводит к формированию отрицательного заряда на данной границе. Как следствие, это приводит к увеличению ширины области пространственного заряда и большему изгибу зон в приконтактной области при нулевом напряжении смещения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толбанов О. П. Детекторы ионизирующих излучений на основе компенсированного арсенида галлия // Вестник Томского государственного университета. – 2005. – № 285. – С. 155–163.
2. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. – 455 с.

Национальный исследовательский  
Томский государственный университет, г. Томск, Россия  
E-mail: ivan\_sherbakov94@mail.ru

Поступила в редакцию 27.08.15.

Зарубин Андрей Николаевич, ведущ. технолог;  
Лозинская Анастасия Дмитриевна, мл. науч. сотр.;  
Новиков Владимир Александрович, к.ф.-м.н., ст. науч. сотр.;  
Толбанов Олег Петрович, д.ф.-м.н., профессор, зав. лабораторией;  
Тяжев Антон Владимирович, ст. науч. сотр.;  
Щербаков Иван Дмитриевич, студент.

A.N. ZARUBIN, A.D. LOZINSKAYA, V.A. NOVIKOV, O.P. TOLBANOV, A.V. TYAZEV, I.D. SHERBAKOV

## TEMPERATURE DEPENDENCES OF CURRENT–VOLTAGE CHARACTERISTICS OF RADIATION IMAGING SENSORS BASED ON GaAs:Cr

A detailed analysis of temperature dependencies of I-V-characteristics of high resistive chromium compensated gallium arsenide (HR GaAs:Cr) sensors is presented. Samples had Cr/Ni contacts made using electron-beam deposition that formed Schottky barrier contact to GaAs. Thus the structure of samples was Ni/Cr – HR GaAs:Cr – Cr/Ni. The I–V curves were investigated in temperature range from 23 to 70 °C. Current-voltage characteristics are well described by thermionic emission model in all temperature ranges. The Schottky barrier height was calculated on the basis of the experimental data. The results of the investigation are discussed in the paper.

**Keywords:** GaAs, a detector, Schottkybarrier.

### REFERENCES

1. Tolbanov O. P. Radiation imaging detectors based on compensated GaAs. *Issue of Tomsk State University*, 2005, no. 285, pp. 155–163.
2. Sze S. *Physics of Semiconductor Devices*. Moscow, Mir Publ., 1984, vol. 1, 455 p.

National Research Tomsk State University (TSU), Tomsk, Russia  
E-mail: ivan\_sherbakov94@mail.ru

---

Zarubin Andrey Nikolayevich, Leading Engineer;  
Lozinskaya Anastasiya Dmitriyevna, Junior Researcher;  
Novikov Vladimir Aleksandrovich, Ph.D., Senior Researcher;  
Tolbanov Oleg Petrovich, Dr.Sc., Proff., Head of Laboratory;  
Tyazhev Anton Vladimirovich, Senior Researcher;  
Shcherbakov Ivan Dmitriyevich, Student.