

Измерение высоты барьера на границе металл—полуизолирующий арсенид галлия

© Г.И. Айзенштат[†], М.А. Лелеков, О.П. Толбанов

Томский государственный университет,
634034 Томск, Россия

(Получена 5 марта 2007 г. Принята к печати 2 апреля 2007 г.)

Проведен анализ вольт-амперных характеристик структур из полуизолирующего арсенида галлия с различными контактами. Высота барьера Шоттки измерялась с использованием двух методик; полученные значения для контактов на основе ванадия составили 0.81 ± 0.02 В.

PACS: 42.79.Pw, 81.05.Ea, 85.25.Oj, 85.30.De, 87.66.Pm

1. Введение

В арсенид-галлиевых детекторах ионизирующего излучения, изготовленных из полуизолирующего материала, катод обычно делают в виде барьера Шоттки к полупроводнику [1]. Именно этот контакт определяет вид вольт-амперных характеристик в детекторах. Причем вольт-амперные характеристики приборов, изготовленных из нелегированного материала, выращенного методом Чохральского, существенно отличаются от характеристик для детекторов на основе материала, компенсированного хромом. Если для контакта металл—нелегированный арсенид галлия высота барьера известна [1], то для контактов на компенсированном материале она не измерялась. Поэтому цель данной работы заключалась в измерении высоты барьера на компенсированном материале с предельно высоким удельным сопротивлением.

2. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Экспериментальные образцы изготавливались на пластинах из полуизолирующего арсенида галлия, компенсированного хромом в процессе высокотемпературной диффузии (SI-GaAs(Cr)). Удельное сопротивление пластин было близко к значению 1 ГОм·см. На каждой пластине в едином технологическом цикле изготавливали два типа образцов. Первый тип содержал два контакта с барьером Шоттки на основе ванадия, закрытого золотом (V + Au). В образцах второго типа на одной стороне пластины сначала создавали контакты на основе сплава Au-Ge, которые отжигали при температуре 420°C, а затем с противоположной стороны формировали ванадиевые контакты с барьером Шоттки.

На рис. 1 представлены вольт-амперные характеристики (ВАХ) исследуемых структур. Образцы первого типа имеют симметричные ветви ВАХ при разных полярностях напряжения. Причем при напряжениях выше 10 В ВАХ строго линейны. Дифференциальное сопротивление образцов на этом линейном участке в 2–3 раза

выше, чем расчетное значение, соответствующее удельному сопротивлению материала. Для образцов второго типа ветвь ВАХ, измеренная при обратной полярности напряжения (когда барьерный контакт являлся катодом), совпадает с ветвями ВАХ образцов первого типа. При другой полярности напряжения, когда катод структуры выполнен на основе сплава AuGe, зависимость тока от напряжения U носит квадратичный характер начиная с $U \approx 10$ В. При этом катод ведет себя как инжектирующий контакт и обуславливает режим протекания тока, ограниченного пространственным зарядом (ТОПЗ). Действительно, в соответствии с теорией ТОПЗ [2] при малых токах на ветви ВАХ присутствует линейный участок, а за ним следует участок квадратичной зависимости, подчиняющийся закону Мотта. Это видно из рис. 1, где второй участок ВАХ аппроксимирован параболой, которая с высокой точностью совпадает с экспериментальными точками. На начальном линейном участке ВАХ концентрация носителей заряда близка к равновесному значению, что позволяет определить удельное сопротивление материала ρ . Для данного случая $\rho = 0.7$ ГОм·см.

Итак, результаты, представленные на рис. 1, свидетельствуют о том, что обратно смещенный контакт с

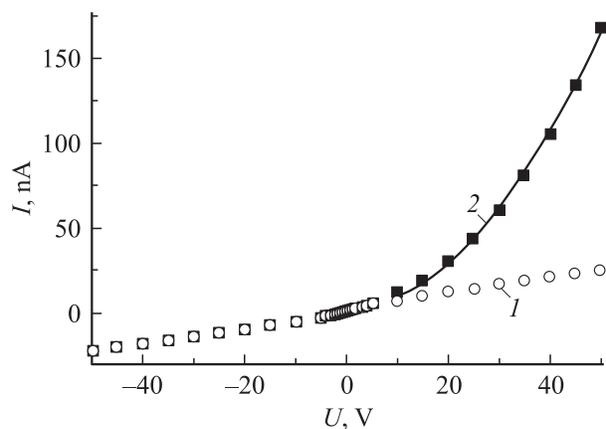


Рис. 1. ВАХ образцов. 1 — анод и катод из ванадия; 2 — катод из AuGe, анод из ванадия. Сплошная кривая — интерполяция ВАХ полиномом 2-го порядка.

[†] E-mail: ayzen@mail.tomsknet.ru

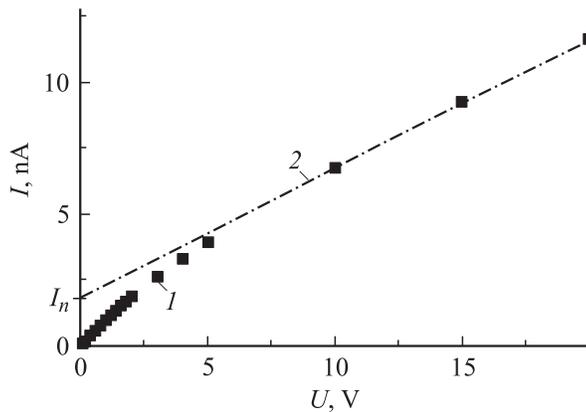


Рис. 2. ВАХ образцов первого типа (анод и катод из ванадия): 1 — экспериментальные данные, 2 — линейная экстраполяция.

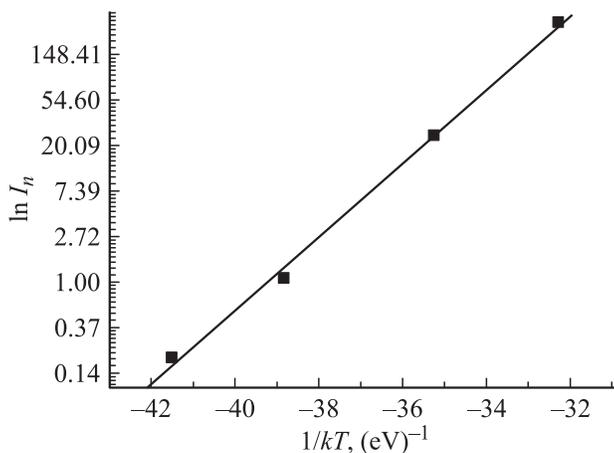


Рис. 3. Зависимость $\ln(I_n)$ от величины $1/kT$.

барьером Шоттки на катоде прибора определяет вид вольт-амперных характеристик в детекторах из компенсированного материала.

В соответствии с моделью протекания тока, предложенной в работе [3], электронная компонента тока, втекающая через катод, равна току обратного смещенного диода с барьером Шоттки, который при $U > 10$ В становится равным току насыщения I_n . Полный ток через прибор при этом равен $I = U/R_{\text{eff}} + I_n$, где R_{eff} — эффективное сопротивление всего прибора, равное дифференциальному сопротивлению на линейном участке ВАХ. Поэтому величина тока насыщения равна величине тока, получаемого при пересечении прямой совпадающей с ВАХ при высоких напряжениях с осью токов (рис. 2). Предельный ток электронов из металла в полупроводник равен [4]

$$I_n = SA_n^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_{Bn}}{kT}\right). \quad (1)$$

Здесь S — площадь сечения, ϕ_{Bn} — высота барьера, $A_n^* = 8.16 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2} \text{К}^{-2}$ — постоянная Ричардсона для GaAs, T — температура, q — заряд электрона.

Измерения I_n производились на детекторных структурах при температуре 300 К, на образцах с толщиной

рабочей области 500 мкм, площадью 0.034 см^2 . Ток насыщения находился путем линейной экстраполяции ВАХ к $U = 0$. Затем из формулы (1) находилось значение высоты барьера. Найденное значение высоты барьера составило $\phi_{Bn} = 0.79$ В. Полученное значение ϕ_{Bn} находится в хорошем соответствии с результатами измерений этой величины на нелегированном материале. Отличительной особенностью предложенной методики является то, что для измерения высоты барьера мы использовали обратную ветвь ВАХ, в то время как обычно используют ВАХ, измеренную при прямом направлении тока [4].

Для подтверждения полученных нами результатов использовался также альтернативный метод измерения высоты барьера, а именно метод энергии активации, результаты которого не зависят от знания точных значений площади или постоянной Ричардсона [4]. На рис. 3 показан график зависимости $\ln(I_n)$ от величины $1/kT$, измеренной в диапазоне температур 280–360 К. Тангенс угла наклона этой зависимости определяет высоту барьера [4]. Метод энергии активации дает значение высоты барьера, равное 0.81 В. Значения высоты барьера, полученные разными методами на Si-GaAs(Cr), равны с точностью до погрешности измерения 0.02 В и совпадают с данными, полученными на другом материале.

Таким образом, с использованием простой модели определена величина высоты барьера Шоттки в арсениде галлия с предельно высоким удельным сопротивлением. Особенностью рассмотренных методик явилось измерение высоты барьера при обратном смещении на барьере Шоттки.

Список литературы

- [1] R. Irsigler, R. Geppert, R. Goppert, J. Ludwig, M. Rogalla, K. Runge, Th. Schmidt, M. Weber. Nucl. Instrum. Meth. Phys. A **395**, 71 (1997).
- [2] В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. *Физика полупроводников* (М., Наука, 1977).
- [3] Г.И. Айзенштат, М.А. Лелеков, В.А. Новиков, Л.С. Окаевич, О.П. Толбанов. ФТП, **41** (5), 631 (2007).
- [4] С. Зи. *Физика полупроводниковых приборов* (М., Мир, 1984) т. 1, с. 292.

Редактор Л.В. Беляков

Measurement of the barrier height on border of metal—semiinsulating gallium arsenide

G.I. Ayzenshtat, M.A. Lelekov, O.P. Tolbanov

Tomsk State University,
634034 Tomsk, Russia

Abstract The analysis of current-voltage characteristics of structures from semiinsulating gallium arsenide with various contacts is carried out. The Schottky barrier height is measured with use of two methods. The received value for contact based on vanadium has made up 0.81 ± 0.02 V.