

- [3] Ottinger P.F., Goldstein J.S.A., Meger R.A. // J. Appl. Phys. 1984. V. 56. No 3. P. 774-784.
- [4] Озур Г.Е., Прескуровский Д.И. // Письма в ЖТФ. Т. 14. № 5. С. 413-416.
- [5] Иваненков Г.В. // Физика плазмы. 1982. Т. 8. В. 6. С. 1184-1191.
- [6] Баженов Г.П., Ладыженский О.Б., Литвинов Е.А., Чесноков С.М. // ЖТФ. 1977. Т. 47. С. 2086-2091.

Институт сильноточной
электроники АН СССР,
Томск

Поступило в Редакцию
4 декабря 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 4
06.2; 06.3

26 февраля 1990 г.

© 1990

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТАКТА МЕТАЛЛ-ПОЛУПРОВОДНИК ДЛЯ ВСТРЕЧНО-ШТЫРЕВЫХ ФОТОДИОДНЫХ СТРУКТУР

С.В. А в е р и н

В последнее время наблюдается повышенный интерес к разработкам и исследованиям фотодетекторов, основанным на выпрямляющем контакте металл-полупроводник-металл (*MSM*) [1, 2]. Такие фотодетекторы обладают достаточно высоким быстродействием ($\sim 20-30$ пс), их планарная структура является удобной для интеграции с электронными компонентами последующих за детектором схем, а достаточно большая площадь существенно облегчает фокусирование оптического излучения на фотодиод. Изготовление планарных *MSM* фотодетекторов является достаточно простым (в сравнении с обычными „вертикальными“ приборами).

Фотодетектор, основанный на контакте *MSM*, представляет из себя два встречно-включенных Шоттки-барьерных контакта, как правило выполненных в виде гребенок контактных электродов, напыленных на поверхности полупроводникового материала [1-3]. При подаче напряжения смещения один из барьеров полностью снимается, другой же включен в обратном направлении, его область пространственного заряда растягивается на все расстояние между контактными электродами. При смене полярности напряжения смещения ситуация меняется на противоположную. Таким образом, в структурах *MSM* могут быть измерены лишь зависимости обратного тока от обратного напряжения смещения для одного из выпрямляющих Шоттки-барьерных контактов (рис. 1). По этой причине

стандартные методики, используемые для определения основных характеристик контакта металл-полупроводник на прямой ветви ВАХ [4], в структурах *MSM* не могут быть применены. Между тем, параметры контакта: I_0 - ток насыщения, n - коэффициент "идеальности", ϕ - высота барьера являются основными характеристиками контакта металл-полупроводник, их экспериментальное определение для реальных контактов типа барьер Шоттки имеет большое значение.

В настоящей работе исследуется возможность определения основных характеристик контакта металл-полупроводник для встречно-штыревых Шоттки-барьерных фотодиодных структур. Вольт-амперная характеристика диода с барьером Шоттки, полученная на основе диодной теории выпрямления, записывается [5] следующим образом:

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

где $I_0 = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi}{kT}\right)$, I - ток через переход, V - приложенное напряжение смещения, A^* - модифицированная постоянная Ричардсона, k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура, q - заряд электрона.

Как видно из (1), при $V < 0$ общий ток I через контакт должен стремиться к $-I_0$. Однако при исследовании реальных контактов металл-полупроводник при увеличении напряжения обратного смещения наблюдается увеличение тока через переход (рис. 1). Это отклонение связано с уменьшением высоты потенциального барьера

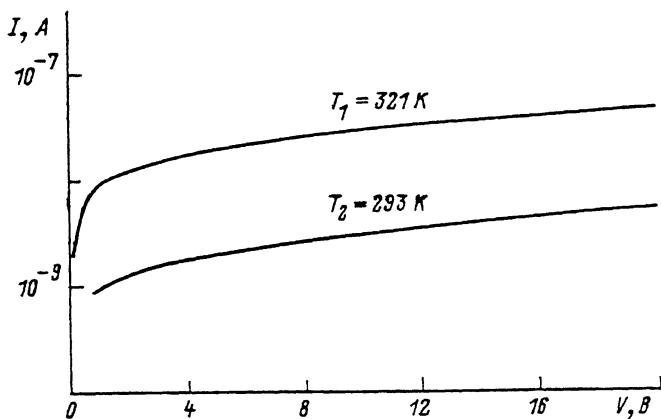


Рис. 1. График логарифмической зависимости обратного тока от обратного напряжения через диод для *Ti-GaAs* Шоттки диода

контакта металл-полупроводник за счет внешнего электрического поля контакта, определяемого напряжением смещения V [5], и если влиянием электрического поля на прямую ветвь ВАХ можно пренебречь, то в области обратных напряжений смещения это влияние оказывается существенным (вследствие более сильного электрического поля в обедненной области). Это приводит к ВАХ контакта металл-полупроводник вид [6]:

$$I = I_0 \exp\left[\frac{qV}{nkT}\right] \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{qV}{kT}\right) \right\}. \quad (2)$$

Отметим, что различие между (1) и (2) исчезает при $V > \frac{3kT}{q}$, однако запись уравнения для ВАХ диода с барьером Шоттки в виде (2) имеет то преимущество, что может использоваться для описания ВАХ реальных контактов и при обратных напряжениях смещения. Представим (2) в виде

$$\frac{I \exp\left(\frac{qV}{kT}\right)}{\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1} = I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right). \quad (3)$$

Уравнение (3) имеет практическое преимущество, связанное с тем,

что график $\ln \frac{I \exp\left(\frac{qV}{kT}\right)}{\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1}$ от V представляет из себя прямую линию

(при всех значениях входящих в него V) с наклоном $\frac{q}{nkT}$, отсекающую от оси ординат отрезок, равный I_0 , и позволяет определить для обратносмещенного контакта металл-полупроводник основные физические характеристики барьера: ток насыщения I_0 и коэффициент „идеальности“ n по известным методикам. Отметим, что при $V > -0.5$ В и $T < 373$ К (что обычно имеет место на практике) выражение (3) приводится к более простому виду:

$$I \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) = I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right), \quad (4)$$

тогда:

$$\ln \left[I \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \right] = \ln I_0 + \frac{qV}{nkT}. \quad (5)$$

Оценим применимость выражений (2, 4) для описания реальных ВАХ контакта металл-полупроводник в системе встречно-штыревых Шоттки-барьерных контактов. На рис. 2 построены логарифмические зависимости

зависимости $\frac{I \exp\left(\frac{qV}{kT}\right)}{\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1}$ от V , полученные при обработке экс-

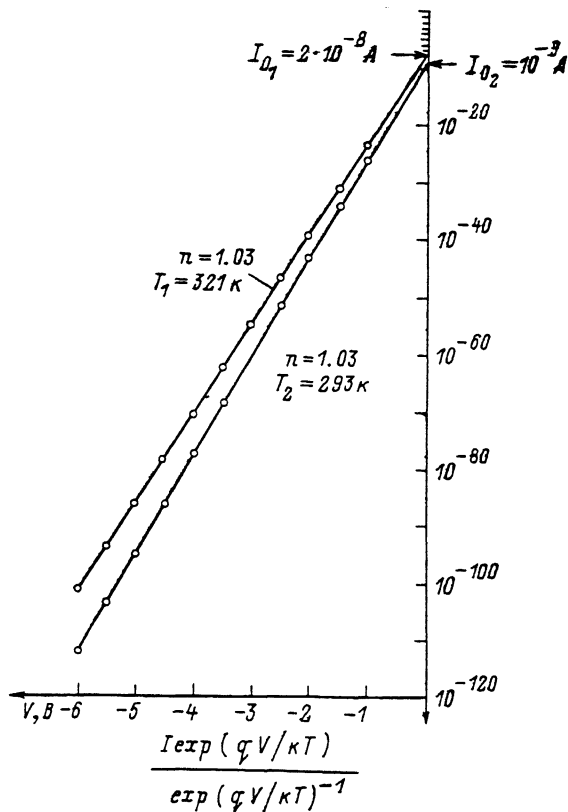


Рис. 2. График $\lg \frac{I \exp(\frac{qV}{kT})}{\exp(\frac{qV}{kT})^{-1}}$ от V для того же диода, что на

рис. 1.
$$n = \frac{q}{kT} \cdot \frac{dV}{d \ln \left\{ \frac{I \exp(qV/kT)}{\exp(qV/kT)^{-1}} \right\}}$$

экспериментальных данных рис. 1. Отметим прямолинейность графика в области напряжений обратного смещения от 0.5 до 6 В при двух значениях температуры контакта. При этом коэффициент „идеальности” n , полученный из графика рис. 2, составил 1.03, что свидетельствует о высоком качестве исследуемого контакта металл-полупроводник и об отсутствии достаточно толстого промежуточного слоя. Таким образом, уравнения (2) и (4) дают хорошо согласующееся с экспериментом описание ВАХ обратносмещенного контакта металл-полупроводник (в системе MSM) и позволяет определить I_0 и n для встречно-штыревых Шоттки-барьерных контактов. Отметим, также, что определив таким образом величину тока

насыщения для одного контакта при двух различных температурах (рис. 2, точность поддержания температуры в нашем эксперименте была 0,5 градуса) можно по температурной зависимости тока насыщения определить высоту потенциального барьера контакта металл-полупроводник (в предположении ее температурной независимости [5]):

$$\phi = \frac{k}{q} \frac{d \ln \frac{I_0}{T^2}}{d \frac{1}{T}} \approx 0,2 \frac{d \lg \frac{I_0}{T^2}}{d \frac{10^3}{T}}.$$

Определенная таким образом из графика рис. 2 высота барьера для контакта $Ti-GaAs$ составила $\phi = 0,82$ эВ.

Итак, предложен и опробован способ определения основных физических характеристик контакта металл-полупроводник для встречно-штыревых Шоттки-барьерных фотодиодных структур. Параметры n , I_0 , ϕ , полученные из ВАХ обратносмещенного Шоттки контакта, позволяют судить о качестве исследуемого барьера и могут быть использованы при рассмотрении фотодиода как элемента электрической цепи.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Roth W., Schumacher H., Kluge J., Geelen H., Beneking H. IEEE // Trans. on ED. 1985. V. 32. N 6. P. 1034-1036
- [2] Аверьян С.В., Дмитриев М.Д., Царев А.Н., Эленкриг Б.Б. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 24. С. 2215-2218.
- [3] Ito M., Wada O. // IEEE Journal of Quantum Electronics. V. 22. N 7. P. 1073-1077.
- [4] Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов / Пер. с англ., М.: Мир, 1984. 277 с.
- [5] Henish H.K. Rectifying Semiconductor Contacts, Clarendon, Oxford, 1957, p. 277-292.
- [6] Rideout V.L. // Solid-State Electronics. 1975. V. 18. p. 541-550.

Институт радиотехники
и электроники АН СССР
Фрязинская часть

Поступило в Редакцию
10 ноября 1989 г.