

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Au-n-InP И РОЛЬ ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ

Ташкентский государственный технический университет
*Навоийский государственный горный институт
ул. Университетская, 2, г. Ташкент, 700095, Узбекистан

Рассмотрен детальный анализ электрофизических свойств металл-полупроводник (МП) с барьером Шоттки (БШ) на InP. На его основе установлены характеристики токопередачи в контактах и влияние на них концентрации основных носителей заряда и температуры. Дано обоснование необходимости применения модели контактов с переходным слоем для описания характеристик МП структур на InP. Для приближения к реальным условиям БШ создавались на химически обработанных поверхностях InP с помощью вакуумного и термического распыления и электрохимического осаждения металлов. Анализу подвергались в основном ВАХ (вольтамперных) и ВФХ (вольт-фарадных) характеристики, которые позволяют оценить основные параметры границы раздела МП. Концентрация электронов $n = 9 \cdot 10^{15} - 4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, ориентации (100), площадь контакта $S = 3 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$.

Для лучшего понимания свойств полученных МОП (металл-оксид полупроводник) структур вольтамперные характеристики измерялись при различных температурах. Обнаружено, что обратные токи утечки малы при низких температурах; они меньше 10^{-9} А при 1 В ниже 270 К.

На рис.1 показаны обратные ВАХ для МОП структур с одним промежуточным окисным слоем, измеренные при нескольких температурах выше 280 К. Обратные токи утечки возрастают с увеличением температуры. Однако токи утечки (рис.1), намного меньше, чем наблюдаемые в общепринятых n-InP контактах Шоттки [1, 2]. Плотность обратного тока $I_{\text{нас}} = 1,8 \cdot 10^{-8} \text{ А/см}^2$ при 2 В и 300 К.

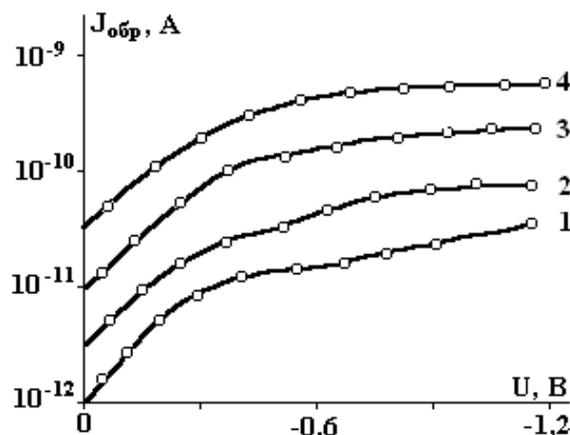


Рис.1. Обратные ВАХ Au-n-InP структур с промежуточным окисным слоем при различных температурах $T, \text{ К}$: 1 – 283; 2 – 300; 3 – 315; 4 – 323

Коэффициент идеальности оценивался при каждой температуре, что показано на рис.2. Явной зависимости n от температуры не обнаружено.

Несмотря на наличие промежуточного окисного слоя, коэффициент идеальности n довольно хорошо приближается к единице, то есть $n = 1,2$. Следовательно избыточные токи, такие как ток рекомбинации, существенно не влияют при прямых смещениях. В области низких температур наблюдается увеличение n , то есть при низких температурах увеличиваются избыточные токи за счет рекомбинационных составляющих.

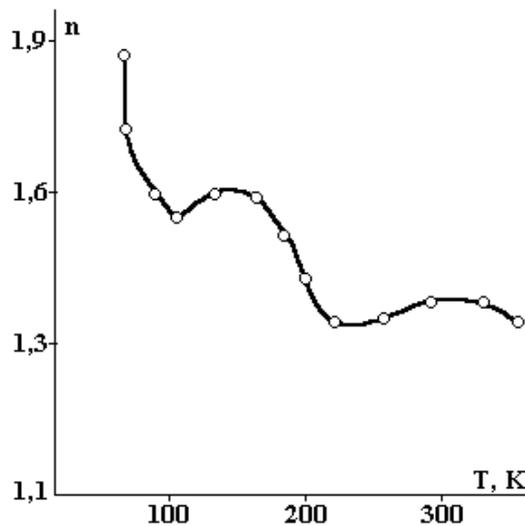


Рис.2. Изменение фактора неидеальности от температуры для Au-n-InP МОП структур

Обнаружена теоретически ожидаемая линейная зависимость $q\Phi_0$. Наклон прямой $q\Phi_0 = f(T)$ пропорционален фактору туннелирования электрона $2(2m\chi)^{1/2} \delta/h$. Хорошо известно, что, когда контактирующий металл осаждается на химически травленную полупроводниковую поверхность, тогда металл и полупроводник не находятся в близком контакте. Между металлом и полупроводником обязательно присутствует тонкий промежуточный окисный слой. Поэтому он присутствует даже в общепринятом контакте Шоттки без какого-либо специально создаваемого промежуточного окисного слоя. Для общепринятых n-InP контактов Шоттки $q\Phi_0$ меньше 0,5 эВ при комнатной температуре. В данной структуре $q\Phi_0 = 0,86$ эВ при $T = 300$ К и приблизительно на 0,4 эВ больше значений для общепринятых n-InP контактов Шоттки.

Такая разница значений $q\Phi_0$ вытекает из того, что $q\Phi_0$, и $2(2m\chi)^{1/2} \delta/h$ зависят от процесса формирования промежуточного слоя.

Из зависимости $\ln(I_{нас}/T) = f(1/T)$ определяли точные значения $q\Phi_0$ и $2(2m\chi)^{1/2} \delta/h$.

$$\ln(I_{нас}/T^2) = q\Phi_0/kT - 2/h(2m\chi)^{1/2} + \ln(A*S). \quad (1)$$

Наклон ричардсоновской зависимости пропорционален $q\Phi_0$. Фактор туннелирования $2(2m\chi)^{1/2} \delta/h$ определяется из экстраполированного пересечения прямой $\ln(I_{нас}/T^2)$. На рис.3 показана ричардсоновская зависимость, полученная по данным тока и напряжения.

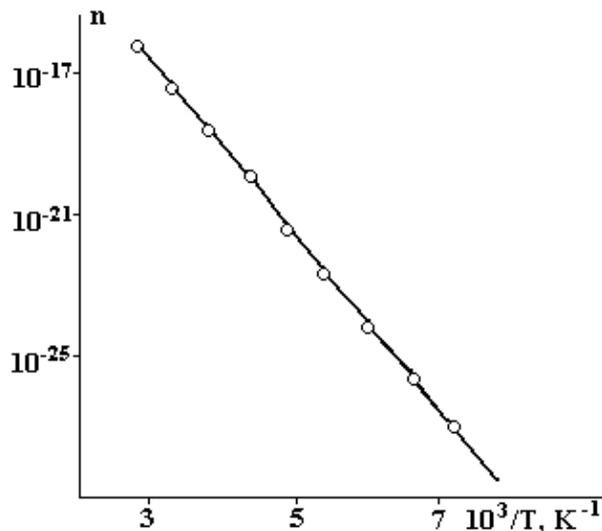


Рис.3. Зависимость $\ln(I_{нас}/T^2) = f(10^3/T)$ для Au-n-InP МОП структур

Высота барьера $q\Phi_0$ составляет 0,56 эВ. Фактор туннелирования электронов $2(2m\chi)^{1/2} \delta/n$ оценивается приблизительно 19,4.

Вольт-емкостные характеристики измерены при частоте 100 кГц в интервале температур 77 – 300 К. На рис. 4 изображены зависимости $I/C^2 = f(U)$ для МОП-структур. Проанализируем $C - U$ данные, основываясь на теоретической обработке. Зависимость $I/C^2 = f(U)$ выражается в виде

$$\left(\frac{S}{C}\right)^2 = \left(\frac{\delta}{\varepsilon_{np}\varepsilon_0}\right)^2 + \frac{2}{q\varepsilon_{np}\varepsilon_0 N_D} \left\{ \Phi_0 - E_{Fn} - \frac{kT}{q} - U + \frac{\delta}{\varepsilon_{np}\varepsilon_0} \left[2q\varepsilon_{np}\varepsilon_0 N_D \left(\Phi_0 - E_{Fn} - \frac{kT}{q} \right) \right]^{1/2} \right\}, \quad (2)$$

где ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, ε_{np} – относительная диэлектрическая проницаемость промежуточного слоя, ε_n – относительная проводимость полупроводника, N_D – концентрация доноров, qE – энергия уровня Ферми, измеренная на краю зоны проводимости в нейтральной области. Значение ε_n для InP составляет 12.

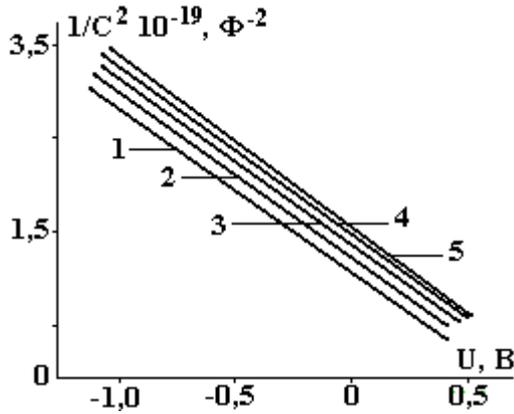


Рис.4. Вольт-емкостные характеристики для Au-n-InP МОП структур при различных температурах. T, K : 1 – 315; 2 – 260; 3 – 217; 4 – 176; 5 – 120

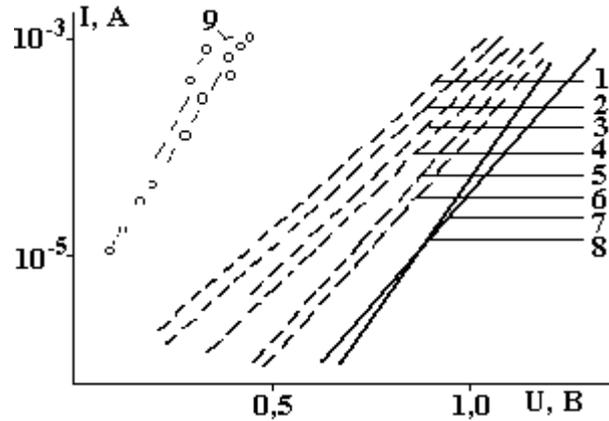


Рис.5. Прямая ветвь ВАХ Au-n-InP структур при 300 К и $n = 1,9$ (1), 2,3(2), 2,6(3), 4(4), 6(5), 10(6), 20(7), в нм и для почти идеальных структур (8, 9)

Значения I/C^2 при заданном напряжении уменьшаются с ростом температуры, как вытекает из уравнения (2). Концентрация доноров N_D определяется из наклона кривой $I/C^2 = f(U)$

$$N_D = -2 \left[q\varepsilon_n \varepsilon_0 \frac{d}{dU} \left(\frac{S}{C} \right)^2 \right]^{-1}. \quad (3)$$

Из данных $C - U$ на рис. 5 получаем $N_D = 7,6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Из пересечения кривой $I/C^2 = f(U)$ с осью напряжения получаем

$$V_0 = \left[\left(\Phi_0 - E_{Fn} - \frac{kT}{q} \right)^{1/2} + \frac{\delta}{\varepsilon_{np}} \left(\frac{q\varepsilon_n N_D}{2\varepsilon_0} \right)^{1/2} \right]^2, \quad (4)$$

отсюда

$$\frac{\delta}{\varepsilon_{np}} = \left(\frac{q\varepsilon_0}{2\varepsilon_n N_D} \right)^{1/2} \left[V_0^{1/2} - \left(\Phi_0 - E_{Fn} - \frac{kT}{q} \right)^{1/2} \right]. \quad (5)$$

Энергию уровня Ферми определяем как

$$E_{Fn} = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_C}{N_D} = \frac{kT}{q} \ln \left[\frac{2}{N_D} \left(\frac{m^* kT}{2\pi\hbar^2} \right)^{3/2} \right]. \quad (6)$$

Здесь N_C – эффективная плотность состояний в зоне проводимости, m^* – эффективная масса электрона, равная $m^* \text{InP} = 0,078m_0$ где m_0 – масса свободного электрона. Подставляя значения

$N_D = 7,6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $\Phi_\delta = 0,56 \text{ эВ}$, $V = 0,48 \text{ эВ}$ и $E_{Fn} = 0,12 \text{ эВ}$ в уравнение (5), получаем эффективную толщину промежуточного окисного слоя $\delta/\epsilon_{np} = 22:30 \text{ \AA}$. Толщина промежуточного слоя порядка 60 \AA . Тогда $\epsilon_{np} = 2,8$ при 100 кГц .

Таким образом, нами разработан новый метод изготовления Au-n-InP диодов Шоттки с промежуточным слоем, полученным путем анодирования поверхности InP, толщина слоя 60 \AA . Индекс рефракции слоя, измеренный эллипсометрически при 6323 \AA , оценивался как $1,62 - 1,64$ и равен индексу InPO_4 . В изготовленных контактах Шоттки обнаружено отличное выпрямление. Несмотря на присутствие окисного промежуточного слоя, фактор идеальности немного выше единицы и составляет $n = 1,2$. Обнаружено, что обратные токи утечки меньше, чем токи в контактах Шоттки с промежуточным слоем. Разработанный метод полезен для изготовления затворов на InP.

На рис. 5 приведены прямые ветви ВАХ с различной толщиной промежуточного окисного слоя. Прямые ветви ВАХ описываются соотношением

$$I = I_{\epsilon_-} \left[\exp\left(\frac{qU}{nkT}\right) - 1 \right]. \quad (7)$$

Тогда ток насыщения

$$I_{\epsilon_-} = A^* ST^2 \exp\left[-\frac{2}{\hbar}(2m\chi)^{1/2} \delta\right] \exp\left(-\frac{q\Phi_\delta}{kT}\right), \quad (8)$$

где $A^* = 9,4 \text{ А см}^{-2} \text{ К}^{-2}$ для InP, m – эффективная масса туннелирующих электронов, χ – эффективная высота потенциального барьера для туннелирующих электронов. Оценка $n = \frac{q}{kT} \ln \frac{\partial U}{\partial \ln I}$ по наклону кривых приводит к значениям $1,2 - 2,2$. Следовательно, что увеличение толщины промежуточного окисного слоя увеличивает коэффициент идеальности n . Большое значение коэффициента идеальности свидетельствует о сильном влиянии промежуточного, вероятно, окисного слоя на механизм токопрохождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Guinea F, Sarches-Dehesa J, Flores F. // J. Phys. C.Solid State Phys. 1983. V. 16. №. 33. P. 6499 – 6512.
2. Takachi Suginom, Hiroyuki Vamamoto, Voshifumi Sakamoto et. al. Effect of Phosphine-plasma treatment on characteristics of Au-n-InP Schottky junctions // Jap. J. of Appl. Phys, Part 2, V. 30. № 8B. 1991. P. 1439 – 1442.
3. Jeong Yoon-Ha, Kim Geon-Tea, Kim Seok-Tea, et al. Effects of Photochemical vapor deposition phosphorus-nitride interfacial layer on electrical characteristics of Au-InP Schottky diodes // J Appl. Phys, 1991, V. 69. № 9, P. 6695 – 6701.
4. Kendelevicz T, List R.S, Berthess K.A. et al. Photoemission study of the reactive Pd/InP (110) interface // J. Vac. Sci. And Technol. B. 1986. V. 4, № 4, P. 959 – 965.

Поступила 08.04.03

Summary

Work is devoted to the detailed analysis of physical properties of metal semiconductor (MS) with barrier Schottki on InP. On its basis a mechanism of current transport in contacts and the influence of concentration of carriers of charge and temperature is established. The substantiation of necessity of application of the model of contacts with a transitive layer for the description of characteristics of MS-structures on InS is given. The new method of manufacturing Au-n-InP Schottki diodes with an intermediate layer can be used for manufacturing (FST) on InP.