

# Влияние влажности и водорода на токоперенос диодных структур на основе $p\text{-InP}$ с палладиевым контактом

© С.В. Слободчиков, Х.М. Салихов

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,  
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 23 августа 1999 г. Принята к печати 23 августа 1999 г.)

Методами двухступенчатой технологической операции с холодным травлением, полировкой и электрохимическим осаждением палладия создана диодная структура  $p\text{-InP-n-In}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-Pd}$ . Изучен токоперенос в интервале температур 110–300 К, и вольт-амперные характеристики объяснены с учетом туннелирования через барьер, через глубокие центры захвата и межзонного туннелирования. Установлен рост фотоэдс в атмосфере водяных паров и показано, что этот эффект определяется изменением кинетики рекомбинации на связанных состояниях на гетерогранице  $n\text{-In}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5$  вследствие поглощения молекул  $\text{H}_2\text{O}$  в окисле  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Фотоэдс растет линейно с концентрацией водяных паров, и релаксация импульса фотоэдс  $\sim 1\text{--}2\text{ с}$ . Исследована релаксация фотоэдс обратного и прямого тока после действия  $\text{H}_2$ . Их полученных данных выявлена возможность создания детектора тройного назначения: ближнего инфракрасного излучения, влажности и водорода.

В проведенных нами ранее экспериментальных исследованиях электрических и фотоэлектрических свойств диодных структур с палладиевым контактом на основе  $\text{InP}$  была показана возможность создания эффективных детекторов (сенсоров) водорода [1–3]. При этом изменение величины фотоэдс в атмосфере водорода может быть существенно больше изменения электрических характеристик, т.е. прямого или обратного тока. Это же ярко продемонстрировано на структурах на основе  $p(n)\text{-Si}$  [4]. Как оказалось, способ получения диодных структур  $\text{Pd-p}(n)\text{-InP}$  не только влияет на механизм токопереноса, но и приводит к появлению сильной зависимости от других внешних факторов воздействия на структуры, и в частности от влажности [2]. Было установлено, что наиболее сильно изменяется в этом случае фотоэдс, при слабом изменении прямого и обратного тока. Влияние влажности было выявлено только на структурах, полученных электрохимическим осаждением палладия; на структурах с напылением в вакууме  $\text{Pd}$  этого не наблюдалось. В работе [2] первые данные по зависимости фотоэдс от влажности были получены на структурах  $\text{Pd-n-InP}$ . Настоящая статья представляет результаты исследования токопереноса в структурах  $\text{Pd-p-InP}$ , полученных электрохимическим осаждением  $\text{Pd}$ , и влияние на него влажности и водорода.

рах с  $n\text{-InP}$ . Поскольку в этой связи очевидно снижение абсолютной величины фотоэдс, с целью его некоторой компенсации изготовленные диодные структуры длительное время выдерживались на воздухе (около 0.5 года). В результате процессов структурной перестройки, рассмотренных в работе [4], удалось получить нужный уровень фотоответа. Перед осаждением палладия кристаллы подвергались тщательному травлению и полировке для удаления механически поврежденного верхнего слоя, очистке и обезжириванию. При этом было опробовано два варианта, один из которых — химическое травление в холодном травителе — оказался наиболее оптимальным. В начале поверхность очищалась последовательно ацетоном, серной кислотой, раствором  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$  (1 мин), далее проводилась полировка в полирующем травителе  $\text{Br}$  (5%) +  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (95%) и снова упомянутые выше операции очистки. Далее через маску, созданную химически стойким лаком, проводилось электрохимическое осаждение палладия. В состав электролита входили  $\text{PdCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ . Осаждение проводилось при температуре 50–60°C, плотность тока 1 мА/см<sup>2</sup>. Толщина слоя палладия составляла  $\sim 400 \text{ \AA}$  и активная площадь —  $7 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$ . Омические контакты к тыловой стороне подложки наносились напылением сплава  $\text{Ag/Zn}$ .

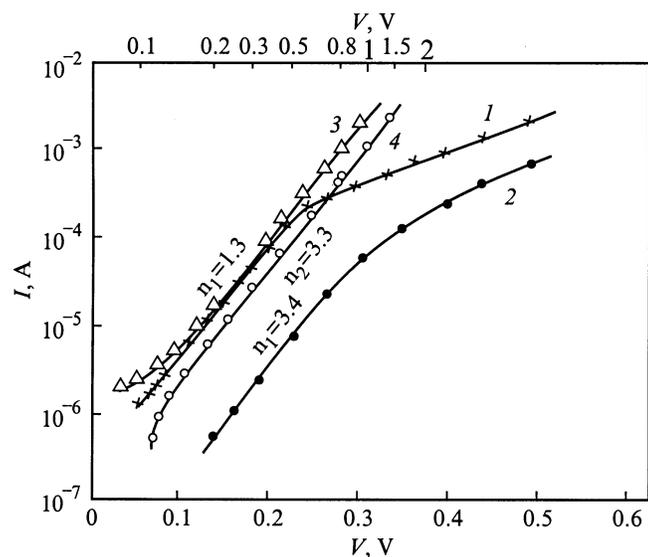
## 1. Эксперимент

### а) Технология

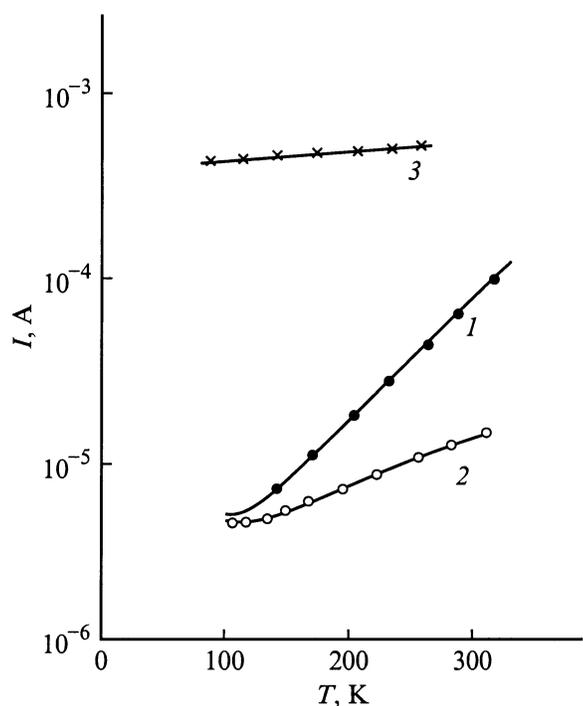
Для создания диодных структур использовались кристаллы  $p\text{-InP}$ , полученные методом Чохральского, ориентации (100) и с концентрацией дырок  $p = 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Одной из причин выбора подложки с высокой концентрацией носителей тока было стремление уменьшить времена релаксации после воздействия импульса водяного пара, наблюдавшиеся в работе [2] на структу-

### б) Измерения и их результаты

Были проведены измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) при  $T = 110$  и 300 К, а также температурная зависимость прямого и обратного тока в интервале  $T = 110\text{--}300 \text{ К}$ . Измерялась стационарная фотоэдс структур при  $T = 300 \text{ К}$ , ее зависимость от импульсного воздействия водяных паров и водорода. Исследовался процесс релаксации прямого и обратного тока, а также фотоэдс под действием импульсов водяного



**Рис. 1.** Вольт-амперные характеристики структур  $p\text{-InP-n-In}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-Pd}$ . 1, 2 — прямые ветви (+ на  $p\text{-InP}$ )  $\lg I = f(V)$ . 3, 4 — обратные ветви  $\lg I = f(\lg V)$  — верхняя шкала по оси абсцисс.  $T$ , К: 1, 3: 300; 2, 4 — 110.



**Рис. 2.** Температурная зависимость прямого и обратного токов.  $V$ , В: 1 — 0.2, 2 — 0.2, 3 — 0.42.

пара и водорода. Измерения выполнялись по стационарным методикам с использованием преимущественно ординарных измерительных приборов и устройств.

На рис. 1 представлены типичные вольт-амперные характеристики структур, снятые при  $T = 110$  и  $300$  К. Характерные особенности их состоят в следующем. Пря-

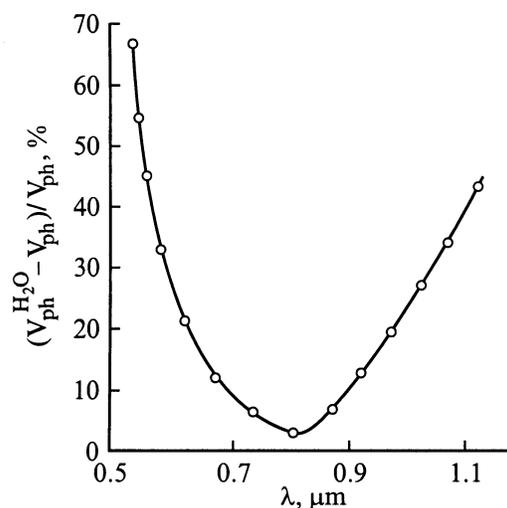
мая ветвь может быть представлена зависимостью

$$I \sim \exp \frac{qV}{n_1 kT} \quad (1)$$

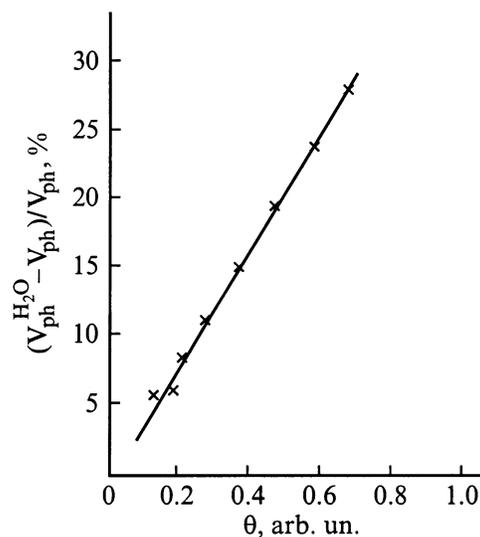
при  $T = 300$  К в интервале напряжений  $\leq 0.2$  В. При этом коэффициент  $n_1 = 1.3$  (кривая 1). С понижением температуры до  $T = 110$  К сохраняется экспоненциальная зависимость, но с величиной  $n_1 = 3.4$  (кривая 2). Обратная ветвь, исключая область смещений  $\leq 0.1$  В, имеет степенную зависимость (кривые 3 и 4)

$$I \sim V^{n_2} \quad (2)$$

с  $n_2 = 3.3\text{--}3.5$ . Эта зависимость с одинаковым наклоном сохраняется при обеих температурах, причем величины токов различаются не очень существенно. Характер



**Рис. 3.** Рост фотоэда (в %) при импульсном действии водяного пара в зависимости от длины волны возбуждающего света.



**Рис. 4.** Изменение фотоэда (в %) в зависимости от концентрации водяного пара.

температурной зависимости прямого и обратного токов также имеет определенное сходство (рис. 2). При низких температурах наблюдается небольшой участок постоянства токов, который с ростом температуры переходит в линейную зависимость в функции  $\lg I = f(T)$ . Обратный ток с увеличением приложенного смещения почти перестает зависеть от температуры (кривая 3 при  $V = 0.42$  В).

Чрезвычайно интересным оказался факт роста фотоэдс в зависимости от влажности (рис. 3–5). На рис. 3 представлена кривая роста фотоэдс в зависимости от спектрального состава возбуждающего излучения при постоянстве импульса водяных паров. Наибольший рост отмечен у коротковолнового и длинноволнового концов спектрального интервала чувствительности фосфида ин-

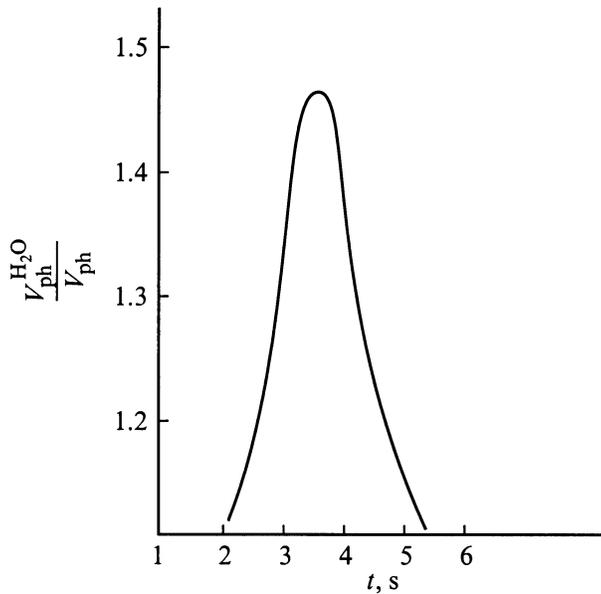


Рис. 5. Импульс фотоэдс, регистрирующий "импульс" водяного пара.

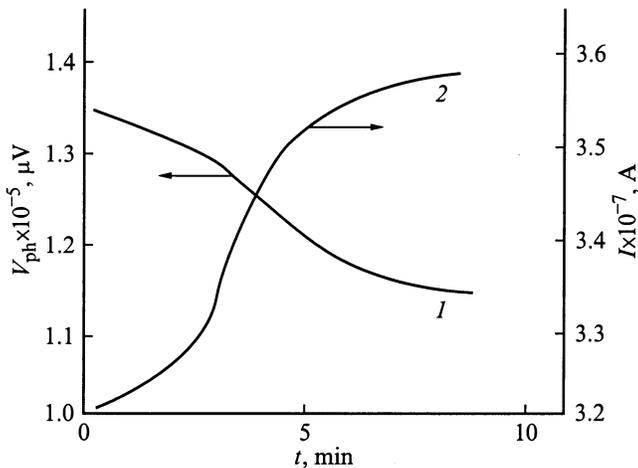


Рис. 6. Релаксация фотоэдс (1) и обратного тока (2) после импульсного действия водорода.

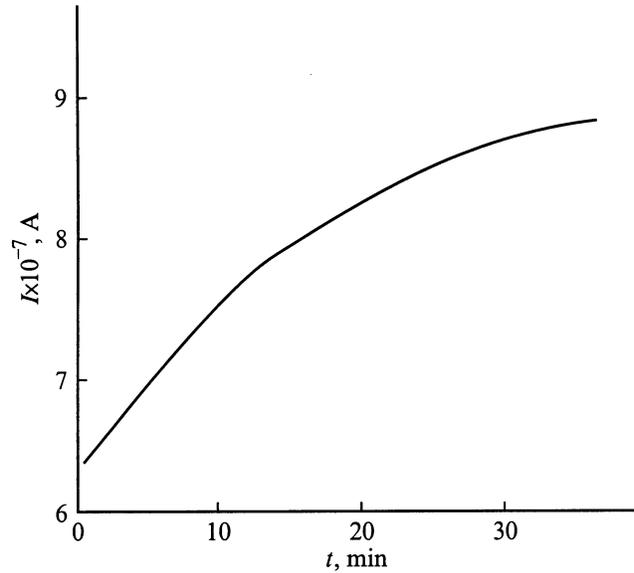


Рис. 7. Релаксация прямого тока после импульсного действия водорода.

дия. Изменение фотоэдс в зависимости от концентрации водяных паров носит линейный характер (рис. 4). Релаксация фотоэдс под действием импульсов водяного пара как на нарастающем, так и на спадающем участках составляет  $\leq 2$  с (рис. 5).

На рис. 6 и 7 представлены кривые релаксации фотоэдс, прямого и обратного токов под импульсным действием водорода. Как видно из рисунков, времена релаксации примерно одинаковы для фотоэдс и обратного тока и в 3 раза больше для прямого тока.

## 2. Обсуждение результатов

### 2.1. Модель структуры и механизм токопереноса

Анализируя всю совокупность полученных результатов измерений, можно прийти к выводу, что объект исследований не является простым диодом Шоттки Pd-p-InP. Как вид вольт-амперных характеристик, так и их температурная зависимость отличаются от таковых для обычной структуры металл-полупроводник. Необъяснимыми кажутся явления, связанные с влиянием влажности на фотоэдс. Изменение фотоэдс под импульсным действием водорода, ее релаксация также отличаются от измеренных ранее.

Основываясь на ряде литературных данных по физико-химическим процессам окисления поверхности InP [5–7], с учетом результатов работы [8] для объяснения всех экспериментальных результатов можно предположить модель структуры и ее возможную энергетическую схему, представленные на рис. 8. Сложная диодная структура Pd-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-n-In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-p-InP создалась, на наш взгляд, под влиянием трех основных факторов: 1) холодного

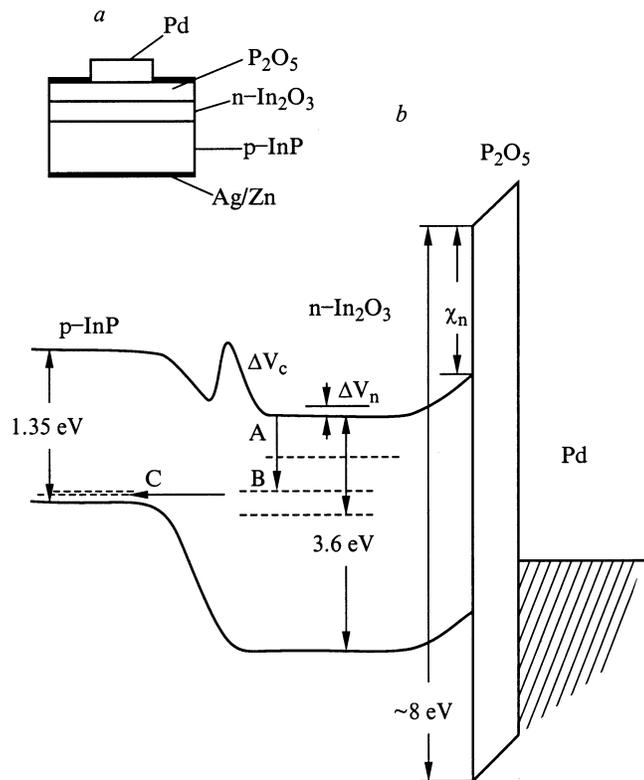


Рис. 8. *a* — технологическая схема структуры; *b* — зонная схема.

травления и полировки, 2) способа электрохимического осаждения палладия и 3) относительно длительной выдержки на воздухе. Возможно, что из первых двух — один является основным, а третий — второстепенным. Нам не представилась возможность провести соответствующий физико-химический анализ. Следует отметить в этой связи, что структуру со слоями  $n\text{-In}_2\text{O}_3$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$  удалось получить электрохимическим осаждением с использованием раствора  $\text{H}_3\text{PO}_4$  в пропиленгликоле [7].

С учетом модели структуры на рис. 8 следует рассматривать возможные механизмы токопереноса. Окисел  $\text{P}_2\text{O}_5$  считается изолятором с предполагаемой шириной запрещенной зоны  $E_G \approx 8$  эВ;  $n\text{-In}_2\text{O}_3$  — частично вырожденный полупроводник с  $E_G \approx 3.6$  эВ. Напряжение, приложенное к такой структуре, можно записать

$$V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3, \quad (3)$$

где  $\Delta V_1$  — часть напряжения на гетеропереходе  $p\text{-InP}-n\text{-In}_2\text{O}_3$ ,  $\Delta V_2$  — часть напряжения на гетерогранице  $n\text{-In}_2\text{O}_3-\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\Delta V_3$  — напряжение на слое изолятора  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Величина пропускаемого через структуру тока будет определяться вкладом соответствующих сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ . В первом приближении можно рассматривать две основные области, ограничивающие ток через структуру: первая — гетерограница  $p\text{-InP}-n\text{-In}_2\text{O}_3$  ( $R_1$ ) и вторая, связанная с наличием слоя изолятора  $\text{P}_2\text{O}_5$  и барьера Шоттки ( $R_2 + R_3$ ). Величина тока будет

определяться:

$$I = \frac{V}{R_1(V) + R_2(V) + R_3(V)}. \quad (4)$$

Изменение тока в зависимости от напряжения и температуры зависит от относительного вклада в сопротивление двух областей  $R_1$  и  $R_2 + R_3$ . В этой связи рассмотрим возможный механизм токопереноса у низкотемпературного конца измеренного температурного интервала. Полная независимость тока от температуры при прямом и обратном смещении может рассматриваться как следствие полевой эмиссии. Для второй области в этом случае аналитически туннельный ток может быть представлен [9]

$$I \sim \exp \frac{V}{E_{00}}, \quad (5)$$

где  $E_{00}$  — почти постоянная величина. Такая зависимость в прямой ветви ВАХ реализуется у диода Шоттки с вырожденным полупроводником. Для  $T = 110$  К  $E_{00} = 0.29$  В. С учетом данных по  $n\text{-In}_2\text{O}_3$  с  $m_r^* = 0.55m_0$  [10],  $\varepsilon = 7$  и предполагаемой концентрации  $N_d \leq 10^{20}$  см $^{-3}$ , согласно

$$E_{00} = 18.5 \cdot 10^{-15} \left( \frac{N_d}{m_r^* \varepsilon} \right)^{1/2}, \quad (6)$$

будем иметь  $E_{00} \geq 0.1$  В. Поскольку даже при комнатной температуре  $E_{00}/kT > 3$ , следовало бы ожидать сохранения зависимости (5) во всем температурном интервале. Однако, как видно из рис. 2, этого не наблюдается. Токоперенос в основной части температурного интервала вплоть до  $T = 300$  К может быть объяснен с учетом в (4) определяющего вклада  $R_1$ , обусловленного областью гетерограницы  $p\text{-InP}-n\text{-In}_2\text{O}_3$ . В этой связи может быть применена модель, использованная для данного гетероперехода в работе [8]. В этой модели основной канал токопереноса — туннелирование через центры захвата в  $n\text{-In}_2\text{O}_3$  (рис. 8, *b*). Так как концентрация дырок в  $p\text{-InP}$  ниже критической концентрации вырождения, превышающей  $10^{19}$  см $^{-3}$ , вторая ступень перехода (*B*–*C*) определяется, вероятно, переходом в хвост плотности состояний валентной зоны  $p\text{-InP}$ . Туннельный ток через центры захвата с плотностью  $D$

$$I \simeq A_1 D \exp[-\alpha(E_G - qV - qV_n)], \quad (7)$$

где  $A_1$  и  $\alpha$  — константы,  $V_n$  — сдвиг уровня Ферми по отношению к дну зоны проводимости  $n\text{-In}_2\text{O}_3$ . Далее, поскольку  $E_G = E_G(0) - \beta T$ , где  $\beta$  — температурный коэффициент изменения  $E_G$ ,

$$I \simeq A_1 D \exp\{-\alpha[E_G(0) - qV] + \alpha\beta T\}. \quad (8)$$

Из (8) следует линейная температурная зависимость  $\lg I = f(T)$  при постоянном  $V$  и экспоненциальная зависимость от  $V$ . Величина наклона прямой туннельного тока (рис. 2, кривая  $I$ ) составляет  $\sim 0.007$ . Порядок

величины приведенной эффективной массы туннелирующего электрона можно оценить из соотношения

$$\frac{8\pi(m_r^*)^{1/2}Wq^{3/2}\beta}{6qh} \sim 0.007.$$

Ширина слоя объемного заряда  $W$  оценивается по соотношению для резкого гетероперехода с  $N_a = 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ :

$$N_d \sim 10^{20} \text{ см}^{-3}, \quad \varepsilon = 11 \text{ (для InP)}, \quad W = \left[ \frac{\varepsilon(V_k - V)}{2\pi q N_a} \right]^{1/2}$$

с  $V_k \leq 0.6 \text{ эВ}$  [8]. В этом случае  $W = 10^{-6} \text{ см}$  и при  $\beta = 2.9 \cdot 10^{-4} \text{ эВ/К}$  приведенная эффективная масса  $\approx 0.04m_0$ . Эта величина близка к рассчитанной для InP из плотности состояний.

Обратная ветвь ВАХ структуры имеет характерную степенную зависимость с одинаковым наклоном  $n_2 = 3.3$  при  $T = 110$  и  $300 \text{ К}$  и с небольшой разницей в абсолютных величинах токов. Эта степенная зависимость в данной структуре может быть объяснена как и в работе [8] межзонным туннелированием. В этом случае экспоненциальная зависимость

$$I \sim \exp[-4(2m_r^*)^{1/2}(E_{G1} + \Delta V_c)^{3/2}/3qh(V_d - V)^{1/2}] \quad (9)$$

может быть представлена степенной. Поскольку межзонное туннелирование должно наблюдаться в ограниченном интервале напряжений, прямая 3 на рис. 2, снятая при  $V = 0.42 \text{ В}$ , может определяться туннелированием через вторую область ( $R_2 + R_3$ ) и соответствовать термополевой эмиссии при прямом (для этой области) смещении.

## 2.2. Фотоэдс структуры и ее зависимость от влажности

Одно из наиболее интересных свойств исследованной структуры — значительное увеличение фоточувствительности (фотоэдс) в присутствии водяных паров. Это явление было впервые обнаружено нами ранее [2] в структурах на основе  $n\text{-InP}$ . Очевидно, что основную роль играет здесь вторая область  $n\text{-In}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-Pd}$ , причем принципиально важным является наличие промежуточного слоя  $\text{P}_2\text{O}_5$  как поглотителя  $\text{H}_2\text{O}$ . Следует отметить, что в предыдущих наших исследованиях [11,12] диодных структур с палладиевым контактом, полученным напылением Pd в вакууме, это явление никогда не наблюдалось.

Фотоэдс при малых уровнях сигнала, связанных с предельной чувствительностью структуры, можно приближенно представить

$$V_{ph} \simeq I_{ph}R_0, \quad (10)$$

где  $I_{ph}$  — ток короткого замыкания и  $R_0$  — сопротивление при нулевом смещении. Таким образом, изменение фотоэдс должно определяться либо изменением

того или другого параметра, либо преимущественным изменением одного из них. Поглощение водяных паров окислом  $\text{P}_2\text{O}_5$ , естественно, должно привести к изменению свойств слоя окисла и, что очень существенно, к изменению характеристик гетерограницы  $n\text{-In}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5$  и  $\text{P}_2\text{O}_5\text{-Pd}$ . Опыты показали, что изменения как прямых, так и обратных токов всей структуры под действием импульса водяных паров практически не происходит. Почти аналогичная ситуация и в структурах на основе  $n\text{-InP}$  [2], где лишь в некоторых образцах наблюдалось наибольшее увеличение обратного тока. В этой связи следует предположить, что рост фотоэдс обусловлен в основном ростом  $I_{ph}$ , т.е. в конечном итоге изменением характеристик неравновесных неосновных носителей тока.

Фототок с учетом промежуточного слоя  $\text{P}_2\text{O}_5$  может быть представлен

$$I_{ph} \simeq \frac{I_{ph0}}{1 + D_1\sigma_n f_s \exp(bn\chi_n^{1/2}\delta)}, \quad (11)$$

где  $I_{ph0}$  — фототок диода Шоттки без промежуточного слоя,  $D_1$  — плотность связанных состояний на гетерогранице  $n\text{-In}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5$ ,  $\sigma_n$  — сечение захвата электрона,  $f_s$  — вероятность заполнения связанных состояний,  $b_n$  — туннельный коэффициент,  $\chi_n$  — высота барьера полупроводник–изолятор,  $\delta$  — толщина слоя изолятора  $\text{P}_2\text{O}_5$ . При поглощении водяных паров, вероятно, нельзя ожидать заметного изменения коэффициента прозрачности окисла  $bn\chi_n^{1/2}\delta$ . И наоборот, следует ожидать кардинального изменения предэкспоненциального множителя  $D_1\sigma_n f_s$ , который отражает рекомбинационные характеристики неосновных носителей тока. Можно предположить, что в отсутствие импульса водяного пара велик рекомбинационный поток неосновных носителей на связанные состояния с плотностью  $D_1$ , находящиеся на гетерогранице  $n\text{-In}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5$ . При этом в (11)  $D_1\sigma_n f_s \exp(bn\chi_n^{1/2}\delta) > 1$ . Под действием импульса водяного пара должна существенно уменьшиться  $D_1$ , что приведет к увеличению времени жизни неосновных носителей  $\tau_n$ . Возможный механизм такого изменения определяется взаимодействием молекул  $\text{H}_2\text{O}$  со связанными состояниями гетерограницы. По некоторым данным [13], при взаимодействии воды с поверхностью полупроводника в основном не наблюдается диссоциации молекул  $\text{H}_2\text{O}$ , хотя некоторая чистичная не исключается. Известно, что при действии воды на  $\text{P}_2\text{O}_5$  идет образование ортофосфорной кислоты  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ; мы полагаем, что этот процесс не играет существенной роли в течение короткого времени импульса. Установлено, что поглощение  $\text{H}_2\text{O}$  ухудшает характеристики  $\text{P}_2\text{O}_5$  как изолятора, приводя, в частности, к увеличению проводимости. С учетом всех этих факторов можно предположить, что молекулярное поглощение  $\text{H}_2\text{O}$  приводит к "разрыхлению" решетки окисла и образованию новых "дефектных" связанных состояний на гетерогранице и в объеме  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Эти новые состояния подавляют влияние исходных состояний,

снижая их концентрацию  $D_1$ . Поскольку можно считать, что в этом процессе  $D_1 \sim 1/N_0$ , где  $N_0$  — концентрация поглощенных молекул воды на гетерогранице, то

$$I_{\text{ph}} \sim \frac{I_{\text{ph}0} N_0}{\sigma_n f_s \exp(bn\chi_n^{1/2}\delta)}, \quad (12)$$

т.е. фотоэдс  $V_{\text{ph}}$  должна быть пропорциональна концентрации водяных паров. На рис. 4 представлена соответствующая линейная характеристика. Из рис. 3 следует, что максимальный рост фотоэдс по абсолютной величине наблюдается на концах спектрального интервала 0.5–1.1 мкм, т.е. в коротковолновой и длинноволновой областях. Такая зависимость, можно полагать, связана со степенью заполнения центров  $D_1$  избыточными неосновными носителями. Высокий уровень возбуждения у края собственного поглощения  $p\text{-InP}$  дает большую концентрацию электронно-дырочных пар, причем величины  $\Delta n$  и  $\Delta p$  могут быть сопоставимы с  $D_1$ . В этих условиях захват связанными состояниями  $D_1$  неосновных носителей меняет рекомбинационные характеристики и запуск импульса водяного пара уже практически не изменяет кинетику рекомбинации. Фактор подавления рекомбинационной активности центров  $D_1$  в этом случае отсутствует. Характерно, что роста фотоэдс практически не наблюдается при  $\lambda = 0.8$  мкм, что соответствует максимуму спектральной кривой фотоэдс. В коротковолновой области фототок падает из-за поверхностной рекомбинации у гетерограницы  $p\text{-InP}-n\text{-In}_2\text{O}_3$ , в длинноволновой — из-за слабого поглощения в подложке  $p\text{-InP}$ . В обоих случаях число избыточных носителей у гетерограницы  $n\text{-In}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5$  будет невелико и эффект "подавления" связанных состояний  $D_1$  эффективно действует.

Время релаксации импульса фотоэдс (рис. 5) как на восходящей ветви, так и на спадающей невелико, порядка 1–2 с. Этот факт тоже может свидетельствовать в пользу отсутствия диссоциации молекул  $\text{H}_2\text{O}$  при поглощении в окисле  $\text{P}_2\text{O}_5$  в условиях нашего эксперимента.

### 2.3. Влияние водорода на электрические характеристики и фотоэдс

Кривые релаксации прямого и обратного токов, а также фотоэдс (рис. 6 и 7) после импульсного воздействия водорода должны отражать особенности механизма токопереноса темновых и световых носителей. Характерным является симметрично-противоположный ход кривых 1 и 2 (рис. 6), определяющих релаксацию фотоэдс и обратного тока. Поскольку для структуры с промежуточным слоем

$$V_{\text{ph}} \sim \frac{kT}{q} \ln \left[ \frac{I_{\text{ph}}}{I_{p0} \exp(bp\chi_p^{1/2}\delta)} + 1 \right], \quad (13)$$

то из (13) следует, что изменение темнового тока, определяемое  $I_{p0} \exp(-bp\chi_p^{1/2}\delta)$ , приводит к противоположному изменению  $V_{\text{ph}}$ .

Ранее уже отмечалось [4], что при диссоциации  $\text{H}_2$  на гетерогранице может создаваться дипольный слой, что приводит к увеличению высоты барьера и уменьшению коэффициента прозрачности промежуточного слоя. Так как оба процесса взаимосвязаны, то и времена релаксации обратного тока и фотоэдс одинаковы и составляют  $\sim 9$  мин. Время релаксации прямого тока более чем в 3 раза выше, превышая 30 мин (рис. 7). Причины этого могут быть различны. Одна из более вероятных состоит в том, что образующиеся при поглощении водорода "временные" глубокие центры служат эффективными уровнями захвата основных носителей тока с большим временем релаксации после прекращения импульсов  $\text{H}_2$ . Так как величина изменения прямого тока невелика, аналитически трудно оценить глубину этих уровней.

В заключение отметим, что полученные результаты исследования структуры  $p\text{-InP}-n\text{-In}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-Pd}$  представляют интерес, с одной стороны, как гибридные структуры с несколькими видами туннельного механизма токопереноса, а с другой — как структуры с потенциальными возможностями тройного детектирования — ближнего инфракрасного излучения, влажности и водорода.

Авторы выражают искреннюю благодарность А.М. Мариновой за помощь в технологии изготовления образцов.

### Список литературы

- [1] Г.Г. Ковалевская, Л. Кратепа, М.М. Мередов, А.М. Маринова, С.В. Слободчиков. Письма ЖТФ, **15** (12), 55 (1989).
- [2] Г.Г. Ковалевская, А.М. Маринова, С.В. Слободчиков. ЖТФ, **59** (11), 155 (1989).
- [3] С.В. Слободчиков, Г.Г. Ковалевская, М.М. Мередов, А.В. Пенцов, Е.В. Руссу. Письма ЖТФ, **17** (15), 1 (1991).
- [4] Г.Г. Ковалевская, М.М. Мередов, Е.В. Руссу, Х.М. Салихов, С.В. Слободчиков. ЖТФ, **63** (2), 185 (1993).
- [5] K.M. Geib, C.M. Wilmsen. J. Vac. Sci. Techn., **17**, 952 (1980).
- [6] J.F. Wager, D.L. Ellsworth, S.M. Goodnick, C.M. Wilmsen. J. Vac. Sci. Tech., **19**, 513 (1981).
- [7] D.H. Laughlin, C.M. Wilmsen. Appl. Phys. Lett., **37** (10), 815 (1980).
- [8] М.М. Мередов, Г.Г. Ковалевская, Е.В. Руссу, С.В. Слободчиков. ФТП, **26** (9), 1590 (1992).
- [9] F.A. Padovani, R. Stratton. Sol. St. Electron., **9**, 695 (1966).
- [10] R.L. Weiher. J. Appl. Phys., **33**, 2834 (1962).
- [11] Г.Г. Ковалевская, М.М. Мередов, Е.В. Руссу, Х.М. Салихов, С.В. Слободчиков, В.М. Фетисова. ФТП, **26** (10), 1750 (1992).
- [12] С.В. Слободчиков, Е.В. Руссу, Х.М. Салихов, М.М. Мередов, А.И. Язлыева. Письма ЖТФ, **21** (19), 50 (1995).
- [13] G.J. Hughes, T.P. Humphreys, V. Montgomery, R.N. Williams. Vacuum, **31** (10–12), 539 (1981).

Редактор В.В. Чалдышев

**The influence of humidity and hydrogen on  
the current transport in  $p$ -InP diode  
structures with palladium contact**

S.V. Slobodchikov, Kh.M. Salikhov

Ioffe Physicotechnical Institute,  
Russian Academy of Sciences,  
194021 St. Petersburg, Russia