

**ФОТОРЕЗИСТИВНЫЙ ЭФФЕКТ
В ТУННЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДАХ n -GaAs/Au
ПРИ ПЛАЗМЕННОМ ОТРАЖЕНИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*С.Д.Ганичев, И.Н.Котельников, Н.А.Мордовец,
А.Я.Шульман, И.Д.Ярошецкий*

Обнаружен малоинерционный фоторезистивный эффект в туннельных переходах n -GaAs/Au при воздействии импульсного лазерного излучения из области плазменного отражения от свободных носителей в n -GaAs.

В туннельном переходе металл — полупроводник потенциальный барьер сосредоточен в полупроводнике и образован в результате самосогласованного распределения электронов в поле ионизованных доноров и заряда на поверхностных состояниях. При падении электромагнитной волны на электронную плазму полупроводника возникает дополнительная сила, действующая на электронную подсистему за счет отражения излучения. В результате изменяется форма потенциального барьера Шоттки, что приводит к изменению его прозрачности и, следовательно, сопротивления перехода. Такой фоторезистивный эффект был предсказан в работе ¹, где были приведены оценки возможности его наблюдения.

Для обнаружения фоторезистивного эффекта исследовался отклик туннельной системы *n*-GaAs/Au на импульсное лазерное излучение, длина волны которого $\lambda = 90,55$ мкм больше λ_p , где λ_p — длина волны, соответствующая плазменному минимуму в спектре отражения *n*-GaAs. Туннельные переходы *n*-GaAs/Au были изготовлены по методике, описанной в ², на подложках из *n*-GaAs с концентрацией *N* электронов $2 \cdot 10^{18}$; $3,7 \cdot 10^{18}$ и $6,5 \cdot 10^{18}$ см⁻³, измеренные значения λ_p равны 20; 16; 11,5 мкм соответственно. Толщина золотых электродов составляла 200 Å, диаметр — 1,0 и 0,25 мм. Анализ вольт-амперных характеристик при гелиевых температурах показал, что в изготовленных переходах имеет место туннельный механизм переноса заряда ².

Измерения проводились с использованием излучения импульсного субмиллиметрового лазера на NH₃ с оптической накачкой CO₂-лазером ^{3, 4}. В экспериментах использовалось как сфокусированное, так и несфокусированное излучение с интенсивностями ≈ 400 и ≈ 100 кВт/см² соответственно. Излучение ($\lambda = 90,55$ мкм, длительность импульса $\tau_n = 40$ нс) направлялось на образец со стороны золотого электрода так, что плоскость перехода *n*-GaAs/Au была перпендикулярна оптической оси установки. Электрический сигнал снимался с сопротивления нагрузки $R_H = 50$ Ом, временное разрешение измерительной схемы было лучше $7 \cdot 10^{-9}$ с.

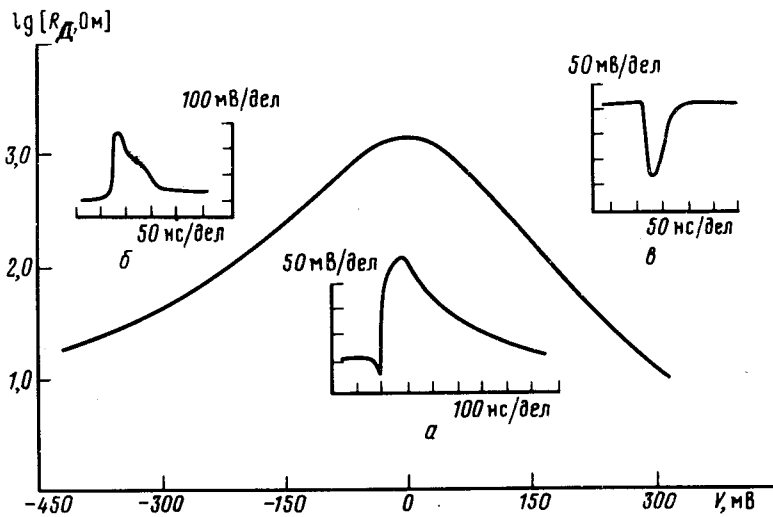


Рис. 1. Зависимость дифференциального сопротивления $R_d = dV/dI$ от напряжения смещения *V* туннельного перехода *n*-GaAs/Au ($N = 3,7 \cdot 10^{18}$ см⁻³, диаметр 1 мм, емкость $C(0) = 4300$ пФ) и осциллограммы отклика перехода на сфокусированное импульсное излучение с $\lambda = 90,55$ мкм $> \lambda_p$ ($T = 77$ К): а — $V = 0$; б — $V < 0$; в — $V > 0$

На рис. 1 приведены осциллограммы фотоотклика, измеренные при $T = 77$ К на переходе *n*-GaAs/Au с $N = 3,7 \cdot 10^{18}$ см⁻³. Здесь же показана зависимость дифференциального сопротивления R_d того же перехода от напряжения смещения *V* на нем. Видно, что наблюдаются два вида фотоотклика: фотоэдс (рис. 1, а, $V = 0$) и отклик, связанный с изменением сопро-

тивления перехода под действием излучения (рис. 1, б, $V < 0$ и рис. 1, в, $V > 0$). Последний повторяет форму лазерного импульса и не меняет знак при изменении полярности включения образца в схему, как и следовало ожидать в случае фоторезистивного эффекта. Кроме того, полученные результаты показывают, что наблюдаемый отклик не связан с обычным выпрямлением на нелинейности вольт-амперной характеристики переходов n -GaAs/Au. Аналогичное поведение фотоотклика наблюдалось на всех других переходах как при $T = 300$ К, так и при $T = 77$ К.

Знакопеременный характер отклика при $V = 0$, а также обнаруженные в этом случае заметные изменения формы и амплитуды сигнала от импульса к импульсу можно объяснить, как проявление нестационарной фотоэдс, обусловленной перераспределением заряда между металлом и полупроводником. Как показывает анализ этого эффекта, форма и амплитуда импульса нестационарной фотоэдс должны существенно зависеть от соотношения между RC схемы, длительностью импульса излучения и крутизной его переднего и заднего фронтов, что и наблюдается в эксперименте. Отметим, что отрицательный характер первой фазы импульса фотоэдс соответствует перетеканию электронов из металла в полупроводник через сопротивление R_n .

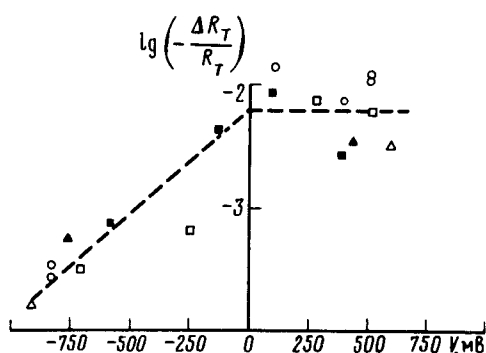


Рис. 2. Зависимость относительного изменения сопротивления $\Delta R_T / R_T$ от смещения V при нефокусированном излучении ($\lambda = 90,55$ мкм); Δ, \blacktriangle — переходы с $N = 2 \cdot 10^{18}$ см $^{-3}$; $\circ, \bullet, \square, \blacksquare$ — $N = 3,7 \cdot 10^{18}$ см $^{-3}$. Светлые значки — $T = 77$ К, черные — $T = 300$ К

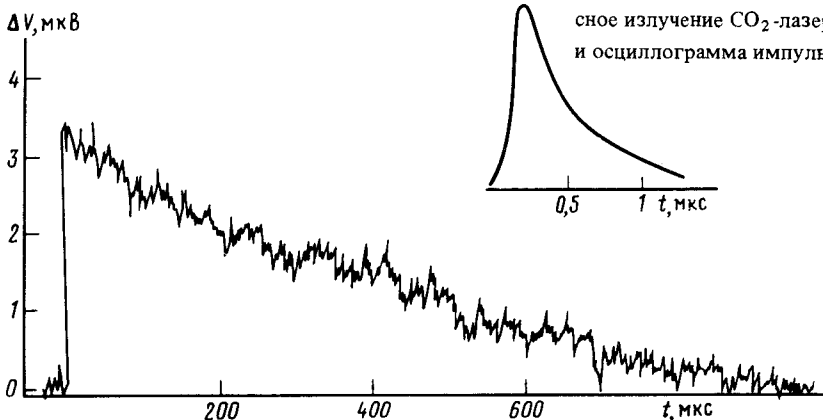


Рис. 3. Отклик перехода n -GaAs/Au на импульсное излучение CO_2 -лазера ($\lambda = 10,2$ мкм $< \lambda_p$) и осциллограмма импульса CO_2 -лазера

В случае фоторезистивного отклика в фотосигнале всегда отсутствовала знакопеременная компонента, а знак отклика соответствовал уменьшению под действием излучения сопротивления R_T туннельного перехода на величину ΔR_T . На рис. 2 приведена зависимость величины $\Delta R_T / R_T$ от смещения V , измеренная без фокусировки излучения. Видно, что при $V > 0$ измеренные значения $\Delta R_T / R_T \approx 6 \cdot 10^{-3}$ слабо зависят от V . С увеличением отрицательного смещения $\Delta R_T / R_T$ падает примерно в 50 раз (при $V = -0,9$ В). Отметим, что при фокусировке излучения отклик возрастает значительно больше, чем увеличивается интенсивность излучения.

Анализ инерционности наблюдаемого фотоотклика показал, что время отклика определяется временным разрешением измерительной схемы с учетом величины RC перехода.

Чтобы выяснить, сколь существенно наличие плазменного отражения для существования наблюдаемого эффекта, были проведены измерения при $\lambda < \lambda_p$. Для этого использовалось излучение CO_2 -лазера с модулированной добротностью ($\lambda = 10,2 \text{ мкм} < \lambda_p$, $\tau_{\text{и}} = 500 \text{ нс}$, интенсивность 5 кВт/см^2). В этом случае, в отличие от описанного выше эффекта, наблюдался медленный фотоотклик с характерным временем $\approx 500 \text{ мкс}$ (рис. 3), а быстрый фотоотклик отсутствовал.

Расчет показал, что в случае CO_2 -лазера фотоотклик связан с разогревом решетки в области туннельного перехода за счет поглощения излучения свободными носителями в GaAs. Оценка такого разогрева, полученная из решения уравнения теплопроводности, дает значение отклика близкое к наблюдаемому. В случае экспериментов с $\lambda = 90,55 \text{ мкм}$ разогревные эффекты приводят к величине сигнала на два-три порядка меньше измеренного быстрого фотоотклика из-за слабого поглощения света при плазменном отражении.

Из приведенных результатов следует, что в условиях плазменного отражения имеет место новый механизм фотоотклика туннельных структур с барьером Шоттки, связанный с перераспределением заряда в обедненном слое под действием излучения. Качественное объяснение обнаруженного эффекта и, в частности, уменьшение R_T при освещении может быть дано в рамках теории, изложенной в ¹, при более точном учете вклада высокочастотного потенциала.

Авторы благодарят Ш.М.Когана и Т.М.Лифшица за обсуждения и поддержку работы.

Литература

1. Kotel'nikov I.N., Mordovets N.A., Shul'man A.Ya. Conf. Digest of IX Int. Conf. IR&MM Waves, Japan, Takarazuka, 1984, p. 137.
2. Котельников И.Н., Бейнихес И.Л., Шульман А.Я. ФТТ, 1985, 27, 401.
3. Ганичев С.Д., Емельянов С.А., Ярошецкий И.Д. Письма в ЖЭТФ, 1982, 35, 297.
4. Ганичев С.Д., Емельянов С.А., Ивченко Е.Л., Перлин Е.Ю., Ярошецкий И.Д. Письма в ЖЭТФ, 1983, 37, 479.

Институт радиотехники и электроники
Академии наук СССР

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
14 июля 1986 г.