

ФОТОПРОВОДИМОСТЬ p -Ge ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ, ВОЗБУЖДАЕМАЯ ИЗЛУЧЕНИЕМ ИМПУЛЬСНОГО CO_2 -ЛАЗЕРА

Васецкий В. М., Гайдар А. В., Порошин В. Н., Саркисян Э. С.

В настоящей работе приводятся результаты исследования фотопроводимости и разогрева носителей в p -Ge с концентрацией $N_A - N_D = 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ при возбуждении излучением импульсного ($\sim 90 \text{ нс}$) CO_2 -лазера при температурах $25 \div 19 \text{ К}$. Как было показано в [1], поглощение света в германии при таких уровнях легирования и температурах обусловлено непрямыми внутризонными переходами и оптическими переходами носителей с примеси в валентную зону. Кроме того, при интенсивностях лазерного излучения $P \geq 1 \text{ МВт/см}^2$ обнаружено нелинейное поглощение света, обусловленное возрастанием заселенности начальных состояний прямых внутризонных переходов из-за разогрева дырок в поле электромагнитной волны.

Измерялись фотопроводимость (ФП) и фотоимпульсный эффект Холла (ФЭХ) при различных интенсивностях лазерного излучения $P = 10^5 \div 2 \cdot 10^7 \text{ Вт/см}^2$.

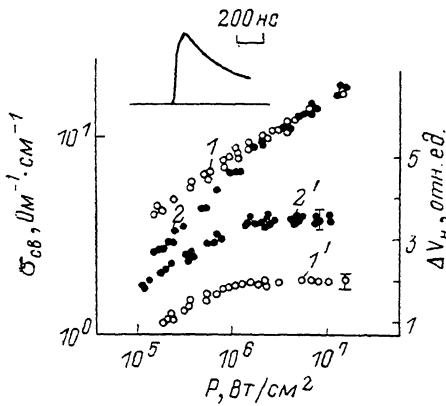


Рис. 1. Зависимость проводимости (1, 2) и напряжения фотоимпульсного эффекта Холла (1', 2') в p -Ge от интенсивности лазерного излучения.

Т, К: 1, 1' — 25; 2, 2' — 19. На вставке — форма импульса ФП при $P = 2 \cdot 10^7 \text{ Вт/см}^2$.

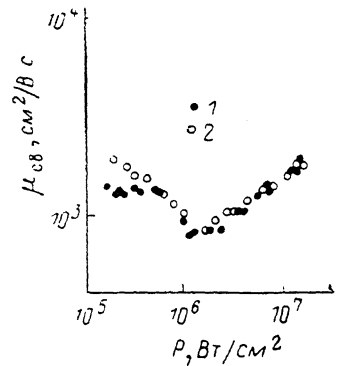


Рис. 2. Зависимость подвижности носителей тока в p -Ge от интенсивности возбуждения P .

Т, К: 1 — 19, 2 — 25.

Измерения проводились на постоянном токе (электрическое поле на образце было много меньше поля примесного пробоя) в условиях равномерной засветки образца. Временное разрешение системы регистрации было не хуже $5 \cdot 10^{-9} \text{ с}$.

Во всем исследованном интервале интенсивностей лазерного излучения фотопроводимость была положительной. Сигнал ФП имеет быструю и длинновременную составляющие, отношение амплитуд которых возрастает при увеличении температуры при одинаковых интенсивностях возбуждения. Зависимость амплитуды быстрой составляющей ФП σ_0 от интенсивности света при различных температурах показана на рис. 1. Кривые зависимости $\sigma_0(P)$, построенные в различных точках сигнала ФП в течение времени $\sim 100 \text{ нс}$ с момента начала генерации лазера, совпадают. Форма быстрой составляющей ФП при интенсивностях света P , меньших некоторой P_0 , точно повторяет форму исходного лазерного импульса, при больших же P ее форма искажается из-за немотонной зависимости σ_0 от интенсивности света. Длинновременная составляющая сигнала ФП затухает в течение времени порядка сотен микросекунд после выключения лазерного возбуждения.

Форма импульсов напряжения фотоимпульсного эффекта Холла аналогична форме импульсов ФП, а их полярность противоположна полярности темнового напряжения Холла на образце. Зависимость быстрой составляющей сигнала ФЭХ от интенсивности света приведена на рис. 1.

Мы считаем, что быстрая составляющая ФП связана с изменением как концентрации свободных носителей при примесном поглощении света, так и их подвижности. Вклад этих составляющих в наблюдаемую фотопроводимость зависит от интенсивности лазерного возбуждения. Из рис. 1 видно, что концентрация свободных носителей p возрастает при увеличении интенсивности света P до P_0 , при больших же интенсивностях p остается постоянной в пределах точности измерений. Зависимость подвижности носителей μ_n от P приведена на рис. 2.

Отметим, что если определить время жизни носителей в валентной зоне τ_n как $\tau_n = (1/P_0\alpha)$ ($\alpha = 2 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2 [\text{1}]$ — сечение примесного поглощения), то оно получается равным $6 \cdot 10^{-11} \text{ с}$ для температур кристалла 19 и 25 К, что намного меньше длительности лазерного импульса.

Возрастание проводимости p -Ge с ростом интенсивности света выше P_0 следует связать только с увеличением подвижности носителей, ФП же при $P < P_0$ может быть обусловлена изменением концентрации свободных носителей и их подвижности.

Подвижность носителей в исследованных образцах при $T_0 \leq 25 \text{ К}$ определяется их рассеянием в основном на ионизированных примесях. Поэтому с ростом концентрации свободных носителей за счет примесного поглощения света подвижность носителей должна падать из-за увеличения концентрации рассеивающих центров N . Возрастание же подвижности носителей с ростом интенсивности света может происходить только при разогреве носителей в поле электромагнитной волны ($\mu_I \sim T^{3/2}$). Из рис. 2 видно, что при интенсивностях света $P < P_0$ μ падает с ростом P , т. е. изменение подвижности связано в основном с ростом N . При изменении интенсивности света P_0 от $1.6 \cdot 10^6$ до $2 \cdot 10^7 \text{ Вт/см}^2$ подвижность носителей возрастает в 2 раза, что соответствует изменению температуры дырок в 1.6 раза. Столь большая величина разогрева обусловлена тем, что при таких интенсивностях возбуждения в исследованных образцах поглощение света определяется прямыми внутризонными переходами носителей [1], а релаксация фотовозбужденных носителей осуществляется в основном за счет передачи своей энергии основной массе носителей [2].

Отметим, что полученная величина перегрева дырок хорошо согласуется с величиной разогрева, определенной по увеличению поглощения p -Ge излучения CO_2 -лазера в исследованных образцах при прямых внутризонных переходах.

Энергия излучения, поглощаемая носителями в процессе их энергетической релаксации, переходит в решетку и приводит к перегреву кристалла. Величина перегрева освещаемой области кристалла при максимальной интенсивности $P = 2 \cdot 10^7 \text{ Вт/см}^2$ и $T_0 = 25 \text{ К}$, рассчитанная с учетом коэффициента поглощения p -Ge [1], в пренебрежении отводом тепла составляет $\sim 27 \text{ К}$. Длинновременная составляющая ФП может быть связана с разогревом и остыванием образца. Кроме того, она может быть связана с генерацией в образце электронно-дырочных пар [3].

Авторы благодарны О. Г. Сарбей за полезные дискуссии.

Список литературы

- [1] Васецкий В. М., Порошин В. Н., Сарбей О. Г., Саркисян Э. С. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 9, С. 1610—1613.
- [2] Грибников З. С., Железняк В. Б. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 5. С. 785—791.
- [3] Данилейко Ю. К., Маленков А. А., Сидорин А. В. // ФТП. 1978. Т. 12. В. 10. С. 1938—1941.

Институт физики АН УССР
Киев

Получено 18.08.1988
Принято к печати 29.03.1989