

ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ ВНУТРИЗОННАЯ ФОТОПРОВОДИМОСТЬ В ТЕЛЛУРЕ

М.И. Еремец, А.М. Широков

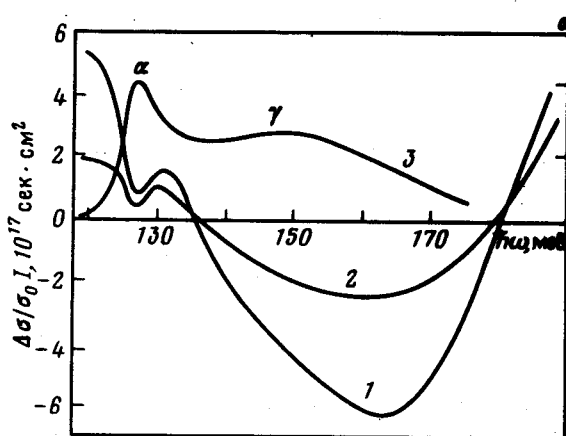
В области внутризонного поглощения теллура при $T \lesssim 20$ К для поляризации света как $E \parallel C_2$, так и $E \perp C_3$ обнаружена отрицательная фотопроводимость. По величине эффект сравним с фотопроводимостью в области фундаментального поглощения. Времена релаксации составляют $\sim 10 + 10^3$ сек. Природа эффекта связывается с дислокациями.

Известны случаи наблюдения межзонной отрицательной фотопроводимости (ОФП); она наблюдается относительно редко и обычно объясняется сложными процессами релаксации возбужденных носителей при участии примесных уровней [1, 2]. ОФП наблюдалась также и при внутризонном поглощении в полупроводнике при освещении его мощным лазерным источником [3 — 6]. Эффект в основном обусловлен "горячими" носителями и характеризуется малыми временами релаксации ($\sim 10^{-12}$ сек). Величина внутризонной ФП обычно на несколько порядков меньше, чем для ФП, обусловленной переходами между валентной зоной и зоной проводимости.

Нами обнаружена ОФП при внутризонном поглощении в полупроводнике, которая по величине сравнима с ФП в области фундаментального поглощения. Объектом исследования является монокристаллический теллур ($\epsilon_g = 340$ мэВ, расстояние между двумя верхними валентными зонами $2\Delta = 126$ мэВ). Времена релаксации составляют $\sim 10 + 10^3$ сек. Эффект наблюдается при $T \lesssim 20$ К.

Исследовалось 10 образцов с концентрацией дырок $(2 + 90) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Типичные размеры образцов $2 \times 1 \times 5 \text{ мм}^3$. Образцы освещались глобаром через призменный монохроматор спектрометра ИКС-21. Прямое попадание света на контакты исключалось. Одновременно регистрировались спектры пропускания и фотопроводимости для поляризации света $E \parallel C_3$ и $E \perp C_3$ (C_3 — тригональная ось симметрии теллура). Частота модуляции — 0 ± 6000 Гц, температура — $1,7 \pm 40$ К, давление — до 4 кбар, спектральный диапазон — 2 ± 11 мкм. Ток через образец — 0,1 мА.

Эффект ОФП в области внутризонного поглощения обнаружен нами у всех исследуемых образцов. Сопротивление образцов возрастало линейно с интенсивностью падающего света I в интервале $(10^{12} + 10^{14})$ квант/сек, максимальный рост достигал $\sim 3\%$. При 1,5 К величина стационарной относительной фотопроводимости $\Delta\sigma/\sigma_0$, нормированной на I , оказалась всего лишь в два — пять раз меньше, чем для области фундаментального поглощения.



Спектры стационарной фотопроводимости (1, 2) и поглощения (3) теллура в области внутризонных переходов. $\rho = 9 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-3}$, $T = 1,9$ К, поляризация света $E \parallel C_3$ (1, 3) и $E \perp C_3$ (2.)

Типичный вид спектров стационарной ФП и поглощения, снятых одновременно, в области внутризонных переходов представлен на рисунке. Как видно из рисунка, имеется хорошая корреляция между спектром ОФП и спектром внутризонного поглощения. ОФП наблюдается в области широкого γ -пика поглощения. α -пик поглощения ($E_\alpha = 2\Delta = 126$ мэВ) совпадает по энергии с локальным минимумом в спектре ФП. Совпадение не является случайным, так как под давлением оба экстремума смещаются с одинаковой скоростью.

Однако между этими спектрами есть существенные отличия. В соответствии с правилами отбора и в согласии с литературными данными, мы не обнаружили поглощения в экспериментах по пропусканию для поляризации света $E \perp C_3$ (с точностью до $0,2 \text{ см}^{-1}$). Тем не менее ОФП наблюдается и для $E \perp C_3$, причем по величине она лишь примерно в два раза меньше, чем для $E \parallel C_3$ (рисунок ¹⁾.

¹⁾ Факт существования значительной по величине ФП в условиях, когда эксперименты по пропусканию практически не обнаруживают поглощения, еще раз свидетельствует о том, что иногда ФП является более чувствительным методом, чем поглощение света.

Кроме того спектры ОФП и поглощения резко различаются величинами коэффициента поглощения, оцененного из величины стационарной ОФП и измеренного в экспериментах по поглощению для $E \parallel C_3$. Так как наблюдаемая ОФП монополярна, рекомбинация линейна и поглощение мало, то для стационарного случая

$$\frac{1}{I} \frac{\Delta\sigma}{\sigma_0} = \frac{\beta \alpha \tau}{p_0}, \quad (1)$$

где β — квантовый выход, α — коэффициент поглощения, τ — время жизни неравновесных дырок, p_0 — равновесная концентрация дырок. Полагая, что τ соответствует время релаксации сигнала ОФП (т.е. пренебрегая уровнями прилипания, которым трудно найти место в картине внутризонных переходов) и что $\beta = 1$, по экспериментальным значениям I , $\Delta\sigma$, σ_0 , τ , p_0 находим $a_{\parallel} \approx a_{\perp} \sim (10^{-3} - 10^{-5}) \text{ см}^{-1}$ для разных образцов. Эксперименты по пропусканию света дают $a_{\parallel} \sim 1 + 10 \text{ см}^{-1}$.

Переходя к интерпретации наблюдаемого эффекта, отметим прежде всего, что он не может быть объяснен болометрическим эффектом и изменением подвижности дырок при простом переходе дырок из верхней валентной зоны в нижнюю, так как в обоих случаях в теллуре при $T \lesssim 20\text{K}$ должна возникать положительная ФП. Маловероятно, что эффект связан с наличием известного примесного уровня вблизи нижней валентной зоны, так как при этом трудно объяснить большие времена релаксации и существование эффекта для поляризации $E \perp C_3$.

Исследования характеристик ОФП у образцов, подвергнутых отжигу (3 часа при 600 K), имеющих разный уровень легирования, различающихся состоянием поверхности (естественный скол, обработка в различных травителях¹⁾), показали, что точечные дефекты, легирующие примеси и поверхностные состояния по-видимому не могут быть причиной обнаруженной ОФП.

Качественное объяснение всем экспериментальным фактам можно дать, если предположить, что ОФП обусловлена поглощением в небольших по общему объему областях, в которых нарушены правила отбора для внутризонных переходов и в которых имеются ловушки для возбужденных дырок. Такими свойствами могут обладать придислокационные области. Здесь возможны искажения симметрии [8] и, соответственно, нарушения правил отбора. С другой стороны, деформационный потенциал дислокации вместе с кулоновским потенциалом ее ядра могут образовать потенциал барьерного типа. Возбужденная вблизи дислокации дырка с избыточной энергией преодолевает потенциальный барьер дислокации и захватывается дислокационным уровнем, надолго выключаясь из процесса проводимости.

Это предположение согласуется с тем фактом, что пластическая деформация образцов существенно влияла на величину α , оцененного

¹⁾Нами был проведен также специальный эксперимент, предложенный в [7], в котором с целью существенного уменьшения влияния поверхности на ФП свет падает на центр торца образца.

из (1). Так, например, деформация образца при 300 К на 3% приводила к возрастанию α в 50 – 100 раз (вид спектра ОФП при этом меняется мало, τ уменьшается). Плотность электроактивных дислокаций, регистрируемых по ямкам травления, возростала при этом более, чем на порядок.

Авторы благодарят Ю.В.Косичкина, А.И.Надеждинского за плодотворные дискуссии и Г.Н.Ермолаева за помощь в эксперименте.

Институт физики высоких давлений
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
29 апреля 1980 г.

Литература

- [1] Р.Вьюб. Фотопроводимость твердых тел, М., ИИЛ, 1962.
 - [2] Л.Г.Парицкий, С.М.Рывкин. ФТП, 1, 718, 1967.
 - [3] А.М.Данишевский, А.А.Кастальский, Б.С.Рывкин, С.М.Рывкин, И.Д.Ярошецкий. Письма в ЖЭТФ, 10, 470, 1969.
 - [4] П.М.Валов, Б.С.Рывкин, И.Д.Ярошецкий, И.Н.Яссиевич. ФТП, 5, 904, 1971.
 - [5] K.J.Siensen, H.D.Russius. Solid. Stat. Comm., 13, 789, 1973.
 - [6] D.Gensow, K.H.Herrmann, R.Vogel. Phys. Stat. Sol. (a), 23, 51, 1974.
 - [7] D.Mergel, R.Labusch. Phys. Stat. Sol. (a), 41, 431, 1977.
 - [8] E.Gerstenhauer, G.Bauer, P.Grosse, J.C.Doukhan. Phys. Stat. Sol. (b), 93, 629, 1979.
-