

Письма в ЖЭТФ, том 12, стр. 399 – 402

20 октября 1970 г.

**НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ФОТОТОКА
И МНОГОФОТОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В CdSnP₂**

*B.A.Ковалевская, Н.А.Фердман, Е.И.Леонов,
B.M.Орлов, Н.А.Горюнова, С.Л.Пышкин, С.И.Радауцин*

1. В данной статье мы хотим указать на некоторые особенности многофотонного поглощения света и релаксации неравновесных носителей тока в полупроводнике со сложной структурой зон, каковым является недавно полученное и весьма интенсивно исследуемое соединение CdSnP₂.

2. Исследовались однородные образцы с размерами $\sim 0,2 \times 0,05 \times 0,02 \text{ см}^3$, снабженные омическими контактами, защищенными от прямого попадания света. Образцы имели удельное сопротивление $10^2 - 10^4 \text{ ом} \cdot \text{см}$ при 300°K и $10^7 - 10^8 \text{ ом} \cdot \text{см}$ при 80°K . Для увеличения фоточувствительности кристаллы CdSnP₂ легировались в процессе их получения примесями Sb и Cu (совместно) и др. В подготовленных таким образом кристаллах кратность изменения сопротивления составляла $\sim 10^7$ при интенсивности возбуждающего света $\sim 10^{25} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$.

В качестве источника возбуждающего света использовался Nd-лазер с модулированной добротностью (выходная энергия 0,5 дж, длительность импульса 35 нсек). Образец помещался в оптический криостат с температурой, регулируемой в интервале $80 - 300^\circ\text{K}$ и подключался к схеме измерения фотопроводимости с параметрами: $R_{\text{обр}} >> R_H$, $E = 10 - 10^3 \text{ в/см}$, временное разрешение схемы 10^{-8} сек ($R_{\text{обр}}$ — темновое сопротивление образца, R_H — сопротивление нагрузки, E — постоянное электрическое поле, приложенное к образцу). Сигнал фотопроводимости регистрировался на осциллографе с памятью.

$\Delta n, \text{ отн.ед.}$

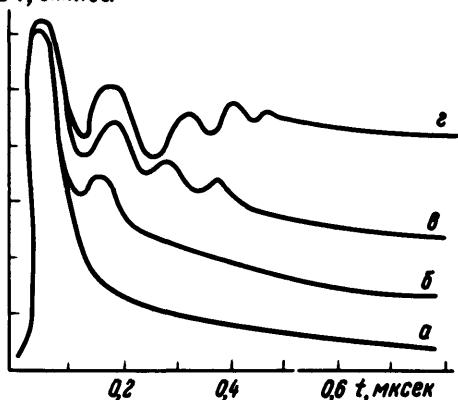


Рис. 1. Осцилляции фототока в CdSnP₂, при различных температурах (развертка 0,1 мксек/см): а — 300°K , б — 240°K , в — 170°K , г — 90°K

3. На рис. 1 представлена кинетика релаксации неравновесных носителей тока при различных температурах образца. Можно видеть весьма значительные осцилляции фототока, их число и амплитуда увеличиваются с уменьшением температуры. Эта осциллограмма получена при приложении к образцу электрического поля $E = 80 \text{ в/см}$ и облучении его светом Nd-лазера с интенсивностью $I = 2 \cdot 10^{26} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. Появление осцилляций не связано с каким-либо порогом по электрическому полю, приложенному к образцу. Отметим, что амплитуда осцилляций пропорциональна как величине электрического поля E , так и интенсивности света I , число осцилляций также возрастает с ростом I и E . Частота осцилляций не зависит от I и E и составляет для серии из 30 исследованных образцов $(8 - 12) \cdot 10^6 \text{ Гц}$.

Рис. 1 и 2 позволяют оценить характеристические времена релаксации неравновесных носителей тока τ . $\tau = 8 \cdot 10^{-8} \text{ сек}$ при 300°K и $\tau = 2 \cdot 10^{-5}$ при 80°K . На рис. 2 отмечен участок, на котором наблюдаются осцилляции фототока.

На рис. 3 представлены зависимости концентрации неравновесных носителей тока Δn от интенсивности возбуждающего света I . При выполнении условия $t \ll \tau$ (см. рис. 1 и 2) эта зависимость имеет вид $\Delta n \sim I^a$, где a — число

фотонов, участвующих в элементарном акте поглощения света (здесь t — длительность лазерного импульса). При $T = 80^{\circ}\text{K}$ ширина запрещенной зоны E_g больше энергии кванта $\hbar\omega$ и $\alpha = 2$ (кривая a рис. 3), что соответствует двухфотонному поглощению света в CdSnP_2 [1]. Однако, в отличие от [1] для ряда образцов получена зависимость $\Delta n \sim I^3$ (кривая b рис. 3), что соответствует трехфотонному поглощению света.

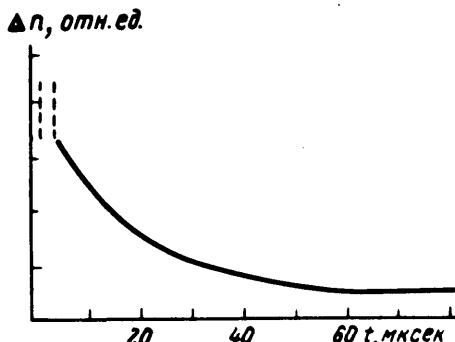


Рис. 2. Кинетика релаксации неравновесных носителей тока в CdSnP_2 при 80°K . Пунктиром обозначен участок, на котором наблюдается неустойчивость фототока

4. Высокочастотные осцилляции тока, наступление которых не связано с превышением некоторого порогового значения постоянного электрического поля, приложенного к образцу, обнаружены, по-видимому, впервые. Очевидно, наблюдаемое явление не связано с классическим эффектом Ганна или генерацией акусто-электрического домена в пьезоэлектрических кристаллах и не имеет

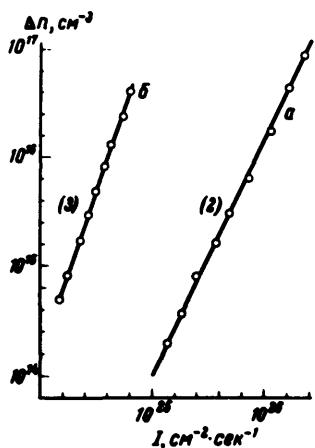


Рис. 3. Зависимость концентрации неравновесных носителей тока Δn от интенсивности возбуждающего света I (логарифмический масштаб):
a — $\Delta n \sim I^2$; b — $\Delta n \sim I^3$. Наклоны прямых указаны в круглых скобках.

близкой аналогии с осцилляциями фототока в CdSnP_2 , описанными в [2]. В качестве возможных причин, приводящих к неустойчивости фототока, отметим так называемую градиентную неустойчивость [3] и генерацию акусто-оптического домена в поле мошной световой волны [4]. Значительные градиенты неравновесных носителей тока по образцу в нашем эксперименте вполне возможны, а в пользу последнего механизма свидетельствует оценка средней скорости электрона $|V_e|$ в поле световой волны: $\epsilon = \epsilon_0 \exp(-i\omega t)$. Действительно, при $I = 2 \cdot 10^{26} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ и $m^* = 0,04 m_e$ скорость электрона

$$|V_e| = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{e\epsilon_0}{m^*\omega} \approx 10^6 \text{ см/сек.}$$

Значение $|V_e|$ превышает скорость зву-

ка и черенковское испускание фононов электронами, по-видимому, имеет место. Известно, что черенковское испускание не является единственной причиной испускания фононов в поле мощной световой волны. Отметим, что указать конкретную причину явления неустойчивости в настоящей стадии эксперимента не представляется возможным.

Результаты эксперимента свидетельствуют в пользу того, что в CdSnP_2 , наряду с двухфотонными [1], возможны и трехфотонные процессы поглощения света (рис. 3). Минимальный зазор E_g между верхней валентной зоной и нижней зоной проводимости в CdSnP_2 составляет $1,21 \text{ эв}$ (80°K), энергия фотона Nd-лазера $\hbar\omega = 1,17 \text{ эв}$. Разность между $2\hbar\omega$ и E_g весьма велика, в то же время анализ зонной структуры CdSnP_2 [5] показывает, что в некоторых точках \mathbf{k} — пространства величина $(3\hbar\omega - \Delta E)$ весьма близка к резонансу (здесь ΔE — энергетический зазор между зонами). Известно, что в теории многофотонных переходов, развитой Коварским [6], выражения для вероятности многофотонного перехода весьма чувствительны к соотношению между энергией фотона и энергией оптического перехода, кроме этого, параметр многофотонной теории ρ_{cv} содержит матричные элементы, а следовательно, и силы осцилляторов соответствующих оптических переходов. По-видимому, вероятность трехфотонного поглощения в полупроводниках со сложной структурой зон может превысить вероятность двухфотонного процесса. Отметим, что подобные аномалии обнаружены недавно в фосфиде галлия [7]. Детальное сопоставление теории и эксперимента затруднено вследствие отсутствия информации о силах осцилляторов соответствующих оптических переходов, а также о вкладе примесных состояний в вероятность многофотонного перехода.

Авторы благодарны Б.А.Коварскому, И.Б.Иоффе и Б.И.Владимирову за полезные дискуссии.

Институт прикладной физики
Академии наук Молдавской ССР

Поступила в редакцию
14 сентября 1970 г.

Литература

- [1] N.A.Goryunova, V.A.Kovalskaya, E.I.Leonov, V.M.Orlov, S.L.Pyshkin, S.I.Radautsan, V.I.Sokolova, N.A.Ferdman. Phys. stat. Sol., (a), 1, 1181, 1970.
- [2] N.A.Goryunova, E.I.Leonov, V.M.Orlov, A.F.Rodionov, V.I.Sokolova, V.P.Sondaevskii. Phys. Lett., 31A, 7, 393, 1970.
- [3] Л.Э.Гуревич, И.Б.Иоффе, Б.И.Шапиро. ФТТ, 11, 1, 167, 1970.
- [4] V.I.Vladimirov, S.L.Pyshkin, N.A.Ferdman. Opto-Electronics, 1, 209, 1969; Phys. Stat. Sol., 39, 207, 1970.
- [5] N.A.Goryunova, A.S.Poplavnoi, Yu. I.Polygalov, V.A.Chaldyshev, Phys. Stat. Sol., 39, 1, 9, 1970.
- [6] Б.А.Коварский. ЖТФ, 57, 12, 1613, 1969; Ф.М.Ашкинадзе, А.И.Борышева, Е.Б.Битину, Б.А.Коварский, А.Б.Леляков, С.А.Москаленко, С.Л.Пышкин, С.И.Радаушан. Труды 9-ой Междунар. конф. по физике полупроводников, 1, 200, М., Изд. Наука, 1969.
- [7] S.L.Pyshkin, N.A.Ferdman, S.I.Radautsan, V.A.Kovarsky, E.V.Viticiu. 6th IQEC (Kyoto 1970), Thesis, Opto-Electronics, 1970 (in press).