

## НАКОПЛЕНИЕ И ВРЕМЯ РЕЛАКСАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ФОТОЭФФЕКТЕ В $Pb_{0,78}Sn_{0,22}Te$

*Б.А.Вул, И.Д.Воронова, С.П.Гришечкина,  
Т.Ш.Рагимова*

В  $Pb_{0,78}Sn_{0,22}Te$  были изучены процессы накопления электронов, возбужденных светом, и определены времена релаксации. В исследованном полупроводнике проявляются в простейшей форме элементарные закономерности внутреннего фотоэффекта.

Предварительные исследования показали, что примесь индия в твердом растворе  $Pb_{1-x}Sn_xTe$  может заметно влиять на его свойства [1, 2]. В частности, было установлено, что при температурах  $T < 20$  К электропроводность этого материала становится высокочувствительной к освещению. Возбужденная светом электропроводность длительно сохраняется и после выключения света.

В данной статье приводятся результаты исследований, полученные на образцах, в которых количество неконтролируемых примесей не превышало 0,1 ат.%. В исследованном материале при  $T = 77$  К концентрация электронов  $n = 7,4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . По своим электрофизическим свойствам этот материал практически не отличался от изученного ранее с примесью индия [1, 3].

Остаточная фотопроводимость, наблюдаемая в этих материалах, очевидно связана с необычно большим временем релаксации электронов, возбужденных светом. Из этого следует, что в облученном образце должны накапливаться носители тока. При отсутствии других процессов, влияющих на время релаксации  $\tau$ , изменение концентрации  $n$  неравновесных электронов со временем  $t$ :

$$\frac{dn}{dt} = g - \frac{n}{\tau},$$

где  $g$  — интенсивность генерации электронов светом. При начальном условии  $n|_{t=0} = 0$ :

$$n = g\tau \left(1 - e^{-t/\tau}\right). \quad (1)$$

Если время наблюдения  $t \ll \tau$ , то  $n \approx gt$  — концентрация электронов линейно возрастает со временем, а вместе с ней также и величина фототока. Так как измерения были проведены при  $T = 4,2$  К, темновым током можно пренебречь по сравнению с фототоком. Из-за большого коэффициента поглощения интенсивность света сильно убывает с глубиной проникновения, поэтому целесообразно перейти от локальных свойств материала к интегральной характеристике образца — зависимости полного тока от времени [4].

Таким образом, если исходные предпосылки верны, то фототок должен линейно возрастать со временем. Измерения были проведены в жидком гелии при облучении образца полупроводниковым источником све-

та с длиной волны 5,3 мкм. Источник света и образец помещались внутри закрытого сосуда, непроницаемого для наружного освещения. Осветитель находился на расстоянии от образца около 3 – 4 мм. Результаты измерения фототока в процессе длительного облучения до 200 мин приведены на рис.1. Как видно из этих данных, после краткого начального периода наблюдается линейный рост фототока со временем, а затем при достаточно большом времени происходит отклонение от линейного роста, как и следует ожидать из (1). Для более детального рассмотрения начального этапа роста фототока были проведены измерения при сравнительно небольших длительностях и разной интенсивности облучения. Результаты измерения приведены на рис.2. На вставке этого рисунка показана аналогичная зависимость для образца с примесью индия. Как видно из приведенных данных, исходная модель для расчета фототока становится применимой не сразу после включения освещения,

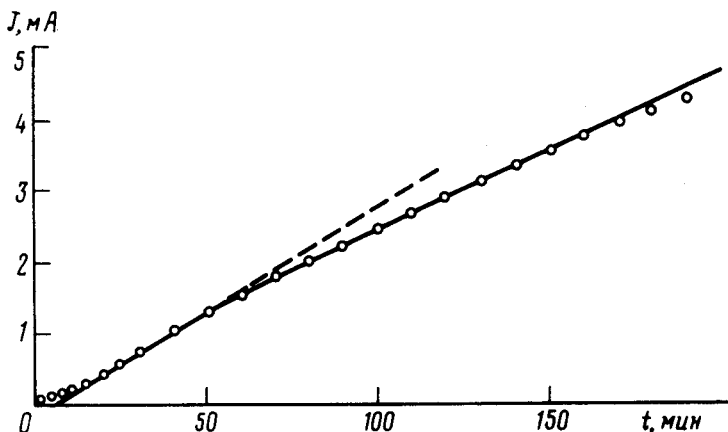


Рис.1. Зависимость фототока  $J$  от длительности освещения  $t$ : точки – экспериментальные данные, сплошная линия – расчет по (1) при  $\tau = 8$  час

а спустя некоторое время, которое, по-видимому, необходимо для того, чтобы при данной интенсивности заполнить определенное число центров прилипания, имеющих в объеме и на поверхности полупроводника. Как и следовало ожидать, чем выше интенсивность облучения, тем круче, согласно (1), возрастает фототок со временем, а так как число центров прилипания в образце ограничено, то переход к линейной зависимости устанавливается через более короткий промежуток времени после начала облучения. Начальный этап роста фототока до заполнения центров прилипания будет исследован в дальнейшем, а сейчас приведем результаты измерений для определения времени релаксации.

Согласно исходной модели расчета, фототок после выключения освещения должен уменьшаться по закону

$$J = J_0 e^{-t/\tau} \quad (2)$$

где  $J_0$  — ток в момент выключения света,  $t$  — время, прошедшее после выключения света. Результаты соответствующих измерений приведены на рис.3 в виде зависимости  $\ln J = f(t)$ . После выключения света ожидаемая экспоненциальная зависимость уменьшения тока со временем также устанавливается не сразу, а через короткое время после конца облучения. Этот переходный процесс видимо связан с образованием объемного заряда при установлении фототока и также будет исследован в дальнейшем. По окончании переходного процесса уменьшение остаточного фототока, как видно из рис.3, происходит по экспоненте со временем релаксации  $\tau$  порядка 6 час.

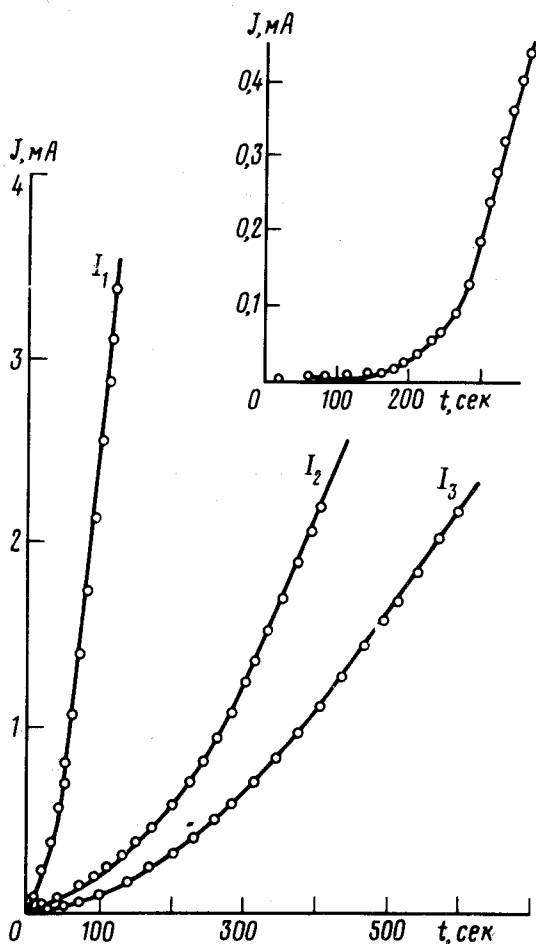


Рис.2. Кривые 1, 2, 3 — зависимость фототока от времени  $t$  при интенсивности облучения  $I_1 > I_2 > I_3$ . На вставке —  $J = \phi(t)$  для образца с примесью индия  $Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te + 0,5 \text{ ат.}\% \text{ In}$

Как следует из (1), время релаксации  $\tau$  можно установить также по измерениям фототока при освещении образца в течение достаточно длительного времени  $t \approx \tau$ . Результаты таких измерений приведены на рис.1. Как видно, близкое согласие с (1), получается при значении  $\tau = 8$  час.

При измерении фототока возникали резкие изменения и колебания величины тока при постоянном на измерительной схеме напряжении. По-видимому, причиной неустойчивости тока служит возникновение в цепи отрицательного сопротивления, поскольку рост тока со временем облучения сопровождается уменьшением напряжения непосредственно на образце. При измерениях же остаточного тока уменьшение тока со временем сопровождается увеличением напряжения на образце. Если проводить измерения при достаточно малом постоянном напряжении, то эффекты неустойчивости тока можно устранить.

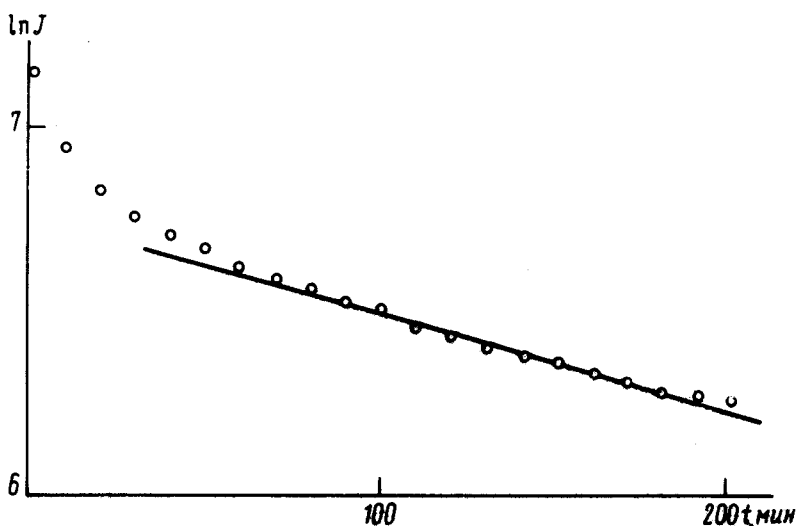


Рис.3. Зависимость остаточного тока от времени после выключения света

Особенности структуры полупроводника, могущие служить причиной остаточной фотопроводимости, рассмотрены в работах [ 5 – 7 ].

Авторы выражают благодарность А.П.Шотову за обсуждение результатов и В.М.Сальману за исследования на рентгеноспектральном микроанализаторе.

Физический институт  
им. П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
13 февраля 1981 г.

### Литература

- [ 1 ] Б.М.Вул, И.Д.Воронова, Г.А.Калюжная, Т.С.Мамедов, Т.Ш.Рагимова. Письма в ЖЭТФ, **29**, 21, 1979.
- [ 2 ] Б.А.Акимов, Н.Б.Брандт, Л.И.Рябова, Д.Р.Хохлов. Препринт №1/1980 МГУ, М., 1980.

- [ 3 ] Б.М.Вул, И.Д.Воронова, Г.А.Калюжная, Т.Ш.Рагимова, А.П.Шотов. Тезисы докл. на II Всесоюзном совещании по глубоким уровням в полупроводниках, Ташкент, 1980, стр.100.
- [ 4 ] С.М.Рывкин, Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М., Физматгиз, 1963.
- [ 5 ] Б.А.Волков, В.В.Осипов, О.А.Панкратов. ФТП, 14, 1387, 1980.
- [ 6 ] Ю.Каган, К.А.Кикоин. Письма в ЖЭТФ, 31, 367, 1980.
- [ 7 ] В.С.Виноградов, И.Д.Воронова, Г.А.Калюжная, Т.Ш.Рагимова, А.П.Шотов. Письма в ЖЭТФ, 32, 22, 1980.
-