

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО GeS

И. П. Акимченко, В. С. Вавилов, А. Груба <sup>ж)</sup>, Г. К. Расулова

УДК 621.315.592

Исследованы спектры фотопроводимости и фото-ЭДС кристаллического GeS p-типа при 300 и 100 К в области длин волн 0,5–5 мкм. В примесной области спектра обнаружены переходы при энергиях 0,33; 0,38; 0,5; 0,62; 1,18 и 1,66 эВ. Один из дефектов является многозарядным с уровнем  $E_v + 0,27$  эВ, соответствующим однократно отрицательно заряженному состоянию. Обнаружена анизотропия дефектов, обусловленная слоистостью материала.

Исследованию физических свойств кристаллического GeS посвящено сравнительно небольшое количество работ. Наиболее полно исследованы его оптические свойства в области энергий кванта 0,04–4 эВ (коэффициент преломления, спектры пропускания, отражения /1/, спектры поглощения вблизи края фундаментального поглощения /2/). Фотоэлектрические свойства GeS практически не изучены. Лишь в работе /3/ приводятся данные о собственной фотопроводимости при 300 К кристаллического и стеклообразного GeS.

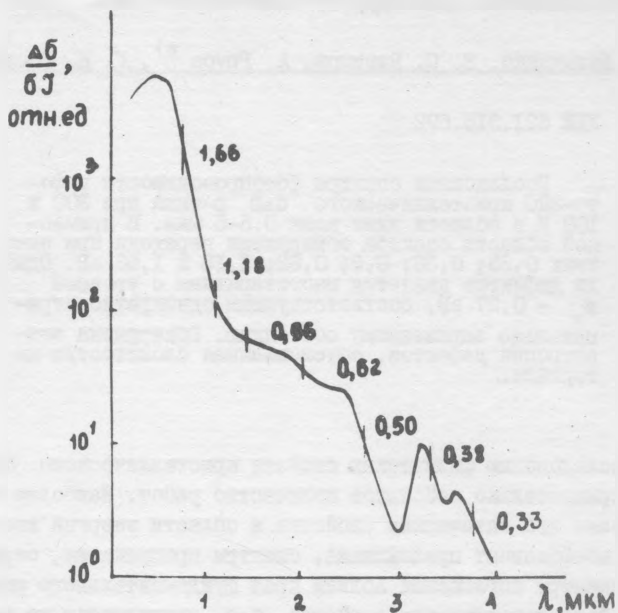
Целью настоящей работы было исследование примесной фотопроводимости кристаллического GeS, выращенного методом сублимации на холодной подложке в атмосфере  $H_2 - H_2S$  в присутствии паров  $J_2$ . Из измерений электрических свойств ранее было установлено, что эти кристаллы обладают дырочной проводимостью с малой темновой концентрацией носителей тока. Обнаружен также уровень с энергией 0,4 эВ, причем предполагается, что обусловлен он либо дефектами, либо отклонением от стехиометрии /4/.

Кроме фотопроводимости, исследовалось ее гашение и спектраль-

<sup>ж)</sup> Институт физики твердого тела АН ЧССР, г. Прага.

ная зависимость фото-ЭДС, снятая в режиме холостого хода.

Спектры фотопроводимости измерялись на переменном токе в области длин волн 0,5–5 мкм при 300 и 100 К. Вследствие того, что



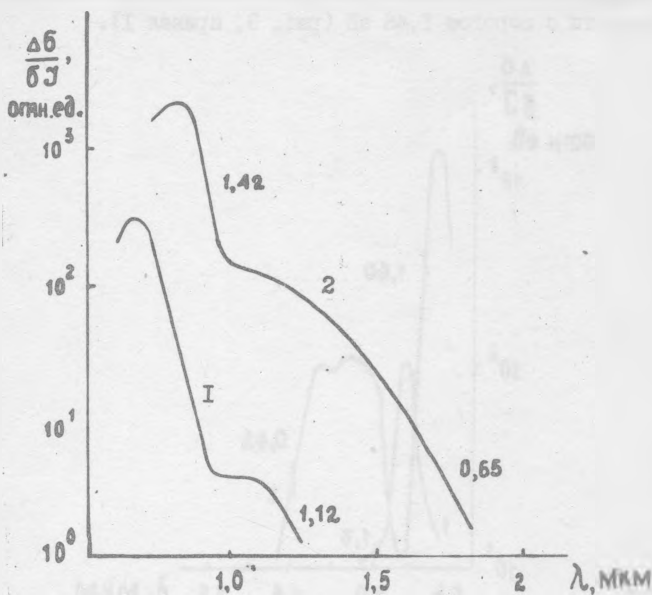
Р и с. 1. Спектр фотопроводимости GeS,  $T = 100$  К, JLE, E1(b), энергии уровней указаны в эВ

расслоение кристалла наиболее легко происходит вдоль слоев, перпендикулярных  $b$ -оси, измерения проводились на свежей поверхности, для получения невыпрямляющих контактов к которой использовалась эвтектика Jn-Ga. Измерения проводились в неполяризованном свете в нескольких вариантах: 1) JLE, E1(b), JLE, 2) JLE, E1(b); 3) JLE, E1(b), где J - ток, E - световой поток, (b) - плоскость кристалла).

Полученные нами результаты сводятся к следующему:

1. При JLE, E1(b) кристаллический GeS фоточувствителен в примесной области спектра, начиная с 4 мкм при 100 К (рис. 1).

В спектре фотопроводимости наблюдаются переходы с нескольких уровней. Оценка энергетических положений уровней по половине высоты ступеньки сигнала дает следующие значения энергий: 0,33; 0,38; 0,5; 0,62; 1,18; 1,66 эВ.



Р и с. 2. Спектры фотопроводимости  $\text{GeS}$  при 100 К, 1)  $\text{JLE}$ ,  $\text{EII}(b)$ , 2)  $\text{JLE}$ ,  $\text{EII}(b)$

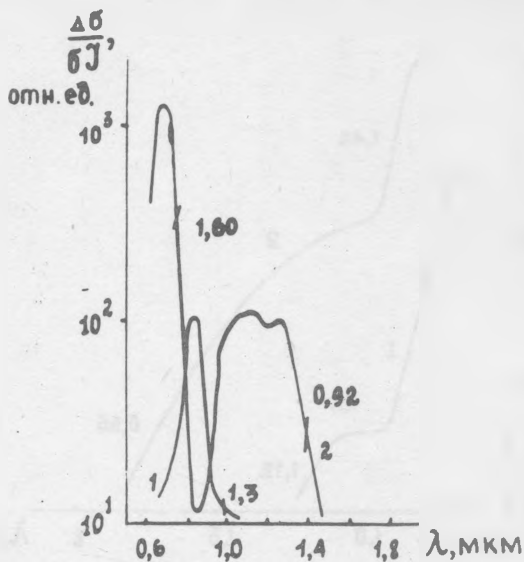
2. При  $\text{JLE}$ ,  $\text{EII}(b)$  и 100 К кристаллы фоточувствительны, начиная с 2 мкм. В примесной области спектра имеются переходы при 0,65 и 1,42 эВ (рис. 2, кривая 2).

3. При  $\text{JLE}$ ,  $\text{EII}(b)$  в спектре фотопроводимости наблюдается переход при 1,12 эВ (рис. 2, кривая 1).

4. Форма спектра фотопроводимости зависит от положения квази-уровня Ферми: при малых интенсивностях освещения при 100 и 300 К в области 0,9–0,8 мкм наблюдается уменьшение сигнала фотопроводимости, вызванное либо конкурирующим процессом поглощения,

идущим без фотоионизации, либо процессом рекомбинации, приводящим к уменьшению концентрации носителей (рис. 3, кривая 2).

5. При освещении образца белым немодулированным светом и модулированным монохроматическим пучком имеет место гашение фотопроводимости с порогом 1,46 эВ (рис. 3, кривая 1).



Р и с. 3. Спектр гашения фотопроводимости (кривая 1) и спектр фотопроводимости GeS при малых интенсивностях освещения (кривая 2),  $T = 100 \text{ K}$

6. Фото-ЭДС при 300 K наблюдается в области от 1,9 до 0,8 мкм. Спектр фото-ЭДС имеет резко выраженную длинноволновую границу и довольно широкое плато в коротковолновой области. При 100 K сигнал фото-ЭДС наблюдается лишь в собственной области спектра, причем его величина в максимуме на 2 порядка меньше, чем при комнатной температуре.

7. Освещение образца светом из области собственного поглощения приводит к инверсии типа проводимости образца (с р на n-тип).

Полученные данные (пункты 1, 2 и 3) указывают на проявляющуюся в неполяризованном свете пространственную ориентацию дефектов, ответственных за примесную фотопроводимость, а также на существование в материале многозарядных центров (пункты 5 и 7). Тот факт, что при освещении белым светом проводимость образца становится электронного типа, позволяет сделать вывод о том, что наблюдаемое оптическое гашение фотопроводимости при энергии 1,46 эВ связано с многозарядным центром, один из уровней которого (для однократно заряженного состояния) расположен в нижней половине запрещенной зоны ( $E_v + 0,27$  эВ).

Появление сигнала фото-ЭДС при 300 К в примесной области спектра, длинноволновая граница которого соответствует переходам электронов с уровня 0,65 эВ, связано с генерацией неосновных носителей.

Фото-ЭДС в собственной области спектра, вероятно, обусловлена возникновением  $n$ - $r$  перехода за счет инверсии типа проводимости, поскольку толщина слоя, в котором идет поглощение света, меньше толщины образца (соответственно около 200 мкм и 1 мм). Значительно меньшее значение фото-ЭДС при 100 К по сравнению с 300 К может быть связано с существенным уменьшением подвижности носителей тока, происходящим в результате рассеяния на многозарядных центрах.

Проведенные измерения позволили определить ширину запрещенной зоны GeS, которая равна 1,68 эВ при 300 К и 1,74 эВ при 100 К. Кроме того, по кривой спектральной зависимости фотопроводимости и фото-ЭДС оценена диффузионная длина неосновных носителей  $L^*$ . В той точке кривой, где величина фоточувствительности в 2 раза меньше максимальной  $1/5 \alpha = 1/L^*$ , где  $\alpha$  — коэффициент поглощения при соответствующей энергии. При 100 К  $L^*$  составляет около 1–3 мкм.

Таким образом, исследования фотоэлектрических свойств слоистого GeS показали, что в этом материале а) некоторые дефекты анизотропны, что проявляется в неидентичности спектров фотопроводимости, снятых в различных конфигурациях опыта; б) существует несколько уровней, обусловленных дефектами акцепторного типа, расположенных в нижней половине запрещенной зоны; в) один из дефектов является многозарядным центром, который в однократно заряженном состоянии вносит в запрещенную зону уровень  $E_v + 0,27$  эВ.

Авторы признательны М. Заветовой за содействие в проведении данной работы.

Поступила в редакцию  
24 августа 1978 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. I. Gregora, B. Velicky, M. Zavetova, J. Phys. Chem. Solids, 37, 785 (1976).
2. I. D. Wiley, A. Breitschewerdt, E. Schonherr, Solid State Commun., 17, 355 (1975).
3. L. Štourač, A. Abraham, T. Šimeček, Thin Solid Films, 31, 47 (1976).
4. L. Štourač, A. Abraham, I. Gregora, B. Velicky, M. Zavetova, Proceedings of the 13 Intern. Conf. on the Physics of Semiconductors (Rome, 1976, p. 423).
5. T. S. Moss, J. Electronics, 1, 126 (1955).