

как это и требуется для интерпретации результатов по низкотемпературному облучению германия [1, 2, 10].

С другой стороны, оценка показала, что среднее гидростатическое давление, создаваемое вакансией (независимо от ее зарядового состояния), приблизительно в 20 раз меньше, и, следовательно, нельзя ожидать существенного сдвига энергетических состояний межузельного атома вблизи вакансии.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Емцев В. В., Витовский Н. А., Машовец Т. В. // ФТП. 1987. Т. 12. В. 1. С. 145—149.
- [2] Емцев В. В., Дабагян А. В., Витовский Н. А., Машовец Т. В. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 5. С. 924—926.
- [3] Теодосиу К. Упругие модели дефектов в кристаллах. М., 1985. 352 с.
- [4] Коган Ш. М. // ФТТ. 1963. Т. 5. В. 10. С. 2829—2831.
- [5] Иденбом В. Л., Логинов Е. Б., Осипов М. А. // Кристаллография. 1981. Т. 26. В. 6. С. 1157—1162.
- [6] Семенов А. К., Назарчук П. Ф. // ФТП. 1985. Т. 19. В. 7. С. 1331—1333.
- [7] Лебедев А. А., Султанов Н. А. // Препринт ФТИ им. А. Ф. Иоффе АН СССР. Л. 1986. № 1080.
- [8] Лебедев А. А., Султанов Н. А., Экке В. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 2. С. 321—324.
- [9] Семенов А. К., Панкевич З. В., Федосов А. В., Доскоч В. П. Радиационные дефекты в полупроводниках. Минск, 1972. 284 с.
- [10] Calcott T. A., MacKay J. W. // Phys. Rev. 1967. V. 161. N 3. P. 689—710.

Физико-технический институт  
им. А. Ф. Иоффе АН СССР  
Ленинград

Получено 27.06.1988  
Принято к печати 26.07.1988

*ФТП, том 23, вып. 1, 1989*

## ПРИМЕСНЫЕ СОСТОЯНИЯ ТАЛЛИЯ В СУЛЬФИДЕ СВИНЦА ПО ДАННЫМ ИК ПОГЛОЩЕНИЯ

Вейс А. Н., Крупицкая Р. Ю.

Авторы работы [1] на основании сравнения электрофизических и оптических данных для  $\text{PbTe}\langle\text{Tl}\rangle$  с привлечением результатов исследования ЭПР предположили, что примесь Tl в теллуриде свинца является центром с отрицательной корреляционной энергией. Одним из аргументов, свидетельствующих о необходимости радикального пересмотра существующих представлений о таллии [2], явилась отмеченная в [1] значительная разница между термической  $E_0^{\text{тер}}$  (определяемой из величины энергии Ферми в режиме пиннинга  $E_F^*$ ) и оптической  $E_0^{\text{оп}}$  энергиями примесного уровня. Однако в  $\text{PbTe}\langle\text{Tl}\rangle$  заметное влияние на величину  $E_F^*$  оказывает не только перезарядка примесных центров, но и заполнение дырками тяжелого экстремума валентной зоны, вершина которого расположена вблизи  $E_F^*$ . В связи с этим объектом исследований в настоящей работе служит  $\text{PbS}\langle\text{Tl}\rangle$ , в котором величина  $E_F^*$  определяется только свойствами примесных центров (энергетический зазор между неэквивалентными экстремумами валентной зоны  $\Delta E_v$  в PbS является наибольшим среди всех халькогенидов свинца, приблизительно вдвое превышающим  $E_F^*$ ).

По причинам, изложенным в [1], полученные ранее значения  $E_0^{\text{оп}}$  в  $\text{PbS}\langle\text{Tl}\rangle$  [3] не могут быть использованы для сравнения с  $E_F^*$ . Поэтому в настоящей работе были выполнены новые исследования спектров коэффициента поглощения  $\alpha(\hbar\omega)$  в  $\text{PbS}\langle\text{Tl}\rangle$  с различными концентрациями таллия  $N_{\text{Tl}}$  и степенью компенсации его акцепторного действия собственными дефектами (это достигалось введением в шихту сверхстехиометрического свинца  $\text{Pb}_{\text{изб}}$ ). Роль собственных дефектов в формировании спектров  $\alpha(\hbar\omega)$  в  $\text{PbS}\langle\text{Tl}\rangle$  была выяв-

лена при сопоставлении свойств  $\text{PbS}\langle\text{Tl}, \text{Pb}_{\text{изб}}\rangle$  и  $\text{PbS}\langle\text{Na}, \text{Pb}_{\text{изб}}\rangle$ . Обоснование указанного метода содержится в [1, 4].<sup>1</sup>

Экспериментальные результаты показаны на рис. 1. Видно, что в спектрах  $\alpha(\hbar\omega)$   $\text{PbS}\langle\text{Tl}, \text{Pb}_{\text{изб}}\rangle$ , как и в  $\text{PbTe}\langle\text{Tl}, \text{Pb}_{\text{изб}}\rangle$  [1], содержатся две колоколообразные полосы дополнительного поглощения  $\alpha_0$  и  $\alpha_1$ , обозначенные на рис. 1 стрелками. Форма полос свидетельствует об их связи с оптическими переходами электронов из квазилокальных уровней  $E_0, E_1$  в разрешенные состояния валентной зоны (см. схему на рис. 1). В спектре  $\alpha(\hbar\omega)$   $\text{PbS}\langle\text{Tl}\rangle$  с холловской концентрацией дырок  $p_x \approx N_{\text{Tl}}$  остается только одна полоса  $\alpha_0$ , тогда как замена таллия на натрий приводит к исчезновению полос  $\alpha_0$  из спектров коэффициента поглощения, увеличению интенсивности  $\alpha_1$  (в экспериментах были использованы образцы с  $N_{\text{Na}} > N_{\text{Tl}}$ ) и появлению полос  $\alpha_2$ , обладающих резкой красной границей  $E_{\text{кр}}$ .

Сопоставление результатов, полученных в  $\text{PbS}\langle\text{Tl}\rangle$  и  $\text{PbS}\langle\text{Na}, \text{Pb}_{\text{изб}}\rangle$ , с данными для  $\text{PbS}\langle\text{Tl}, \text{Pb}_{\text{изб}}\rangle$  позволяет связать компоненту  $\alpha_0$  дополнительного поглощения с примесью таллия, а полосу  $\alpha_1$  — с собственными дефектами донорного ти-

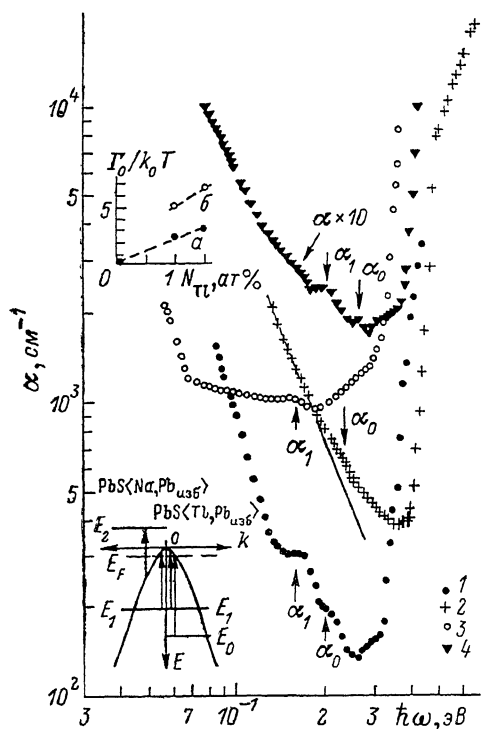


Рис. 1. Спектральные зависимости коэффициента поглощения.

1, 2 —  $\text{PbS}$  (0,25 ат%  $\text{Tl}$ ,  $\text{Pb}_{\text{изб}}$ ), 3 —  $\text{PbS}$  (0,1 ат%  $\text{Tl}$ ), 4 —  $\text{Pb}_{0,99}\text{Na}_{0,01}\text{S}$  ( $\text{Pb}_{\text{изб}}$ ).  $p_x \cdot 10^{-18}$ ,  $\text{см}^{-3}$ : 1 — 9, 2 — 18, 3 — 0,45, 4 — 3,9.  $T$ , К: 1, 3 — 90; 2, 4 — 300. На вставках — энергетическая схема  $\text{PbS}$  и зависимость ширины примесных полос от  $N_{\text{Tl}}$  в  $\text{PbTe}\langle\text{Tl}\rangle$ .  $p_x \cdot 10^{-19}$ ,  $\text{см}^{-3}$ :  $a$  — 0,4,  $b$  — 4 ÷ 6.

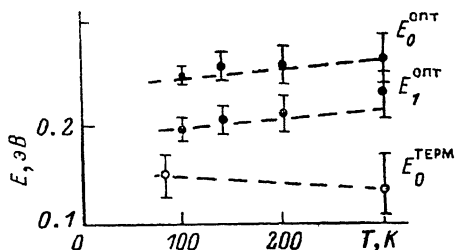


Рис. 2. Температурные зависимости оптических энергий уровней  $E_0$  и  $E_1$  в сравнении с данными [7] для  $E_0^{\text{терм}}$  в  $\text{PbS}\langle\text{Tl}\rangle$ .

па. Составляющая  $\alpha_2$  дополнительного поглощения наблюдалась в  $\text{PbS}$  и ранее [5] и была приписана комплексам, энергетические уровни которых ( $E_2$ ) расположены в нижней половине запрещенной зоны.

Таким образом, в настоящих исследованиях, как и в [1], благодаря уменьшению  $N_{\text{Tl}}$  и снижению температуры эксперимента удалось наблюдать тонкую структуру полос в  $\text{PbS}\langle\text{Tl}, \text{Pb}_{\text{изб}}\rangle$ , разделить вклады в зависимости  $\alpha(\hbar\omega)$  со стороны таллия и собственных дефектов и уточнить тем самым величины  $E_0^{\text{opt}}$ . Ранее [3, 5] в рассматриваемой спектральной области при 300 К наблюдались широкие бесструктурные полосы поглощения, которые и были связаны с таллием.

Определение энергетического положения квазилокальных полос было произведено по методу, подробно описанному в [6]. Полученные при этом результаты показаны на рис. 2 в сравнении с величинами  $E_0^{\text{терм}}$ , взятыми из [7]

<sup>1</sup> В работе [4] при обозначении энергий уровней и соответствующих им полос поглощения на рис. 1, 2 авторами допущена ошибка. В соответствии с текстом вместо энергии  $E_2$  должна быть  $E_1$ , вместо  $E_1$  —  $E_2$ , вместо  $E_2$  —  $E_3$ .

(в [7] было принято  $E_0^{\text{терм}} = E_F^*$ ). Как видно из рис. 2, разница между  $E_F^*$  и  $E_0^{\text{ит}}$  в  $\text{PbS}\langle\text{Tl}\rangle$  оказалась существенно большей, чем в теллуриде свинца, легированном таллием [1], и достигала 100 мэВ. Полученный результат согласуется с предположением [1] о таллии как о центре с отрицательной корреляционной энергией.

Не останавливаясь на обсуждении механизмов, приводящих к возникновению в халькогенидах свинца, легированных таллием, центров с отрицательной корреляционной энергией (альтернативные модели предложены в [8, 9]), отметим, что в рамках обсуждаемого предположения находят простое объяснение существенные различия между  $E_F^*$  и  $E_0^{\text{ит}}$ , жесткая стабилизация энергии Ферми в  $\text{PbTe}\langle\text{Tl}\rangle$  полосами, ширина которых достигает  $5k_0T$  [10], наблюдаемая в  $\text{PbTe}\langle\text{Tl}\rangle$  аномальная зависимость ширины полос, связанных с таллием,  $G_0$  от концентрации введенной примеси (рис. 1), а также отсутствие сигнала ЭПР [1].

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Вейс А. Н., Кайданов В. И., Крупицкая Р. Ю. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 2. С. 349—352.
- [2] Кайданов В. И., Равич Ю. И. // УФН. 1985. Т. 145. В. 1. С. 51—86.
- [3] Вейс А. Н., Кайданов В. И., Немов С. А. // ФТП. 1980. Т. 14. В. 6. С. 1054—1058.
- [4] Вейс А. Н., Крупицкая Р. Ю., Лумер А. В. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 8. С. 1514—1516.
- [5] Вейс А. Н., Кайданов В. И., Крупицкая Р. Ю., Мельник Р. Б., Немов С. А. // ФТП. 1980. Т. 14. В. 12. С. 2349—2356.
- [6] Вейс А. Н., Прокофьева Л. В. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 4. С. 743—746.
- [7] Кайданов В. И., Мельник Р. Б., Немов С. А. // ФТП. 1979. Т. 13. В. 5. С. 1011—1014.
- [8] Волков Б. А., Тугушев В. В. // Письма ЖЭТФ. 1987. Т. 46. В. 5. С. 193—196.
- [9] Дробкин И. А., Мойжес Б. Я. // ФТП. 1981. Т. 15. В. 4. С. 625—648.
- [10] Кайданов В. И., Немов С. А., Равич Ю. И., Зайцев А. М. // ФТП. 1983. Т. 17. В. 9. С. 1613—1617.

Ленинградский политехнический институт  
им. М. И. Калинина

Получено 2.07.1988  
Принято к печати 26.07.1988

*ФТП, том 23, вып. 1, 1989*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА В РАСПЛАВАХ АНТИМОНИДОВ ГАЛЛИЯ И ИНДИЯ

Глазов В. М., Ким С. Г., Сулейменов Т.

Анализ температурной зависимости вязкости и плотности расплавов антимонидов галлия и индия с привлечением теории активированного комплекса и уравнения Бачинского [1] показал, что процесс радикальной перестройки структуры у этих веществ не завершается в процессе фазового перехода кристалл—расплав при температуре плавления, а продолжается на некотором интервале температур при нагревании расплава. Это явление получило название «послеплавления». Результаты исследований температурной зависимости скорости распространения ультразвука и адиабатической сжимаемости подтверждают наличие явления послеплавления у данных веществ [2].

В деле дальнейшего накопления фактического материала об этом интересном явлении и для более углубленного его понимания представляет интерес исследование поглощения энергии упругих волн в рассматриваемых расплавах.

Трудности экспериментального плана пока не позволяли ставить такую задачу. Поэтому нами были предварительно проведены работы по созданию надежной методики измерения и апробированию ее на примере расплава германия, которые достаточно подробно описаны в [3]. Для решения задачи, поставленной