

Math-Net.Ru

All Russian mathematical portal

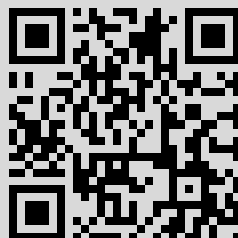
N. N. Syrbu, I. G. Stamov, S. I. Radautsan, Fine structure of absorption lines in crystals of ZnP_2 of monoclinic modification, *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1982, Volume 262, Number 5, 1138–1142

Use of the all-Russian mathematical portal Math-Net.Ru implies that you have read and agreed to these terms of use
<http://www.mathnet.ru/eng/agreement>

Download details:

IP: 178.168.20.213

December 29, 2020, 15:36:43



или 7,5 ат.% As на подвижной металлической поверхности с комнатной температурой, т.е. не оптимальных по составу сплавов, и до не оптимальной температуры охлаждения. Условия закалки оказывают существенное влияние на достигаемый эффект изменения T_K . Например, максимальная T_K медленно охлажденных сплавов свинца с оловом не превышает 7,3 К, при охлаждении расплавов со скоростью 10^6-10^8 К/с на металлической поверхности с комнатной температурой — повышается до 7,5 К, а при тех же скоростях охлаждения на металлической поверхности, охлажденной жидким азотом (77–100 К), — до 7,8 К.

Способность свинца к самопроизвольному отпуску при комнатной температуре [2] обуславливает сравнительно быстрый возврат свойств чистого свинца после быстрой закалки; также даже небольшой нагрев (например, до 373 К) быстрозакаленных двойных сплавов, вызывая распад метастабильных твердых растворов, в большинстве случаев приводит к сравнительно быстрому возврату исходных T_K (рис. 2). Повышение T_K наблюдается только у твердых растворов свинца с непереходными металлами IV и V групп Периодической системы. К уже указанным выше элементам (Bi, Sn), повышающим T_K свинца в равновесном и быстрозакаленном состояниях, присоединяются еще кремний и германий, т.е. элементы, находящиеся в той же, что и свинец, группе Периодической системы, но более отличающиеся от него по свойствам (по сравнению с Sn).

Институт металлургии им. А.А. Байкова
Академии наук СССР, Москва

Поступило
22 VI 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. Roberts B.W. — J.Phys.Chem.Ref.Data, 1976, vol. 5, № 3, p. 581.
2. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов. М.: ГНТИЛЧДМ, 1962.
3. Эллиот Р.П. Там же. М.: Металлургия, 1970.
4. Шланк Ф. Там же, 1973.
5. Gschneidner K.A., McMasters O.D. — Monatsh.Chem., 1971, Bd. 102, H. 5, p. 1499.
6. El-Bodary M., Chand J.K., Mayer H.W., Schubert K. — Z.Metallkunde, 1972, Bd. 63, H. 11, p. 751.
7. Ray R., Hahn S.H., Giessen B.C. — Acta Metallurg., 1972, vol. 20, № 12, p. 1335.
8. Nembarch E. — J.Phys.Chem.Solids, 1968, vol. 29, p. 1205.
9. Fromm E., Gebhardt E. Gase und Kohlenstoff in Metallen. В.; N.Y.: Springer-Verlag, 1976.
10. Tsuei C.C., Johnson W.L. — Phys.Rev., 1974, vol. B9, p. 4742.

УДК 535.373.2

Ф И З И К А

Н.Н. СЫРБУ, И.Г. СТАМОВ, академик АН МССР С.И. РАДАУЦАН

ТОНКАЯ СТРУКТУРА ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ ZnP_2 МОНОКЛИННОЙ МОДИФИКАЦИИ

В настоящей работе исследованы спектры поглощения в кристаллах $ZnP_2-C_{2h}^5$, состоящие из девяти линий, укладывающихся в обратную водородоподобную серию, и шести линий, сходящихся в коротковолновую сторону. Спектры обнаруживаются при 78,5 К и исчезают при температуре 230 К. Линии серии содержат тонкую структуру (далее будут называться компонентами), также укладывающуюся в сериальную водородоподобную зависимость. Компоненты сходятся в коротковолновую сторону спектра.

Оптические свойства монокристаллов ZnP_2 изучались в работах [1–5], в которых исследованы спектры поглощения, отражения и люминесценции в области

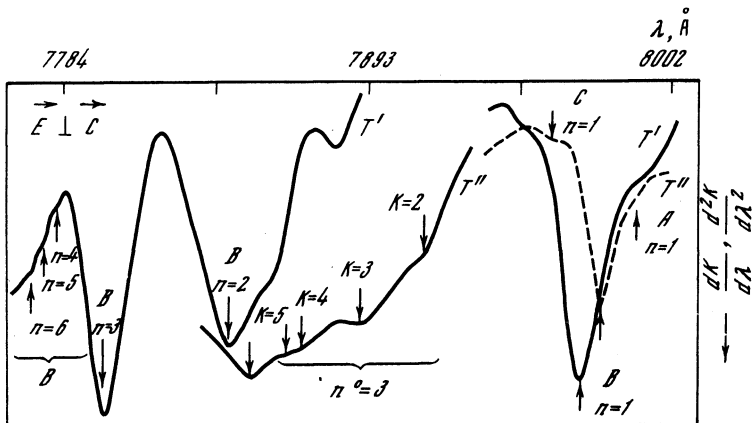


Рис. 1. Модулированные по длине волны спектры поглощения монокристаллов $ZnP_2 \cdot C_{2h}^5$ в поляризации $E \perp C$ в области 7000–8000 Å (T' , T'' – первая и вторая производные по λ)

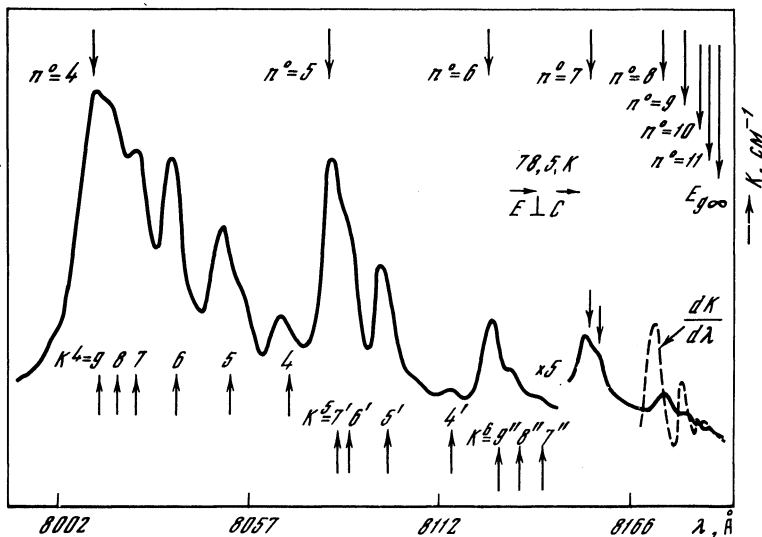


Рис. 2. Тонкая структура обратной водородоподобной серии и ее компонент в кристаллах ZnP_2

края фундаментального поглощения. Однако водородоподобность спектров не обнаружена.

На рис. 1 показана первая (T') и вторая (T'') производные по длине волны спектров поглощения кристаллов $ZnP_2 \cdot C_{2h}^5$ в поляризации $E \perp C$ при 78,5 К в области 8000–7700 Å. В спектрах разрешены линии $n = 1, \dots, 6$ (табл. 1) и $K = 2, \dots, 5$. Обнаруженные линии описываются водородоподобной серийной зависимостью с постоянной Ридберга 0,0634 эВ и $E_g = 1,5945$ эВ при 78,5 К (условно серия В).

Приведенная эффективная масса $\mu = 0,437 m_0$, а температурный коэффициент смещения $\Delta E_g / \Delta T = 0,09 m$, эВ/К. В области 8000–8225 Å обнаруживается другая серия, состоящая из 9 (для некоторых образцов из 10) линий, сходящихся к некоторой пороговой энергии $E_g^\infty = 1,5019$ эВ при 77 К и 1,5058 эВ при 78,5 К. Линии описываются выражением

$$E_K = 1,5058 + \frac{0,6955}{n^2}, \text{ эВ.}$$

Таблица 1

Энергии экситонных переходов в кристаллах $ZnP_2 \cdot C_{2h}^5$, определенных по поглощению в поляризации E1 C

| Серия | 90 К | | 78,5 К | | | |
|-------------------------------------|---------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------|----------------|
| | Зона | $E_{\text{эксп}}$, эВ | $E_{\text{эксп}}$, эВ | $E_{\text{расч}}$, эВ | ΔE , мэВ | R, E_g |
| $B\left(\frac{dR}{d\lambda}\right)$ | $n = 1$ | 1,5524 | 1,5562 | 1,5311 | 25,1 | $R = 0,0634,$ |
| | 2 | 1,5750 | 1,5786 | 1,5786 | 0 | $E_g = 1,5945$ |
| | 3 | 1,5852 | 1,5874 | 1,5874 | 0 | |
| | E_g | 1,5934 (расчет) | | 1,5945 | | |
| $B\left(\frac{dK}{d\lambda}\right)$ | $n = 1$ | | 1,5556 | 1,5288 | 26,8 | $R = 0,0677,$ |
| | 2 | | 1,5795 | 1,5795 | 0 | $E_g = 1,5955$ |
| | 3 | | 1,5889 | 1,5889 | 0 | |
| | 4 | | 1,5926 | 1,5923 | 0,3 | |
| | 5 | | 1,5938 | 1,5938 | 0 | |
| | 6 | | 1,5948 | 1,5947 | 0,1 | |

Таблица 2

Энергетические положения обратной водородоподобной серии в $ZnP_2 \cdot C_{2h}^5$ при 78,5 К

| Зона | $E_{\text{эксп}}$, эВ | $E_{\text{расч}}$, эВ | ΔE , мэВ |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|------------------|
| $n^0 = 1$ | | 2,2013 | |
| 2 | | 1,6797 | |
| 3 | 1,5792 | 1,5830 | 3,8 |
| 4 | 1,5465 | 1,5493 | 2,8 |
| 5 | 1,5336 | 1,5336 | 0 |
| 6 | 1,5251 | 1,5221 | 0 |
| 7 | 1,5202 | 1,5199 | 0,3 |
| 8 | 1,5167 | 1,5167 | 0,0 |
| 9 | 1,5151 | 1,5144 | 0,7 |
| 10 | 1,5145 | 1,5128 | 0,7 |
| 11 | 1,5113 | 1,5115 | 0,2 |
| $E_{g\infty},$ $R = 0,5733$ | | 1,5058 | |

В табл. 2 приведены все линии обратной серии $n = 3, \dots, 11$, полученные при 78,5 К (они обозначены индексом "ноль"). Приведенная эффективная масса $\mu = 3,4 m_0$ при $N = 3,0$ (N — показатель преломления). Линии $n^0 = 3, \dots, 11$ находятся в области прозрачности кристалла, а линии $n^0 = 1$ и 2 попадают в область собственного поглощения.

Линии обратной серии обнаруживают тонкую структуру, число компонент которой определяется квантовым числом n^0 (рис. 2). Компоненты определяются числом K , и для $n^0 = 4$ они начинаются с $K = 5$, т.е. $n^0 \pm 1$. Линии компонент удовлетворяют условию водородоподобности:

$$E_K = 1,5491 - \frac{0,2873}{K^2}, \text{ эВ.}$$

Таблица 3

Энергии линий поглощения компонент обратной водородоподобной серии в кристаллах $ZnF_2 - C_{2h}^5$

| Зона | 78,5 К (обр. № 17) | | | 90 К (обр. № 11) | | |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| | $E_{\text{экср.}} \text{ эВ}$ | $E_{\text{расч.}} \text{ эВ}$ | $\Delta E, \text{ мэВ}$ | $E_{\text{экср.}} \text{ эВ}$ | $E_{\text{расч.}} \text{ эВ}$ | $\Delta E, \text{ мэВ}$ |
| | $n^0 = 3, R = 0,1214$ | | | | | |
| $K = 2$ | 1,5657 | 1,5527 | 0 | | | |
| 3 | 1,5696 | 1,5696 | 0 | | | |
| 4 | 1,5755 | 1,5755 | 2,0 | | | |
| 5 | 1,5762 | 1,5782 | 2,0 | | | |
| $E_{g\infty}^3$ | | 1,5831 | | | | |
| | $n^0 = 4, R = 0,2873$ | | | | | |
| $K = 5$ | 1,5396 | 1,5396 | 0 | 1,5375 | 1,5367 | 0,8 |
| 6 | 1,5425 | 1,5425 | 0 | 1,5402 | 1,5402 | 0 |
| 7 | 1,5444 | 1,5443 | 0,9 | 1,5423 | 1,5423 | 0 |
| 8 | 1,5459 | 1,5454 | 0,8 | 1,5436 | 1,5437 | 0,1 |
| 9 | 1,5469 | 1,5462 | 1,1 | 1,5442 | 1,5446 | 0,4 |
| $E_{g\infty}^4$ | | 1,5491 | | | 1,5481 | |
| | $n^0 = 5, R = 0,2536$ | | | | | |
| $K = 4$ | 1,5273 | 1,5251 | 2,2 | 1,5254 | 1,5239 | 1,5 |
| 5 | 1,5307 | 1,5307 | 0 | 1,5287 | 1,5287 | 0 |
| 6 | 1,5338 | 1,5338 | 0 | 1,5313 | 1,5313 | 0 |
| 7 | 1,5336 | 1,5357 | 2,1 | 1,5317 | 1,5329 | 1,2 |
| | | 1,5409 | | 1,5372 | | |
| | $n^0 = 6, R = 0,3964$ | | | | | |
| $K = 7$ | 1,5226 | 1,5219 | 0,7 | 1,5216 | 1,5210 | 0,6 |
| 8 | 1,5238 | 1,5238 | 0 | 1,5224 | 1,5224 | 0 |
| 9 | 1,5251 | 1,5251 | 0 | 1,5234 | 1,5234 | 0 |
| $E_{g\infty}^6$ | | 1,5300 | | | 1,5272 | |

При этом линии сбегаются в коротковолновую сторону к $E_g^4 = 1,5491$ эВ (78,5 К), как в случае обычных экситонных серий. Для линий $n^0 = 3$ обнаружены четыре компоненты $K = 2, 3, 4, 5$ (рис. 1), которые удовлетворяют условию

$$E_K^3 = 1,5831 - \frac{0,1214}{K^2}, \text{ эВ},$$

и начинаются с $K = n^0 - 1$ (т.е. с $K = 2$). Все линии компонент при температурах 78,5 и 90 К представлены в табл. 3. Для линии $n^0 = 5$ обнаруживаются четыре компоненты ($K = 4, 5, 6, 7$), которые сбегаются к $E_g^5 = 1,5409$ эВ (78,5 К) и 1,5372 эВ (90 К). Линии компоненты удовлетворяют серийной зависимости

$$E_K = 1,5409 - \frac{0,2536}{K^2}, \text{ эВ},$$

и начинаются с линии $K = n^0 - 1$, т.е. с четвертой линии. Для линии $n^0 = 6$ обратной серии обнаруживаются три компоненты $K = 7, 8, 9$, которые также удовлетворяют условию

$$E_K = 1,5300 - \frac{0,3964}{K^2}, \text{ эВ}.$$

Серия начинается с компоненты $K = n^0 + 1$ (т.е. с $K = 7$). Линия $n^0 = 7$ расщепляется на две: 1,5202 и 1,5196 эВ.

Линии $n^0 = 1$ и 2 не проявляются, а для линий более высокого порядка $n^0 = 8, 9, 10$ и 11 не удается наблюдать компоненты при 78,5 К из-за их слабой интенсивности. Измерения обратной серии, проведенные в обеих поляризациях $E \parallel C$ и $E \perp C$, показывают отсутствие анизотропии, т.е. в обеих поляризациях присутствуют все линии и их компоненты. В этом кристалле в поляризации $E \parallel C$ присутствуют еще серии A и C [6], которые не обнаруживаются в поляризации $E \perp C$. Все три серии A, B и C содержат до $n = 1, \dots, 6$ при 78,5 К и обнаружены по поглощению ($n = 1, \dots, 3$) и λ -модулированному поглощению ($n = 1, \dots, 6$). Экситонные серии A, B и C сильно поляризованы и отражают сложную структуру верха валентной зоны. Обратная серия является неполяризованной.

При экспериментальных исследованиях экситонных состояний в кристалле ViI_3 обнаружена водородоподобная серия резонансных линий поглощения и излучения, сходящихся не в коротковолновую, как обычно, а в длинноволновую область спектра, которая объяснялась образованием биелектронных состояний [7–10]. Причем обратный порядок следования серии объяснялся отрицательной приведенной эффективной массой носителей заряда [11]. В работах [12, 13] высказывались сомнения относительно существования обратной водородоподобной серии в ViI_3 , а линии поглощения объяснялись переходами с уровней донорно-акцепторных пар, расположенных в слоях с гексагональной упаковкой. Существование биелектронных состояний в твердом теле вполне вероятно [11]. Кристаллы ZnP_2 не принадлежат классу слоистых кристаллов и не обладают гексагональной упаковкой. Тем не менее в ZnP_2 обнаружены 11 линий поглощения, составляющих обратную серию, которая существует одновременно с прямыми экситонными сериями поглощения A, B и C . Обратная серия обнаруживается в спектрах люминесценции, фотопроводимости и в спектрах отражения.

Как известно, в отражении проявляются только собственные электронные спектры. Можно предположить, что в ZnP_2 обратная серия обусловлена биелектронными состояниями, но при этом не удастся объяснить существование подсерий на каждой линии.

Представленные в данной работе результаты требуют рассмотрения других более сложных моделей взаимодействия между электронами в кристалле.

Кишиневский политехнический институт
им. С. Лазо

Поступило
22 V 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. Sobolev V.V., Syrbu N.N. — Phys. Status Solidi, 1972, vol. 51, p. 863.
2. Sobolev V.V., Syrbu N.N. — Ibid., 1971, vol. 43, p. 73.
3. Сырбу Н.Н., Стамов И.Г., Хачатурова С.Б. — Физ. и техн. полупроводников, 1979, т. 13, в. 9, с. 1734.
4. Горбань И.Г., Луговской В.В., Маковецкая А.П. и др. — Там же, 1974, т. 8, в. 2, с. 436.
5. Лазарев В.В., Вавилов В.С., Чукичев М.В. и др. — Там же, 1978, т. 12, в. 4, с. 643.
6. Певцов А.Б., Пермогоров С.А., Селькин А.В. и др. — Там же, 1982, т. 16, № 5.
7. Гросс Е.Ф., Парель В.И., Шехмаметьев Р.И. — Письма ЖЭТФ, 1971, т. 13, с. 503.
8. Гросс Е.Ф., Уральцев И.Н., Шехмаметьев Р.И. — Там же, 1971, т. 13, с. 320.
9. Гросс Е.Ф., Старостин Н.В., Шехмаметьев Р.И. — ФТТ, 1971, т. 13, с. 393.
9. Гросс Е.Ф., Федоров Д.Л., Шехмаметьев Р.И. — Там же, 1972, т. 14, № 11, с. 3252.
10. Гросс Е.Ф., Старостин Н.В., Шенцов М.П., Шехмаметьев Р.И. — Изв. АН СССР. Сер. физич., 1973, т. 37, № 4, с. 885.
11. Старостин Н.В., Шенцов М.П. — Укр. физ. журн., 1980, т. 25, № 10, с. 1708.
12. Czajam W., Harbecke G., Krusbauer L. et al. — Solid State Commun., 1973, vol. 13, № 9, p. 1445.
13. Лисица М.П., Мощный Ф.В. — Укр. физ. журн., 1976, т. 21, № 6, с. 1025.