

# Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Н. Н. Сырбу, С. Б. Хачатурова, И. Г. Стамов, Влияние концентрации свободных носителей заряда на водородоподобные спектры в дифосфиде цинка, *Физика и техника полупроводников*, 1984, том 18, выпуск 8, 1498–1500

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 178.168.20.213

21 декабря 2020 г., 16:43:47



## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СВОБОДНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА НА ВОДОРОДОПОДОБНЫЕ СПЕКТРЫ В ДИФОСФИДЕ ЦИНКА

Сырбу Н. Н., Хачатурова С. Б., Стамов И. Г.

В длинноволновой области экситонного поглощения кристаллов дифосфида цинка моноклинной модификации обнаружена обратная водородоподобная серия (ОВС) линий поглощения, головные линии которой объясняются биелектронными состояниями [1-5]. С длинноволновой стороны каждой головной линии проявляются прямые водородоподобные серии (ПВС). Последние обуслов-

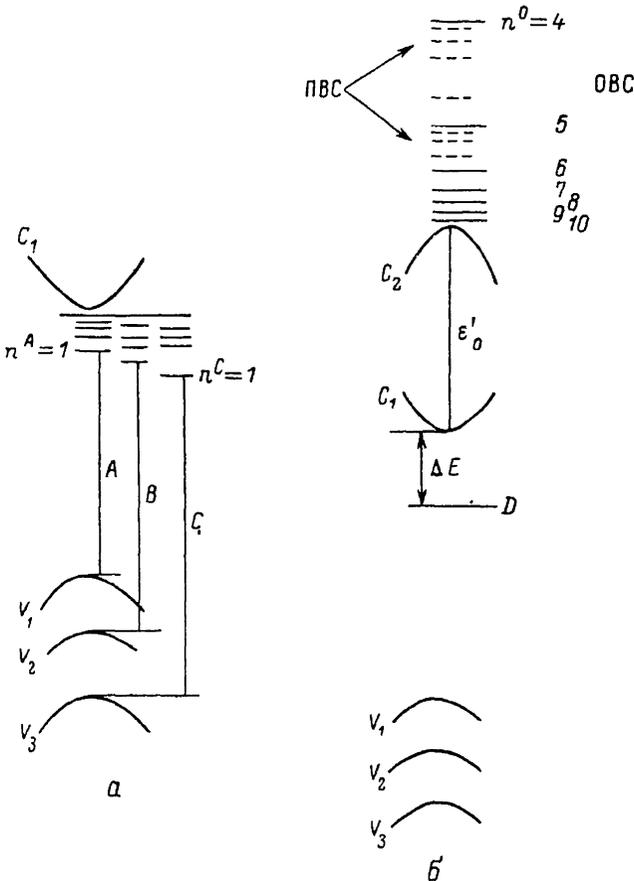


Рис. 1. Структура энергетических зон ZnP<sub>2</sub> моноклинной модификации, поясняющая экситонную (а) и обратную водородоподобную (б) серии линий поглощения и отражения.

лены взаимодействием биелектрона как единого целого с положительно заряженным центром — биелектронно-примесным комплексом (БПК). Переход электрона, связанного на нейтральном доноре, в зону C<sub>1</sub> и еще одного электрона в зону C<sub>2</sub> обуславливает появление положительно заряженного центра [3]. Возможность существования БПК показана теоретическими расчетами [6, 7].

В настоящей работе приведены результаты исследования влияния концентрации свободных носителей заряда на ОВС, энергию связи биелектрона и энергию связи биелектронно-примесного комплекса в дифосфиде цинка моноклинной модификации.

Нами разработаны технологические режимы изменения концентрации свободных электронов в монокристаллах дифосфида цинка от 10<sup>14</sup> до 10<sup>18</sup> см<sup>-3</sup>

путем изменения содержания фосфора по отношению к стехиометрическому составу, а также получения компенсированных образцов с концентрацией  $10^{12} \text{ см}^{-3}$ . Уменьшение концентрации фосфора приводит к образованию вакансий фосфора и обуславливает образование донорного уровня ниже дна зоны проводимости. Избыточные атомы цинка в соединениях на основе цинка служат донорами [6]. В дифосфиде цинка моноклинной симметрии в поляризации  $E \parallel C$  обнаруживаются две экситонные водородоподобные серии  $A$  и  $C$ , объясняемые двумя расщепленными из-за кристаллического поля валентными зонами (рис. 1,  $a$ ) [1-5, 8]. В поляризации  $E \perp C$  обнаруживается запрещенная экситонная серия  $B$ . Образование БПК и модель зонной структуры, допускающая образование БПК в  $\text{ZnP}_2$ , представлены на рис. 1,  $b$ .

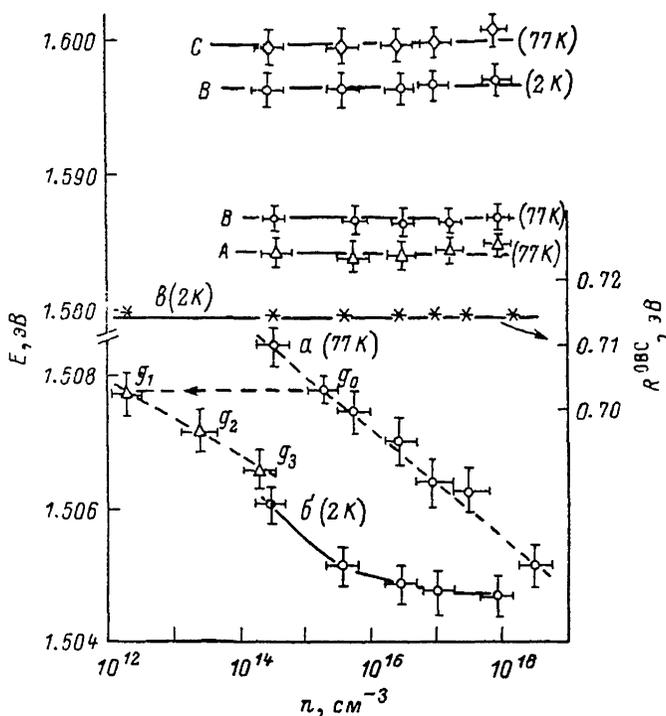


Рис. 2. Зависимость пределов сходимости экситонных серий  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , пределов сходимости ОВС ( $a$ ,  $b$ ) и постоянной Ридберга ОВС ( $s$ ) от концентрации свободных носителей заряда.

При изменении концентрации свободных носителей заряда от  $10^{14}$  до  $10^{18} \text{ см}^{-3}$  пределы сходимости экситонных серий  $A$ ,  $B$ ,  $C$  (расчеты проведены по положению линий  $n=2$  и  $n=3$ ) практически не меняются (рис. 2).

При этих же изменениях концентрации наблюдается одновременное смещение всех линий ОВС в длинноволновую область спектра. На рис. 2 показано изменение предела сходимости ОВС при 77 ( $a$ ), 2 К ( $b$ ) и постоянной Ридберга ОВС при 2 К ( $s$ ) в зависимости от концентрации свободных носителей заряда. Как видно из рисунка, энергия связи биэлектрона постоянна для всех значений концентрации. При увеличении концентрации свободных носителей заряда от  $10^{14}$  до  $10^{18} \text{ см}^{-3}$  предел сходимости ОВС уменьшается на 3-4 мэВ при 77 К. При температуре 2 К (кривая  $b$ ) изменение происходит более круто до значения концентрации  $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  и слабее при больших концентрациях. Уменьшение предела сходимости ОВС обусловлено влиянием экранирующего потенциала свободных носителей заряда на энергию связи донорного центра.

Компенсация кристаллов  $\text{ZnP}_2$  приводит к изменению концентрации свободных носителей заряда, но не изменяет предела сходимости ОВС (ощущается переход из точки  $g_0$  в точку  $g_1$  на рис. 2,  $a$ ). Точки  $g_2$  и  $g_3$  получены на компенсированном образце при увеличении концентрации доноров.

В ряде кристаллов  $\text{ZnP}_2$  в области существования ОВС тонкие линии поглощения отсутствуют, что может быть обусловлено избыточным содержанием

фосфора (не более 1% атомного состава) в этих кристаллах. Действительно, насыщая кристалл, содержащий тонкую структуру линий ОВС (рис. 3, кривая 1), фосфором, можно достичь состояния, в котором линии ОВС отсутствуют (рис. 3, кривая 5). При этом увеличение содержания фосфора приводит к уменьшению коэффициента поглощения. Отжигом в вакууме, когда, согласно масс-спектрометрическим данным, происходит преимущественное испарение атомов фосфора ( $T \leq 773$  K), удается осуществить обратный перевод — от состояния,

описываемого кривой 5, в состояние, описываемое кривой 1. Разработанная технология позволяет управлять параметрами кристалла и создавать условия, необходимые для обнаружения ОВС.

Плавное и управляемое изменение предела сходимости ОВС  $\epsilon'_0 + \Delta E$  свидетельствует об единой природе происхождения обнаруженных линий. Увеличение концентрации доноров приводит к росту их экранирующего воздействия, при этом уменьшается энергия

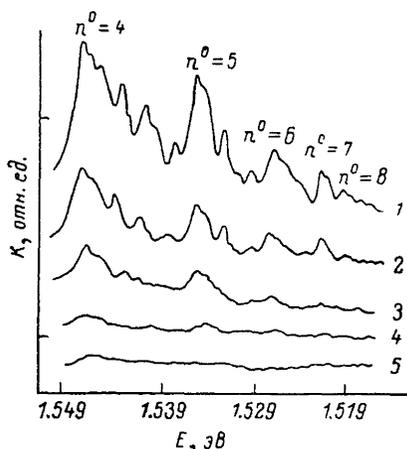


Рис. 3. Спектральное распределение коэффициента поглощения в области линий ОВС.

1 — исходный, отжиг в парах фосфора, атм: 2 — 3.3, 3 — 5.2, 4 — 12.6, 5 — 14.0.

связи донора  $\Delta E$ . Так как предел сходимости ОВС представляет собой  $\epsilon'_0 + \Delta E$ , с уменьшением энергии ионизации донора уменьшается и  $E_g^{\text{ОВС}}$ . Вся ОВС как единое целое смещается в длинноволновую сторону. При этих же изменениях концентрации пределы сходимости экситонных серий ( $E_g$ ) не меняются.

Таким образом, изменение концентрации свободных носителей заряда не влияет на ширину запрещенной зоны  $V_1 - C_1$  и т. д. Увеличение концентрации свободных носителей заряда приводит к смещению предела сходимости ОВС ( $\epsilon'_0 + \Delta E$ ) в сторону меньших энергий и не меняет энергию связи биэлектрона как целого.

Полученные результаты не противоречат модели биэлектронно-примесного комплекса, ответственного за обратную водородоподобную серию и прямые водородоподобные серии у головных линий обратной серии.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Сырбу Н. Н., Стамов И. Г., Радауцан С. И. Тонкая структура уровней поглощения в кристаллах  $ZnP_2$ . — Изв. АН МССР, сер. физ.-тех. и мат. н., 1981, № 3, с. 85—86.
- [2] Сырбу Н. Н., Стамов И. Г., Радауцан С. И. Тонкая структура линий поглощения в кристаллах  $ZnP_2$  моноклинной модификации. — ДАН СССР, 1982, т. 262, № 5, с. 1138—1142.
- [3] Селькин А. В., Стамов И. Г., Сырбу Н. Н., Уманец А. Г. Обратная водородоподобная серия в оптических спектрах кристаллов  $ZnP_2$ . — Письма ЖЭТФ, 1982, т. 35, в. 2, с. 51—53.
- [4] Певцов А. Б., Пермогоров С. А., Селькин А. В., Сырбу Н. Н., Уманец А. Г. Свободные экситоны в кристаллах  $ZnP_2$  черной модификации. — ФТП, 1982, т. 16, в. 8, с. 1399—1405.
- [5] Сырбу Н. Н., Стамов И. Г., Радауцан С. И. Свободные экситонные состояния и обратная серия линий поглощения в дифосфиде цинка. — Изв. АН МССР, сер. физ.-тех. и мат. н., 1982, № 1, с. 27—34.
- [6] Коварский В. А., Снявский Э. П., Сырбу Н. Н., Черныш Л. П. Оптические свойства биэлектронно-примесных комплексов. — В кн.: Тр. IV конф. по физике полупроводников. Баку, 1982, с. 191—192.
- [7] Жилич А. Г., Шепилов М. П., Статоростин Н. В. К теории биэлектронно-примесных комплексов в полупроводниках. — ФТТ, 1983, т. 25, в. 5, с. 1344—1349.
- [8] Соболев В. В., Козлов А. И., Тычина И. И., Раманик П. А., Смоляренко Э. М. Свободный экситон и экситон-примесные комплексы моноклинного дифосфида цинка. — Письма ЖЭТФ, 1981, т. 34, в. 3, с. 115—118.

Кишиневский  
политехнический институт  
им. С. Лазо

Получено 5.12.1983  
Принято к печати 15.03.1984