

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

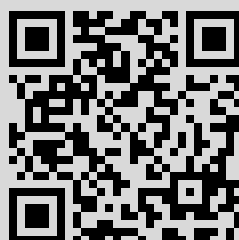
Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<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-

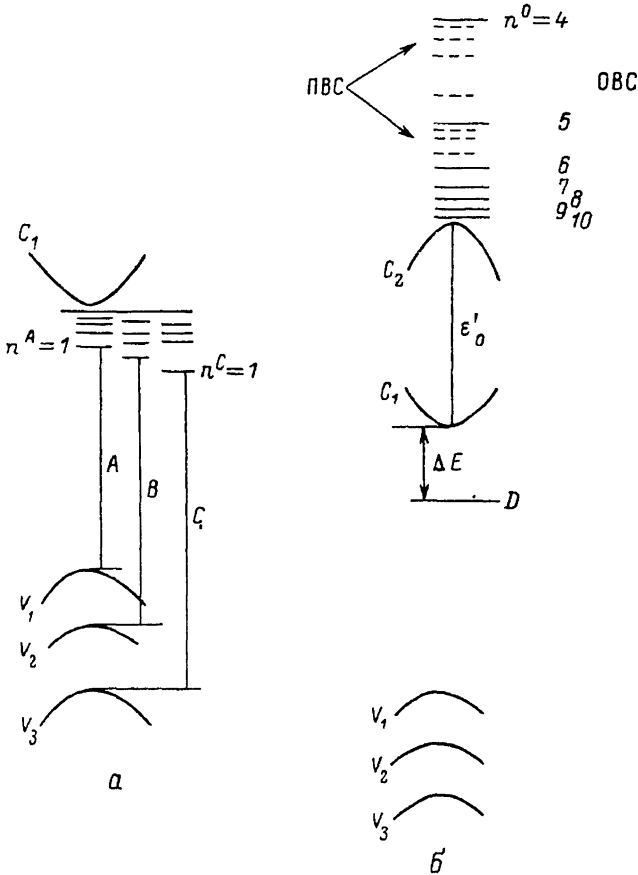


Рис. 1. Структура энергетических зон ZnP_2 моноклинной модификации, поясняющая экситонную (а) и обратную водородоподобную (б) серии линий поглощения и отражения.

лены взаимодействием биелектрона как единого целого с положительно заряженным центром — биелектронно-примесным комплексом (БПК). Переход электрона, связанного на нейтральном доноре, в зону C_1 и еще одного электрона в зону C_2 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^{14} до 10^{18} см⁻³

путем изменения содержания фосфора по отношению к стехиометрическому составу, а также получения компенсированных образцов с концентрацией 10^{12} 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 ZnP_2 , представлены на рис. 1, b .

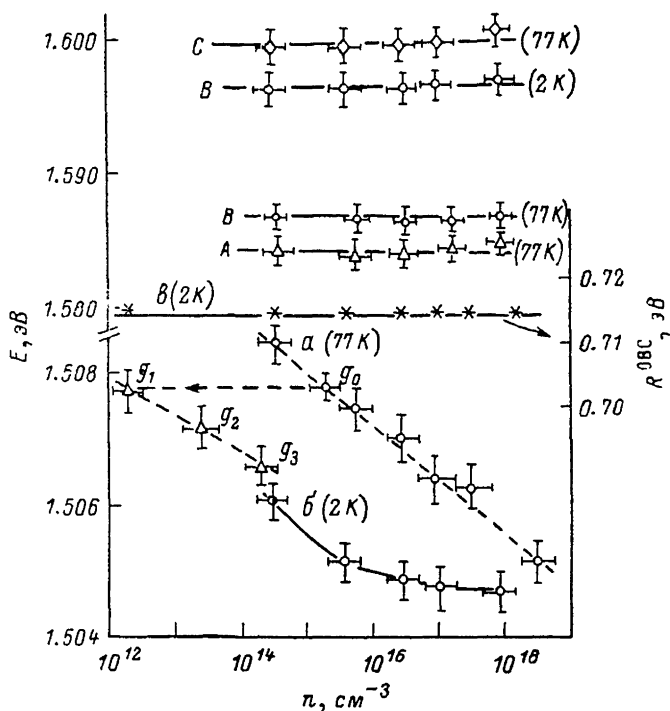


Рис. 2. Зависимость пределов сходимости экситонных серий A , B , C , пределов сходимости ОВС (a , b) и постоянной Ридберга ОВС (a) от концентрации свободных носителей заряда.

При изменении концентрации свободных носителей заряда от 10^{14} до 10^{18} 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 (a) 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} 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 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 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, насыщенный 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 ($T \leq 773$ К), 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

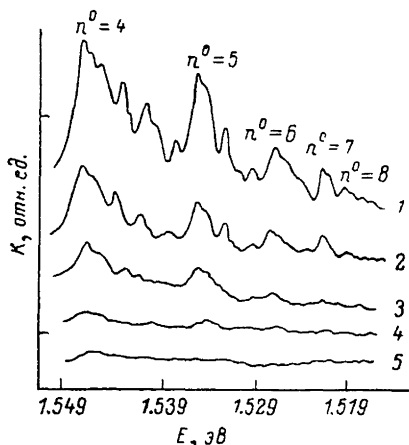


Рис. 3. Спектральное распределение коэффициента поглощения в области линий ОВС.

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

связи донора ΔE . 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