

ОБРАТНЫЙ ВОДОРОДОПОДОБНЫЙ СПЕКТР ZnP_2 В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

А.В.Селькин, Н.Н.Сырбу, А.Г.Уманец

Идентифицированы оптические переходы, связанные с возбуждением синглетных (S) и триплетных (T) биелектронных состояний моноклинных кристаллов ZnP_2 . Получены значения спектроскопических g -факторов расщепления $g_S = 0$ и $g_T = 4$.

В основе интерпретации обратной водородоподобной серии (ОВС) состояний, наблюдаемых в оптических спектрах моноклинных кристаллов ZnP_2 ¹, лежит идея биелектрона² – двух-электронного комплекса с отрицательной приведенной массой. В работе¹ для объяснения сложной структуры ОВС в ZnP_2 впервые была предложена модель биелектронно-примесного комплекса (БПК) – биелектрона, связанного с положительно заряженным центром. В рамках этой модели оптический переход с поглощением кванта света происходит из основного состояния мелкого центра с двумя зонными электронами нижней зоны проводимости в состояние БПК, в котором один из электронов принадлежит верхней зоне проводимости с отрицательной эффективной массой.

Если расстояние от остова центра до биелектрона существенно превосходит размер последнего, то в оптическом спектре можно ожидать, наряду с интенсивными (головными) линиями ОВС, проявления дополнительных, сходящихся в коротковолновую сторону, линий-спутников, расположенных с длинноволновой стороны от каждой головной линии^{1,3,4}.

На рис. 1, *a* представлен типичный спектр пропускания моноклинного кристалла ZnP_2 ($T = 2$ К) в поляризации света $E \perp b$ (b — моноклинная ось второго порядка), распространяющегося в направлении $K \perp b$. Номера $n = 4, \dots, 10$ обозначают головные линии, укладываемые в формулу ОВС¹. Сходящиеся в коротковолновую сторону линии-спутники a, b, c, \dots наиболее четко выделяются во фрагменте $n = 4$. В поляризации $E \parallel b$ из-за сильного поглощения света не удается зарегистрировать спектр пропускания. Вместе с тем, в спектре отражения $E \parallel b$ (рис. 1, *б*) проявляется яркая структура, в которой также можно выделить головные линии ОВС с номерами $n' = 4, \dots, 8$ и примыкающие к ним линии-спутники (во фрагменте $n' = 4$ линии a', b', \dots).

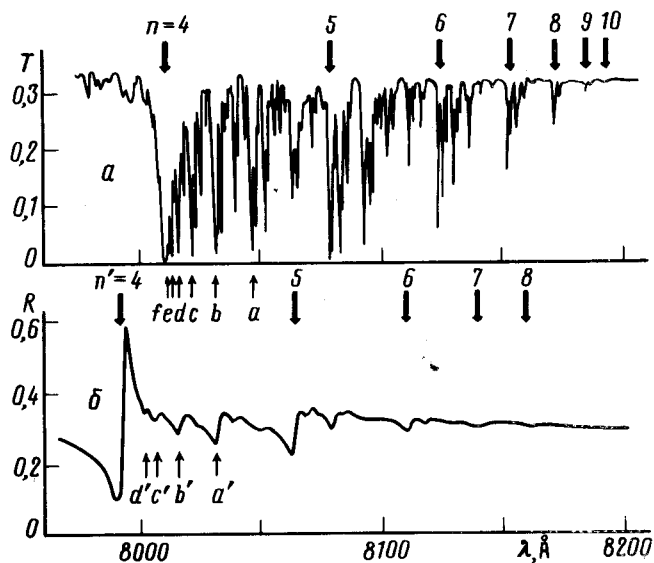


Рис. 1. Спектры пропускания (*a*) и отражения (*б*) моноклинного кристалла ZnP_2 толщиной 0,2 мм, полученные при $T = 2$ К в геометрии эксперимента $K \perp b, E \perp b$ (*a*), $E \parallel b$ (*б*), где b — кристаллическая ось второго порядка

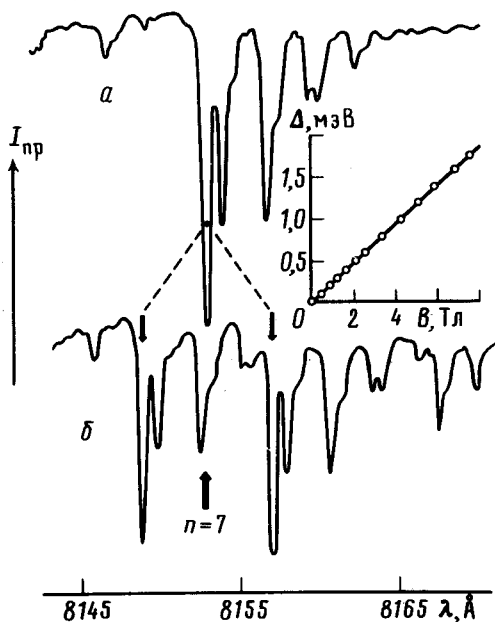


Рис. 2. Влияние внешнего магнитного поля на спектр пропускания кристалла ZnP_2 в области фрагмента $n = 7$ ($K \perp b, E \perp b, V \parallel b$): $a - V = 0$ Тл, $б - V = 6,72$ Тл. На вставке: зависимость дублетного расщепления Δ головной линии ОВС $n = 7$ от индукции V магнитного поля

Из представленных данных можно заключить, что в рассматриваемых кристаллах ZnP_2 оптические переходы в состояния n' ($E \parallel b$) являются дипольно активными, а в состояния n ($E \perp b$) — дипольно запрещенными. Тогда в рамках предложенной нами модели БПК¹ запрещенный оптический переход $E \perp b$ происходит с переворотом спина электрона, а разрешенный переход $E \parallel b$ осуществляется без изменения спинового состояния системы. Если основное сос-

тояние центра синглетное, то возбужденное (бизлектронное) состояние является синглетным в поляризации $E \parallel b$, и триплетным — в поляризации $E \perp b$.

В отличие от поляризации $E \perp b$, где наблюдаются линии с номерами n , в поляризации $E \parallel b$ линии n' сдвинуты в коротковолновую сторону относительно соответствующих им линий n . При этом величина сдвига уменьшается по мере перехода к более длинноволновым фрагментам. Аналогичные закономерности проявляются и в спектрах люминесценции $E \perp b$ и $E \parallel b$, которые здесь не приводятся.

Наблюдаемый сдвиг между линиями n' и n , по-видимому, связан с обменным синглет-триплетным расщеплением, в который дают вклад как короткодействующая составляющая обменного взаимодействия, так и его дальнедействующая часть (обусловленная дипольным характером перехода для $E \parallel b$ и приводящая к эффектам продольно-поперечного расщепления). С увеличением номера n увеличивается радиус боровской орбиты в бизлектроне и, как следствие, уменьшается обменное взаимодействие, что объясняет уменьшение относительного сдвига между линиями n' и n по мере перехода к более длинноволновым фрагментам спектра.

Для того, чтобы проверить справедливость высказанных предположений относительно природы наблюдаемых спектров, мы исследовали влияние магнитного поля на представленные на рис. 1 спектры в полях с индукцией B вплоть до 7,6 Тл. При $B \parallel b$ в поляризации света $E \perp b$ наблюдалось линейное по полю дублетное расщепление всех линий спектра, а в поляризации $E \parallel b$ спектр не испытывал заметных изменений под действием внешнего магнитного поля. На рис. 2 на примере фрагмента $n = 7$ показано, каким образом магнитное поле влияет на спектр пропускания кристалла ZnP_2 в поляризации света $E \perp b$.

Анализ спектров пропускания показывает, что все линии, включая линии-спутники, расщепляются под действием магнитного поля в дублеты с одним и тем же значением g -фактора, равным 4. Зависимость дублетного расщепления Δ головной линии $n = 7$ от индукции B магнитного поля представлена на вставке к рис. 2, откуда получено значение $g = 3,99 \pm 0,01$. Возвращаясь к рассматриваемой схеме оптического перехода и учитывая тот факт, что $g = 0$ в поляризации $E \parallel b$, мы можем заключить, что g -факторы электронов нижней и верхней зон проводимости, формирующих бизлектронное состояние, одинаковы и равны 2.

Интенсивности расщепленных компонент каждой линии спектра пропускания практически одинаковы (см. рис. 2, б). Откуда следует, что начальное состояние в рассматриваемом переходе является синглетным, а возбужденное — триплетным. На триплетный характер именно возбужденного состояния при оптическом переходе в поляризации $E \perp b$ указывает также соотношение интенсивностей линий в спектре люминесценции: более коротковолновая линия излучения в расщепленном магнитном поле дублете оказывается заметно менее интенсивной по сравнению с длинноволновой.

Таким образом, выполненные нами магнито-оптические исследования спектров пропускания, отражения и люминесценции кристаллов ZnP_2 подтверждают предложенную нами модель оптического перехода в состояние БПК, формирующего наблюдаемые спектры. Впервые приведены экспериментальные данные, указывающие на существование как синглетных, так и триплетных состояний бизлектрона. Дальнейшая существенная информация о природе своеобразных спектров этих кристаллов может быть получена в результате целенаправленного изучения самих центров, ответственных за образование БПК.

Литература

1. Селькин А.В., Стамов И.Г., Сырбу Н.Н., Уманец А.Г. Письма в ЖЭТФ, 1982, 35, 51.
2. Гросс Е.Ф., Перель В.И., Шехмаметьев Р.И. Письма в ЖЭТФ, 1971, 13, 320.
3. Жилич А.Г., Шенцов М.П., Старостин Н.В. ФТТ, 1983, 25, 1344.
4. Kovařskii V.A., Sinyavskii E.P., Chernysh L.V. Phys. Stat. Sol. (b), 1984, 123, 671.