

АКУСТОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ДОНОРОВ В КРИСТАЛЛАХ ZnSe и ZnS

И. В. Островский, О. А. Коротченко

В настоящей работе сообщается об исследовании уровней мелких доноров и их комплексов в кристаллах $A^{IV}B^{VI}$. Экспериментальные измерения проводились с использованием фотоэлектрического эффекта в образцах, куда вводилась ультразвуковая волна, что позволило впервые надежно детектировать мелкие донорные уровни при комнатной температуре, несмотря на то, что их глубина залегания сравнима с kT . Физическая основа этой возможности связана с эффектами генерации [1] и ионизации [2, 3] точечных дефектов ультразвуком (УЗ). Иначе говоря, УЗ определенной сверхпороговой интенсивности генерирует в кристаллах добавочные донорные центры и их комплексы в ионизированном состоянии, что и позволяет по спектру фототока в области, близкой к фундаментальному поглощению, довольно точно определять уровни залегания различных донорных комплексов. Вторая характерная особенность акустофотоэлектрической спектроскопии доноров связана с динамическим характером измерений. Возникающие доноры и их комплексы нестабильны, подвижны, находятся на различном расстоянии от дислокаций и друг от друга, что позволяет надеяться на благоприятную возможность наличия в образце, в принципе, всех возможных атомных конфигураций доноров и их комплексов. В спектрах фотопроводимости (ФП) в присутствии УЗ и должны проявиться все возможные энергетические уровни доноров и их комплексов.

Экспериментально исследовались монокристаллы ZnSe и ZnS. Спектры ФП регистрировались при комнатной температуре в режиме модулированной подсветки образцов с использованием монохроматора ДМР-4. УЗ частотой 2.02 МГц вводился в образцы с помощью внешних пьезопреобразователей из керамики. На рис. 1 представлена собственная ФП ZnSe с максимумом на 2.64 эВ (спектр I) в отсутствие УЗ волн в образце. Введение УЗ приводит к смещению этой полосы в сторону меньших энергий (II на рис. 1). Аналогичное воздействие оказывал УЗ на собственную ФП (I на рис. 2) кристаллов ZnS. Величина смещения увеличивалась с ростом амплитуды УЗ и достигала максимального значения 40—45 мэВ, что соответствует уменьшению ширины запрещенной зоны E_g кристалла под действием УЗ [4]. Это уменьшение E_g можно представить в виде

$$\Delta E_g = \Delta E_T + \Delta E_A + \Delta E_e + \Delta E_d + \Delta E_i,$$

где отдельные слагаемые представляют собой вклады разогрева образца под действием УЗ (ΔE_T), акустической деформации (ΔE_A), пьезоэлектрического поля, сопровождающего УЗ (ΔE_e), электрических полей заряженных дислокаций (ΔE_d) и генерируемых УЗ точечных дефектов (ΔE_i).

При достижении определенной амплитуды УЗ спектры собственной ФП ZnSe и ZnS уширяются с появлением новых полос. Так, в случае кристаллов ZnSe наряду со сместившимся максимумом собственной ФП (2.61 эВ) наблюдаются полосы на 2.60 и 2.57 эВ (III на рис. 1). В кристаллах ZnS зарегистрированы новые полосы на 3.76, 3.77 и 3.78 эВ (II на рис. 2). Максимум собственной ФП расположен на 3.80 эВ. Ранее было показано, что УЗ используемой нами интенсивности может генерировать точечные дефекты [1], в том числе доноры типа цинка в междоузлии. Уширение полосы собственной ФП и появление дополнительных максимумов в спектрах III (рис. 1) и II (рис. 2) также свидетельствуют о возникновении мелких донорных центров и их комплексов под действием УЗ. Эти центры ионизируются как термически ($kT \approx 0.026$ эВ при ком-

натной температуре), так и ультразвуком [2, 3]. Следовательно, они могут проявляться на длинноволновом спаде полосы собственной ФП. По энергетическому положению максимумов в спектрах III (рис. 1) и II (рис. 2) оценивалась глубина залегания генерируемых УЗ доноров. На энергетических схемах рис. 1, 2 приведены оцененные нами значения (сплошные линии) и известные в литературе данные (штриховые линии). Видно, что некоторые из центров (10 мэВ для ZnSe и 30 мэВ для ZnS) наблюдались и другими авторами. Остальные — 40 мэВ для ZnSe, 20 и 40 мэВ для ZnS — не известны нам из литературных данных. Вместе с тем ряд донорных уровней, описанных в литературе, не наблюдается в спектрах III (рис. 1) и II (рис. 2). Поскольку введение УЗ приводит к возникнове-

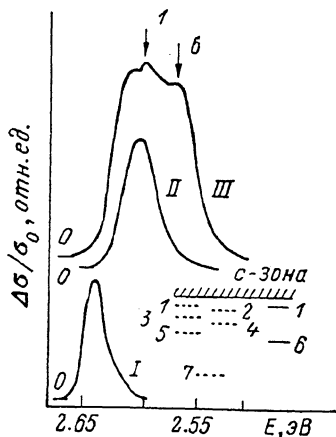


Рис. 1. Влияние УЗ на спектр собственной ФП образца ZnSe (сфалерит).

Относительная амплитуда УЗ A/A_0 : I — 0, II — 0.9, III — 1.1. Величина A_0 соответствует интенсивности УЗ порядка 1.5 Вт/см². Глубина залегания донорных уровней на энергетической схеме E_d (мэВ): 1 — 10 [5], 2 — 15 [6], 3 — 21 [7], 4 — 26—29 [8—10], 5 — 34 [11], 6 — 40, 7 — 70 [9, 10]. Цифры на стрелках соответствуют номеру донорных уровней на энергетической схеме.

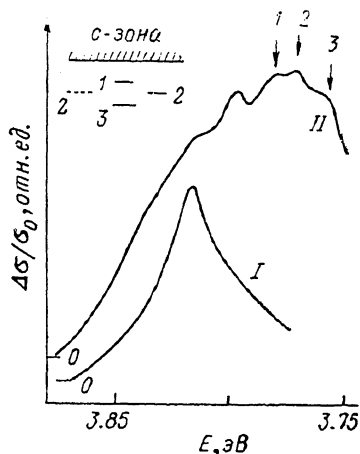


Рис. 2. Влияние УЗ на спектр собственной ФП ZnS (вюрцит).

$A/A_0=0$ (I), 1.3 (II). Глубина залегания E_d (мэВ): 1 — 20, 2 — 30 [12], 3 — 40.

нию собственных дефектов, можно предположить, что донорные состояния с глубиной залегания 10 и 40 мэВ в ZnSe и 20, 30 и 40 мэВ в ZnS связаны с собственными точечными дефектами кристалла и их комплексами. Остальные же из указанных на энергетических схемах (рис. 1, 2) уровней связаны, по-видимому, с примесными центрами.

Отметим, что дальнейшее повышение амплитуды УЗ приводило в ряде образцов ZnSe к возрастанию линии б с одновременным подавлением линии I (спектр III на рис. 1). Это может быть предположительно связано с образованием под действием интенсивного УЗ больших скоплений точечных дефектов. Характерное время возрастания этой линии ФП, а также ее исчезновения после отключения УЗ составляет от 20 до 90 с.

Таким образом, в работе: 1) предложена новая акустофотовольтовая методика обнаружения и детектирования энергетических уровней доноров и их комплексов; 2) обнаружены мелкие донорные состояния с глубиной залегания $E_d \approx 10$ и 40 мэВ ниже дна зоны проводимости в кристаллах ZnSe и $E_d \approx 20, 30$ и 40 мэВ в кристаллах ZnS.

Список литературы

- [1] Островский И. В., Лысенко В. Н. // ФТТ. 1982. Т. 24. № 4. С. 1206—1208.
- [2] Попов В. В., Чаплик А. В. // ФТП. 1976. Т. 10. № 9. С. 1780—1785.
- [3] Горелов Б. М., Коротченков О. А., Островский И. В., Шейнкман М. К. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. № 21. С. 1315—1320.
- [4] Островский И. В., Коротченков О. А. // УФЖ. 1985. Т. 30. № 3. С. 356—362.

- [5] Röppischer H., Jacobs J., Novikov B. V. // Phys. St. Sol. A. 1975. V. 27. N 1. P. 123—127.
 [6] Dean P. J., Jones I. H. // Phys. Rev. A. 1964. V. 133. N 6. P. 1698—1705.
 [7] Swaminathan V., Greene L. C. // Phys. Rev. B. 1976. V. 14. N 12. P. 5351—5363.
 [8] Bouley J. C., Blanconnier P., Herman A. et al. // J. Appl. Phys. 1975. V. 46. N 8. P. 3549—3555.
 [9] Dean P. J., Merz J. L. // Phys. Rev. 1969. V. 178. N 3. P. 1310—1318.
 [10] Merz J. L., Nassau K., Shiever J. W. // Phys. Rev. B., 1973. V. 8. N 4. P. 1444—1452.
 [11] Etienne D., Allegre J., Chevrier J., Bougnot G. // Phys. St. Sol. A. 1975. V. 32. N 1. P. 279—286.
 [12] Воронов Ю. В. // Тр. ФИАН СССР. 1973. Т. 68. С. 3—94.

Киевский государственный университет
им. Т. Г. Шевченко
Киев

Поступило в Редакцию
3 ноября 1988 г.

УДК 537.622

Физика твердого тела, том 31, в. 6, 1989
Solid State Physics, vol. 31, № 6, 1989

КОНЦЕНТРАЦИОННАЯ $x-T$ ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА РАЗБАВЛЕННОЙ СИСТЕМЫ $BaFe_{12-x}Ga_xO_{19}$

Н. Н. Ефимова, Н. В. Ткаченко, И. И. Боковой

Как известно, предпосылкой для образования неупорядоченных магнитных состояний типа спинового стекла (СС) является наличие в структуре конкурирующих обменных взаимодействий. Во многих типах ферримагнитных окислов такая конкуренция существует изначально вследствие антиферромагнитного характера меж- и внутрислоевого обмена. При диамагнитных замещениях магнитоактивных ионов изменяются соотношения между конкурирующими обменными взаимодействиями, в результате чего возможно образование различного рода упорядоченных неколлинеарных структур или неупорядоченных состояний [1-7]. В плане последнего ферримагнитные окислы как теоретически, так и экспериментально исследованы еще крайне мало. Имеющиеся к настоящему времени сведения относятся в основном к двухслоевым соединениям [2-6].

Основной целью настоящей работы было выяснение вопроса о существовании в разбавленной системе $BaFe_{12-x}Ga_xO_{19}(Ga_xM)$, где исходное соединение ($x=0$) является гексагональным пятислоевым одноосным ферримагнетиком, неупорядоченных состояний типа СС. В качестве основного критерия, свидетельствующего о реализации такого состояния, рассматривалось наличие магнитной вязкости — явления, непосредственно связанного с неэргодичностью и вырождением СС [8, 9]. Магнитная вязкость СС проявляется в существовании для неравновесной намагниченности σ_{ZFC} при температурах ниже температуры замерзания СС T_f процессов долговременной релаксации. Зависимость σ_{ZFC} от времени t при постоянных значениях H и T следует логарифмическому закону

$$\sigma_{ZFC}(t) = \sigma_0 + S \ln(t/t_0),$$

где $t_0 \approx 10$ с, $t > t_0$; $\sigma_0 = \sigma_{ZFC}(t_0)$; S — коэффициент магнитной вязкости (магнитного последствия), $S > 0$ при $T < T_f$, $S = 0$ при $T \geq T_f$.

В работе исследованы поликристаллические образцы, полученные по обычной керамической технологии; однофазность контролировалась рентгенографическим и магнитными методами [10]. Измерение зависимостей $\sigma_{ZFC}(t)$ выполнено на баллистическом магнитометре (чувствитель-