

Суммирование и интегрирование в (6) ведется по всем конечным состояниям монокристалла и быстрого электрона. По полученным формулам проведен расчет величины анизотропии угловых спектров ПВМРИ. Волновая функция Φ_n электрона внутреннего уровня монокристалла рассчитывалась в [4]. В двухволновом по ψ_n приближении для Δ регистрируемых переходов получаются значения $\sim 80-90\%$, т. е. величины несколько выше экспериментальных значений Δ . Это обусловлено тем, что существенный вклад в спектры ПВМРИ вносят приповерхностные области монокристалла, где двухволновое приближение является несколько грубым. Трехволновое приближение дает для Δ значения $\sim 40-80\%$. Этот результат находится в хорошем согласии с экспериментальными данными.

Л и т е р а т у р а

- [1] Блехер Б. Э., Брытов И. А., Кораблев В. В. ФТТ, 1983, т. 25, № 3, с. 647—652.
 [2] Блехер Б. Э., Брытов И. А., Кораблев В. В. ФТТ, 1984, т. 26, № 7, с. 2198—2200.
 [3] Park R. L., Houston J. E. J. Vac. Sci. Technol., 1974, vol. 2, № 1, p. 1—18.
 [4] Herman F., Skillman S. Atomic Structure Calculations, Englewood cliffes, New Jersey, 1963.

Ленинградский политехнический институт им. М. И. Калинина

Поступило в Редакцию]
 20 сентября 1985 г.
 В окончательной редакции
 29 декабря 1985 г.

УДК 535.343; 535.683

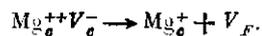
Физика твердого тела, том 28, в. 7, 1986.
 Solid State Physics, vol. 28, № 7, 1986

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭКСИТОНОВ С ПРИМЕСНО-ВАКАНСИОННЫМИ ДИПОЛЯМ. В КРИСТАЛЛАХ NaCl—Mg

А. В. Егранов, А. И. Непомнящих

В [1] нами было установлено, что примесно-вакансионный диполь $Mg_c^{++}V_c^-$ в кристаллах хлористого натрия не захватывает электрон после рентгеновского облучения при 80 К, так как не образуются $Mg_c^+V_c^-$ - и V_c -центры.

Однако рентгеновское облучение при более высоких температурах (выше 140 К) приводит к образованию помимо F- и Cl_3^- -центров, Mg_c^+ -центров с полосой поглощения при 3.84 эВ и V_F -центров с полосой поглощения при 3.32 эВ [1]. Предполагалось, что после рентгеновского облучения при температурах выше 140—150 К происходит прямое разбиение примесно-вакансионных диполей $Mg_c^{++}V_c^-$ с образованием Mg_c^+ - и V_F -центров



В этой работе рассматривается механизм этого процесса.

Температурная зависимость эффективности образования Mg_c^+ -центров при рентгеновском окрашивании представлена на рис. 1 (кривая I). Кристаллы хлористого натрия, активированные магнием, облучались 15 минут при соответствующей температуре, затем охлаждались до 80 К и снимался спектр поглощения. После этого кристалл отжигался при 550 К и быстро охлаждался до нужной температуры для снятия следующей точки кривой. Образование Mg_c^+ -центров начинается в области 140—150 К и температурная зависимость этого процесса такая же, что и при создании F-центров [2]. В этой же области температур становятся подвижными релаксированные экситоны вследствие «размораживания» их.

дырочной компоненты (V_k -центра) [3, 4]. Эти данные, а также тот факт, что магниевые примесно-вакансионные диполи не захватывают электрон после рентгеновского облучения при 80 К, позволяют предположить, что перестройка примесно-вакансионных диполей с образованием Mg_c^+ и V_F -центров происходит при распаде около них релаксированного молекулярного экситона.

Для проверки этого предположения кристаллы освещались нефльтрованным светом дейтериевой лампы ДДС-30, излучение которой попадает в длинноволновую экситонную полосу поглощения 7.7—8.2 эВ [5]. Спектр оптического поглощения, полученный после оптического создания экситонов, полностью совпадает со спектром кристаллов NaCl—Mg, облученных рентгеновским излучением [1]. Так же как и после рентге-

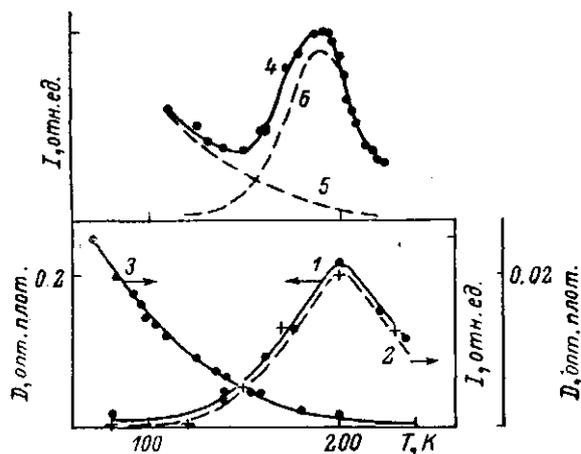
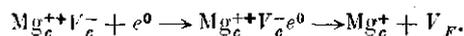


Рис. 1. Температурные зависимости накопления Mg_c^+ -центров при рентгеновском окрашивании (1) и при оптическом создании экситонов (2), температурные зависимости интенсивности свечения 2.9 эВ при возбуждении светом 7.7 эВ (3) и при рентгеновском возбуждении (4), $Mg_c^+V_c^-e^0$ (5); $V_F + e^-$ (6).

новского облучения, при температурах выше 140 К, кроме F- и Cl_3^- -центров, создаются Mg_c^+ - и V_F -центры. Температурная зависимость образования Mg_c^+ -центров после оптического создания экситонов исследовалась таким же образом, как и при рентгеновском облучении. Как видно из рис. 1 (кривая 2), температурные зависимости в обоих случаях носят одинаковый характер.

Отсюда можно сделать вывод, что рентгеновское окрашивание и оптическое создание экситонов в кристаллах NaCl—Mg при температурах выше 140 К приводит к перестройке доррадиационных примесно-вакансионных диполей за счет энергии околопримесного экситона



Для подтверждения того, что перестройка диполей происходит при распаде околопримесного экситона, исследовались спектры свечения при возбуждении в экситонной полосе поглощения. В спектрах свечения (рис. 2, кривая 1), неактивированных кристаллов хлористого натрия, возбуждаемых в экситонной полосе поглощения при 80 К, наблюдается свечение с максимумом при 3.9 эВ, которое обусловлено радиационным распадом гетероядерного экситона вида $(BrCl + e^-)$ [3, 6]. При увеличении концентрации магния в кристалле растет полоса свечения с максимумом при 2.9 эВ (рис. 2, кривые 1—4). Это свечение наблюдается и в спектрах рентгенолюминесценции кристаллов NaCl, активированных двухвалентными катионами и не наблюдается в «чистых» или легированных одновалентными катионами кристаллах [7, 8]. Поэтому свечение с максимумом при 2.9 эВ следует связать со свечением экситона, возмущенного

примесно-вакансионным диполем. Это свечение возбуждается на длинноволновом спаде фундаментального поглощения с максимумом при 7.85 эВ (рис. 2, кривая 5). Положение максимума полосы возбуждения свечения 2.9 эВ незначительно отличается от максимума первой экситонной полосы поглощения в кристаллах NaCl. Такое поведение характерно для прямого возбуждения ионов галоида, расположенных около примесно-вакансионного диполя с образованием околопримесного экситона. Другой возможностью образования околопримесного экситона при 80 К является диффузия горячего экситона к примесно-вакансионному диполю. Возможность такого процесса показана в [3, 4].

Однако при 80 К околопримесный экситон, образовавшийся или за счет миграции горячего экситона или при прямом возбуждении ионов галоида около $Mg_c^{++}V_c^-$ диполя, не приводит к перестройки диполей с об-

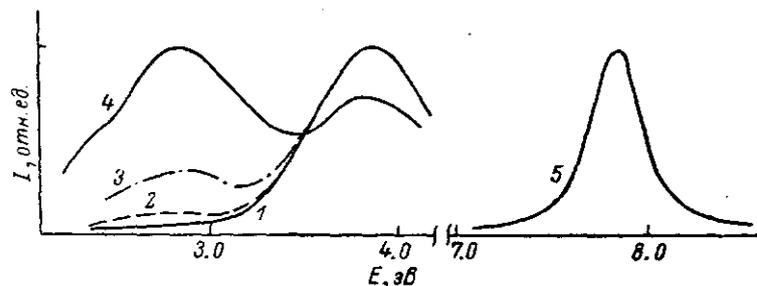


Рис. 2. Спектры люминесценции, возбуждаемой фотонами с энергией 7.7 эВ, при 80 К кристаллов NaCl с различным содержанием примеси $MgCl_2$, вводимой в расплав — «чистый» (1), 0.002 (2), 0.05 (3), 0.5 вес. % (4); спектр возбуждения свечения 2.9 эВ при 80 К (5).

разованием Mg_c^+ и V_F -центров, а аннигилирует излучательно. Температурное тушение этого свечения показано на рис. 1 (кривая 3). Так же как и в случае образования F, H-пар, прослеживается корреляция между ростом эффективности распада магниевого диполя и уменьшением интенсивности люминесценции молекулярного релаксированного экситона, возмущенного примесью [9].

В спектрах рентгенолюминесценции кристаллов NaCl—Mg, кроме собственного свечения, связанного с $(X_2^- + e^-)$ рекомбинацией, наблюдается слабая полоса свечения с максимумом около 2.9 эВ при 80 К [7]. Температурная зависимость этого свечения при рентгеновском возбуждении показана на рис. 1 (кривая 4). С повышением температуры от 80 К происходит тушение свечения 2.9 эВ. По-видимому, это свечение соответствует, как и в случае оптического создания экситонов, свечению околопримесного экситона $(Mg_c^+ + V_c^-)e^0$. Начиная со 150 К возрастает полоса свечения с максимумом при 2.95 эВ, связанная с рекомбинацией электрона с V_F -центрами, образовавшимися при распаде примесно-вакансионного диполя.

Положение полосы свечения при $(V_F^+ + e^-)$ рекомбинации незначительно отличается от положения полосы люминесценции экситона, возмущенного примесно-вакансионным диполем $(Mg^{++} + V^-)e^0$. По-видимому, свечение экситона возникает при фотовозбуждении ионов галоида, расположенных со стороны катионной вакансии, и поэтому основное возмущение экситон испытывает со стороны катионной вакансии, а не двухвалентного катиона.

Таким образом, в работе показано, что при безызлучательной аннигиляции околопримесного релаксированного экситона происходит перестройка дорациационных примесно-вакансионных диполей с образованием Mg_c^+ и V_F -центров.

Л и т е р а т у р а

- [1] Егранов А. В., Непомнящих А. И. Опт. и спектр., 1982, т. 53, № 5, с. 954—956.
- [2] Вилу Р. С., Эланго М. А. ФТТ, 1965, т. 7, № 12, с. 3673—3676.
- [3] Луцкич Ч. Б., Васильченко Е. А., Луцкич Н. Е., Пунг Л. А. Тр. ИФА АН ЭССР, 1972, т. 39, с. 3—46.
- [4] Васильченко Е. А., Луцкич Н. Е., Луцкич Ч. Б. ФТТ, 1970, т. 12, № 1, с. 211—215.
- [5] Eby J., Teegarden K., Dutton D. Phys. Rev., 1959, vol. 116, № 5, p. 1099—1105.
- [6] Луцицин В. М., Малышев А. А., Яковлев В. Ю. ФТТ, 1983, т. 25, № 11, с. 3356—3360.
- [7] Ikeya M. Phys. St. Sol. (b), 1975, vol. 69, № 1, p. 275—284.
- [8] Aguilar M., Jaque F., Agullo-Lopez F. Phys. St. Sol. (b), 1977, vol. 84, № 2, p. 595—601.
- [9] Луцкич Ч. Б., Васильченко Е. А., Луцкич А. Ч., Луцкич Н. Е., Тайиров М. М. Тр. ИФ АН ЭССР, 1983, т. 54, с. 5—37.

Институт геохимии СО АН СССР
Иркутск

Поступило в Редакцию
19 сентября 1985 г.
В окончательной редакции
2 января 1986 г.

УДК 621.315

Физика твердого тела, том 28, в. 7, 1986
Solid State Physics, vol. 28, № 7, 1986

СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ КРИСТАЛЛА $TlGaS_2$

Г. И. Абуталыбов, Э. Ю. Салаев

В наших предыдущих работах [1, 2] было установлено существование тонкой структуры в спектрах фотолюминесценции кристалла $TlGaS_2$ при 1.8—77 К. Обнаруженная структура сопоставлена с линией поглощения в области края поглощения кристалла $TlGaS_2$. Было отмечено, что наблюдаемые линии фотолюминесценции находятся в длинноволновой части спектра на расстоянии ~ 0.5 эВ от прямого краевого экситонного пика поглощения и обусловлены рекомбинационными излучениями связанных экситонов.

В настоящей работе приводятся результаты исследования экситонного состояния в спектрах поглощения и отражения $TlGaS_2$ вблизи основного края поглощения в зависимости от температуры в интервале $T=1.8\div 300$ К.

Выращенные методом Бриджмена—Стокбаргера монокристаллы $TlGaS_2$ кристаллизуются в моноклинной структуре с пространственной группой C_2^2 [3] и имеют слоистое строение. Основной структурной единицей кристалла является двумернопериодический слой, состоящий из групп тетраэдров, каждый из которых представляет собой объединение четырех элементарных галлий-серовых (Ga_2S_4) тетраэдров. Подобные слои в кристалле чередуются параллельно кристаллографической плоскости (001) или перпендикулярно к оси C . Каждый следующий тетраэдрический слой по отношению к предыдущему аналогичному слою повернут на прямой угол относительно оси C , поэтому идентичными будут слои одной и той же четности. Таким образом, монокристалл $TlGaS_2$ двуслойный. Полученные нами кристаллы обладали проводимостью p -типа и имели удельное сопротивление $10^7\text{—}10^8$ Ом·см при комнатной температуре. Использовались образцы толщиной $10\div 20$ мкм, приготовленные скалыванием кристаллов вдоль плоскости спайности. Пропускание измерено при распространении света в направлении, перпендикулярном слоям, т. е. вдоль оси C , а отражение — в направлении, близком нормали к слоям.

На рис. 1 представлены спектры поглощения (1) и отражения (2) кристалла $TlGaS_2$ при температуре 1.8 К.

Как видно из рисунка, в спектре поглощения (кривая 1) наблюдается резкая структура в виде пика, расположенного при энергии $E=2.614$ эВ