

КРАЕВАЯ ГОРЯЧАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В КРИСТАЛЛАХ КСЕНОНА

Р.А.Кинк, А.Э.Лыхмус, М.В.Сельг

Впервые для инертных кристаллов наблюдается свечение свободных экситонов при оптическом возбуждении в экситонной области поглощения. Свободное и автолокализованное состояния экситона в Хе отделены высоким потенциальным барьером $\epsilon = 70 \pm 10$ мэВ, соответствующим ширине экситонной зоны $B = 0,8 \div 1,2$ эВ.

В настоящей работе исследовались кристаллы Хе, выращенные из жидкой фазы в ампуле, которая снабжена окном из LiF. Исходный газ Хе очищался предварительно жидким литием. Оптическая система измерения включает два вакуумных монохроматора типа ВМ-1 и проточную водородную лампу возбуждения. Сигнал регистрируется при помощи методики счета фотонов.

Краевая люминесценция ксенона при возбуждении ионизирующими излучениями наблюдалась ранее в работах [1 – 3], в которых максимум свечения определен при энергии $8,35 \div 8,33$ эВ. По поводу максимума первой экситонной (Γ_{15}) полосы поглощения литературные данные значительно расходятся, что объясняется разной дефектностью использованных тонких пленок ксенона. Правильнее определять поглощение по спектрам отражения больших кристаллов. В работах [4,5] первый максимум отражения кристаллов Хе около гелиевых температур найден при энергии $8,42 - 8,40$ эВ. На рис. 1,а приведен спектральный ход ϵ_2 , полученный из спектра отражения при помощи анализа Крамерса – Кронига, вместе со спектром собственной люминесценции Хе при рентгеновозбуждении. Узкая полоса краевой люминесценции с полушириной $\delta \leq \leq 35$ мэВ смещена от более широкой ($\delta \approx 130$ мэВ) полосы поглощения

примерно на 60 мэВ. Интенсивность этого свечения составляет 0,01 от интенсивности свечения при энергии 7,2 эВ. При оптическом возбуждении наблюдаются те же полосы (рис. 1, б), причем краевая полоса с максимумом при $8,35 \pm 8,37$ эВ имеет стоксовый сдвиг около 50 мэВ. Эта полоса возбуждается только в области экситонного поглощения, что подтверждает ее экситонную природу. Положение полосы от длины волны возбуждающего света не зависит. При $E > 8,4$ эВ регистрируется "хвост" возбуждающего света. Относительный выход краевой люминесценции при фотовозбуждении в среднем в 10 раз выше чем при рентгеновозбуждении. Полоса люминесценции, по-видимому, столь узка, что разница в реабсорбции при фото-и рентгеновозбуждении существенно не влияет на положение максимума полосы. Причина отсутствия резонансной с поглощением люминесценции экситона пока не ясна. Действительно, экситон обладает хорошей подвижностью. Нижний предел длины свободного пробега экситона по нашим оценкам составляет 500 Å.

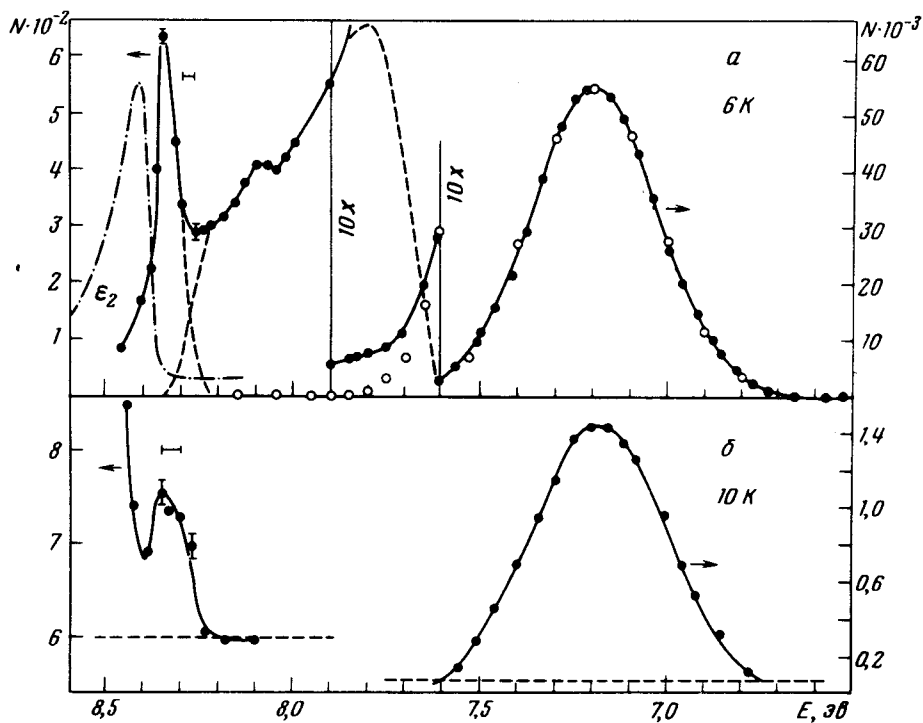


Рис. 1. Спектр собственной люминесценции кристалла Хе (число импульсов) при рентгеновозбуждении (а) и при возбуждении светом с энергией кванта $E = 8,8 \pm 0,2$ эВ (б)

Возможно, что краевое свечение обусловлено свободными экситонами, но стоксов сдвиг определяется поляритонным эффектом. Теоретическая оценка продольно-поперечного расщепления в Хе $\Delta E \approx 100$ мэВ, что близко к наблюдаемому сдвигу.

Краевая люминесценция постепенно переходит в интенсивную люминесценцию в полосе 7,2 эВ, которую мы связываем со свечением локализованного экситона Xe_2^* около структурного дефекта (вакансии) [3]. Автолокализованный экситон, Xe_2^* в "идеальной" решетке, светит в полосе 7,6 эВ но из-за высокого барьера ϵ между свободным и автолокализованным состоянием, экситон при низкой температуре автолокализоваться не может (рис. 2). Тушение свечения свободного экситона и перераспределение интенсивностей между полосами 7,2 и 7,6 эВ характеризуется одинаковой величиной потенциального барьера $\epsilon = 70 \pm 10$ мэВ.

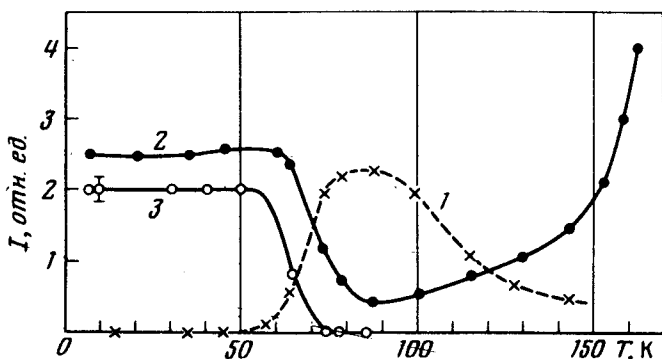


Рис. 2. Температурная зависимость интенсивностей полос свечения Xe : 1 — 7,6; 2 — 7,2; 3 — 8,35 эВ (на кривой 3 масштаб увеличен в 100 раз) при рентгеновском возбуждении

Отметим, что высокотемпературное обратное перераспределение характеризуется энергией 0,15 эВ, что практически совпадает с теоретическим значением энтальпии образования вакансии в кристалле [6]. Ксенон является единственным известным нам кристаллом, в котором высота барьера ϵ более чем в 10 раз превышает предельную энергию фона. Поэтому при низкой температуре такой барьер практически непреодолим. Определяемая по теории [7] прозрачность такого барьера к туннелированию при $T = 0$ К тоже мала ($D \sim 10^{-55}$). Следовательно, и туннельные процессы не могут играть существенную роль в процессе автолокализации экситона в Xe . Экспериментальные данные согласуются с этими выводами. Теоретически люминесценция с первого колебательного уровня молекулы Xe_2^* достаточно точно описывается распределением Гаусса. На рис. 1, а видно, что полоса 7,2 эВ действительно хорошо совпадает с кривой Гаусса (обозначена кружками) до энергии 7,6 эВ. Интенсивность полосы 7,6 эВ по крайней мере на несколько порядков меньше, чем полосы 7,2 эВ. При более высокой энергии свечение существенно интенсивнее. В области энергии 7,6 \div 8,3 эВ пунктиром представлена разность соответствующих кривых. Полученный контур представляет горячую люминесценцию, возникающую при колебательной релаксации квазимолекулы Xe_2^* . Горячая люминесценция проявля-

тся и в полосе 7,6 эВ при азотной температуре. Весь спектр свечения Xe_2^* хорошо описывается по теории вторичного свечения примесных центров кристаллов [8].

Величина барьера ϵ тесно связана с шириной экситонной зоны V . В существующих теориях высоты барьера [9, 10] не учитывается квазимолекулярный характер автолокализованного экситона и поэтому их результаты для Хе могут быть использованы лишь для приближенной оценки. Можно оценить V по [9], не используя прямо экспериментальное значение стокового сдвига свечения автолокализованного экситона. При этом мы, опираясь на свой "квазимолекулярный" расчет экситона в ксеноне, могли показать, что параметр теории, определяющий высоту барьера, должен иметь значение в пределах $1,5 < S^2/V < 2$. Этому соответствует ширина экситонной зоны $V = 0,8 + 1,2$ эВ.

Авторы выражают благодарность Г.Г. Лийдя, Ч.Б. Луцику и В.В. Хижнякову за обсуждение работы.

Институт физики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
7 июля 1978 г.

Литература

- [1] J.M.Debever, A.Bonnot, A.M.Bonnot, F.Coletti, J. Hanus. Solid State Comm., 14, 989, 1974.
- [2] И.Я. Фуголь, Г.А.Белов, Е.В.Савченко, Б.Ю.Полторацкий. ФНТ, 1, 203, 1975.
- [3] Р.А.Кинк, А.Э.Лыхмус. Изв. АН СССР, сер. физ., 42, 466, 1978.
- [4] I.T.Steinberger, U.Asaf. Phys. Rev., B8, 914, 1973.
- [5] Р.А.Кинк, А.Э.Лыхмус. ФНТ, 2, 277, 1976.
- [6] M.Doyma, R.Cotterill. Phys. Rev., B1, 832, 1970.
- [7] С.В.Иорданский, Э.И.Рашба. ЖЭТФ, 74, 1872, 1978.
- [8] В.Хижняков, И.Ребане. Изв. АН ЭССР, сер. физ.мат., 26, 260, 1977.
- [9] В.В. Хижняков, А.В.Шерман. Труды ИФ АН ЭССР, 46, 120, 1976.
- [10] Э.И.Рашба. ФНТ, 3, 525, 1977.