

- [7] Wallace W. E. Rare Earth Intermetallics. N. Y. — London: Acad. Press., 1973. 266 p.
[8] Луцис Р. В., Котерлин М. Д., Бабич О. И., Бодак О. И. ФТТ, 1984, т. 26, № 4, с. 1182—1184.

Львовский госуниверситет
им. Ив. Франко
Львов

Поступило в Редакцию
15 июля 1987 г.
В окончательной редакции
27 ноября 1987 г.

УДК 535.343.2

Физика твердого тела, том 30, в. 5, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 5, 1988

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ЭКСИТОНОВ, ВЫЗВАННАЯ ИЗМЕНЕНИЯМИ ТЕМПЕРАТУРЫ В КРИСТАЛЛАХ CdSe

А. Е. Чередниченко, А. С. Батырев, И. П. Калмыкова

Особенности спектров фотолюминесценции (ФЛ) кристаллов свидетельствуют о возможности приповерхностной локализации экситонов флуктуациями хаотического потенциала [1]. В спектрах низкотемпературной ФЛ некоторых кристаллов CdSe в области температур $T < 20$ К наблюдается широкая поверхностно-чувствительная полоса, обусловленная излучением экситонов, локализованных флуктуациями приповерхностного потенциала (заряда) [2]. Вместе с тем флуктуации потенциала, в том числе в объеме полупроводника, могут возникать, например, в результате термической ионизации центров (дефектов, примесей). Возможно ли возникновение локализованных состояний в этом случае?

Для исследования такой возможности в настоящей работе изучены спектры ФЛ монокристаллов CdSe в широком интервале температур. Для исследований были отобраны образцы, в спектрах которых при $T < 20$ К были обнаружены полосы излучения, обусловленные экситонами, локализованными на флуктуациях приповерхностного потенциала (заряда) [2].

На рис. 1 приведены типичные для исследованной партии образцов спектры ФЛ в интервале температур 26—40 К (а) и 40—55 К (б). В спектре проявляются линии излучения свободных экситонов A_{n-1} , связанных на нейтральном доноре экситонов I_2 , а также полоса фоновое повторения A_{n-1} ($f=1$).¹ По мере увеличения температуры наблюдается уменьшение интенсивности ФЛ; характерно, что структура излучения I_2 оказывается более устойчива к температуре, чем A_{n-1} . Отмечается также значительное уширение I_2 (кривая 4). Нагрев образца от 26 до 40 К приводит к формированию новой структуры в спектрах ФЛ, проявляющейся на коротковолновом спаде полосы фоновое повторения. При $T=38$ К (кривая 3) эта структура проявляется в виде полосы, обозначенной нами X_T , с максимумом при $\lambda \approx 6850$ Å. Уже при незначительном повышении температуры до 40 К максимум полосы первоначально смещается в длинноволновую область и уменьшается по интенсивности (сравни кривые 3 и 4). Однако при дальнейшем повышении температуры на фоне общего уменьшения интенсивности экситонного излучения в интервале 43—48 К наблюдается аномалия (рис. 1, б). Как видно из рисунка, в этом температурном интервале интенсивность полосы X_T увеличивается, причем ее максимум смещается в коротковолновую область спектра. Аномаль-

¹ В спектральном интервале между A_{n-1} и I_2 можно также наблюдать линию излучения приповерхностного экситона I_s [1].

ное поведение полосы характерно для узкого интервала температур (как видно из вставки), при дальнейшем повышении температуры полоса X_T монотонно уменьшается. При этом происходит быстрое смещение ее максимума в длинноволновую область спектра. При температурах жидкого азота и выше полоса является доминирующей в спектре ФЛ.²

На рис. 2 в увеличенном масштабе показаны изменения с температурой спектра ФЛ в области линий $A_{n=1}$ и связанного экситона I_2 . Как видно из рисунка, при $T=40$ К линия I_2 представляет значительно уширенную полосу излучения. При плавном изменении температуры полоса начинает

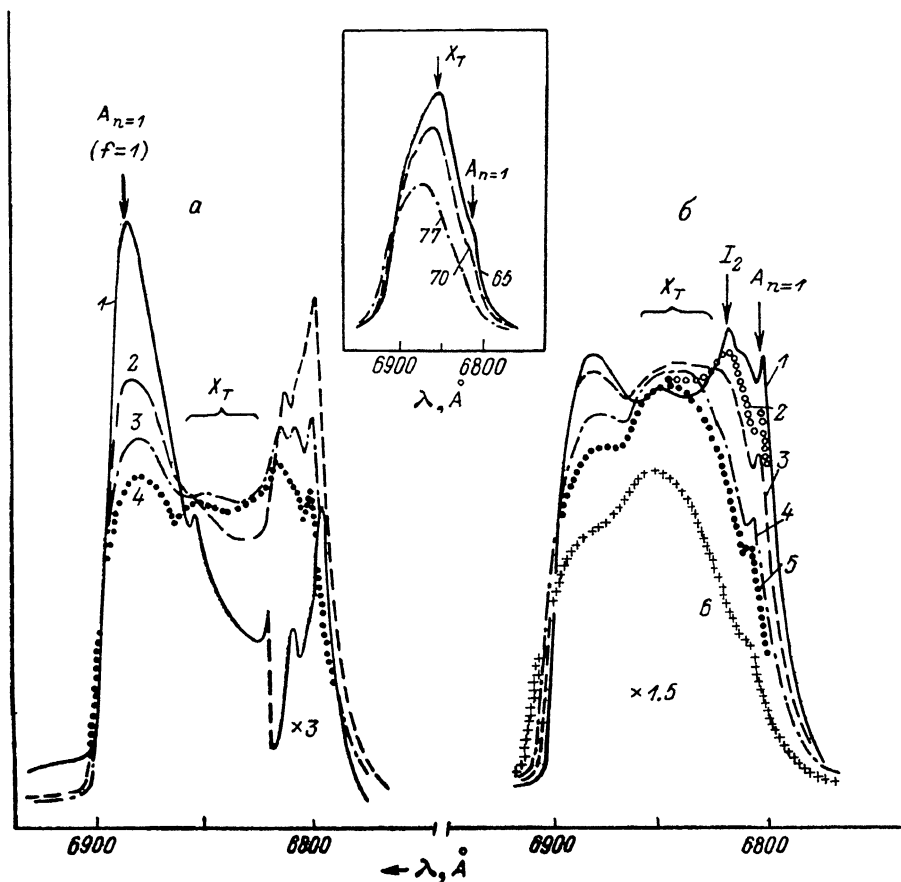


Рис. 1. Спектры ФЛ кристалла CdSe при возбуждении светом ртутной лампы в интервале температур (а) 26—40 К; (б) 40—55 К, $E \perp C$.

а: 1 — 26, 2 — 35, 3 — 38, 4 — 40 К; б: 1 — 40, 2 — 43, 3 — 44, 4 — 48, 5 — 50, 6 — 55 К. На вставке — спектры ФЛ при дальнейшем повышении температуры.

исчезать, начиная с ее коротковолновой области (сравни кривые 2, 3), причем ее исчезновение происходит в интервале температур 43—48 К. В спектре ФЛ при $T=48$ К полоса I_2 отсутствует (кривая 4).

Спектральное проявление полосы X_T , ее характерные зависимости от температуры позволяют приписать ее излучению экситонов, локализованных на флуктуациях потенциала, вызванных заряженными центрами. Действительно, нагрев полупроводниковых кристаллов приводит к термической ионизации мелких центров и, как следствие, возникновению хаотического потенциального рельефа. В кристаллах CdSe такими центрами могут быть, в частности, мелкие доноры собственного происхожде-

² Аналогичная широкая полоса в спектрах ФЛ кристаллов CdSe при $T=77$ К наблюдалась в [3]. Авторы [3] приписали ее излучению свободного экситона.

ния, а также структурные несовершенства (дефекты), дающие мелкие уровни донорного (акцепторного) типа. В ямах такого рельефа в принципе возможна локализация экситонов (или носителей). Общее число возможных состояний и конфигураций для локализации растет с температурой вследствие ионизации центров, что приводит к появлению в спектрах ФЛ излучения локализованных (экситонных) состояний. Наблюдаемые эффекты уменьшения интенсивности X_T -полосы, относительный сдвиг ее максимума в длинноволновую область с ростом температуры в области $T > 48$ К (вставка к рис. 1) объясняются делокализацией состояний, начиная с самых мелких.

В пользу экситонной природы этой полосы свидетельствует обнаруженная температурная аномалия ФЛ. Действительно, наблюдающийся в интервале 43—48 К эффект исчезновения полосы I_2 , начиная с ее коротковолновой части, наиболее естественным образом объясняется термическим выбросом электронов из донорных уровней. Делокализация

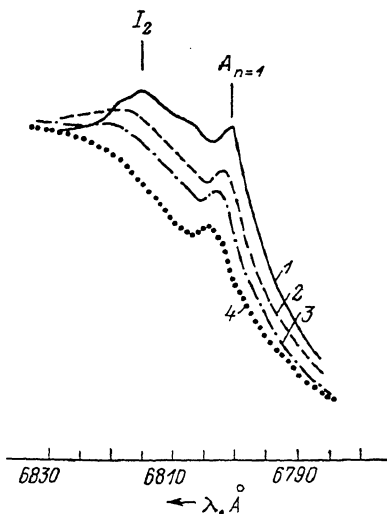


Рис. 2. Спектры ФЛ кристалла CdSe.

1 — 40, 2 — 43, 3 — 46, 4 — 48 К.

за счет донорных электронов здесь происходит, по-видимому, аналогично процессу делокализации I_2 -состояний в сильнолегированных образцах CdS [4], где линия I_2 также сильно уширена. Фактически мы наблюдаем «перекачку» экситонного излучения из одного канала (I_2 -полоса) в другой (X_T -полоса), что проявляется в увеличении интенсивности последней. Коротковолновое смещение полосы (рис. 1, б), происходящее в указанном температурном интервале, является следствием заполнения плотности состояний в системе локализованных состояний аналогично эффекту увеличения интенсивности возбуждения.

Авторы выражают благодарность Б. В. Новикову за поддержку исследований и В. А. Киселеву за плодотворные дискуссии.

Л и т е р а т у р а

- [1] Киселев В. А., Новиков Б. В., Чердниченко А. Е. Экситонная спектроскопия приповерхностной области полупроводников. Л.: Изд-во ЛГУ, 1987. 160 с.
- [2] Чердниченко А. Е., Батырев А. С., Калмыкова И. П. ФТТ, 1987, т. 29, № 11, с. 3393—3396.
- [3] Балтрамеюнас Р., Куокитис Э., Тамулайтис Г. Лит. физ. сб., 1986, т. 26, № 1, с. 56—61.
- [4] Гросс Е. Ф., Пермогоров С. А., Резницкий А. Н., Усаров Е. Н. ФТП, 1973, т. 7, № 7, с. 1255—1262.

Ленинградский государственный университет им. А. А. Жданова
НИИФ
Ленинград

Поступило в Редакцию
1 декабря 1987 г.