

05;07;10

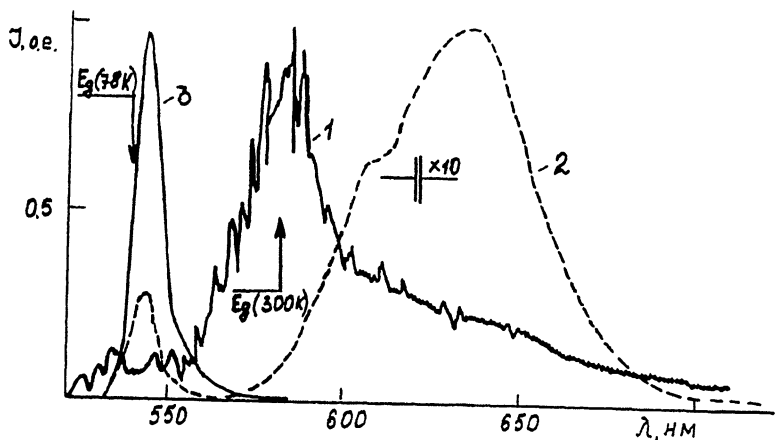
©1995

## СВЕРХБЫСТРАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ДИЙОДИДА РТУТИ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ СИНХРОТРОННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

*Б.В.Шульгин, В.А.Пустоваров, С.И.Горжунова, Э.И.Зинин*

Дийодид ртути  $\text{HgI}_2$  красной тетрагональной модификации  $D_{4h}^{15} - P4_2/nmc$ ,  $a = 4.36 \text{ \AA}$ ,  $c = 12.45 \text{ \AA}$  — прямозонный полупроводник ( $E_g = 2.13, 2.30$  и  $2.37 \text{ эВ}$  при 300, 78 и 4.2 К соответственно), используемый в качестве детекторов ядерного излучения [1]. Это одно из первых соединений, в котором были обнаружены экситоны (Гросс Е.Ф., Каплянский А.А. [2-3]). Спектры фотолюминесценции  $\text{HgI}_2$  при 4.2 К впервые описаны в работах Феофилова П.П. [4], Гросса Е.Ф. и Каплянского А.А. [3], позже — другими авторами [5-10]. При 4.2 К была обнаружена экситонная люминесценция с  $\lambda_0 = 529.7 \text{ нм}$ ,  $\lambda_1 = 531.7 \text{ нм}$  и  $\lambda_2 = 532.1 \text{ нм}$  (линии  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  соответствуют люминесценции экситонов, связанных с дефектами [1]). Спектр при 4.2 К имеет многочисленные фоновые повторения ( $LO$  и  $TO$  фононы с энергией 114, 29 и  $17 \text{ см}^{-1}$ ). Экситон-поляритонная фотолюминесценция  $\text{HgI}_2$  в области  $\lambda_0$  описана в работе [5]. Фотолюминесценция  $\text{HgI}_2$  при больших мощностях лазерного возбуждения характеризуется линиями 533.3 нм (биэкситон при 300 К) или линиями 536 и 544 нм (при 78 К), соответствующими экситон-электронному взаимодействию [6-9]. В спектрах фотолюминесценции могут наблюдаться также полосы, обусловленные примесными (630 и 760 нм) или собственными дефектами решетки (560 нм при 78 К) — предположительно вакансиями йода. В работе [10] при 300 К обнаружена обладающая развитой линейчатой структурой краевая и надкраевая импульсная катодолуминесценция (ИКЛ) кристаллов  $\text{HgI}_2$  ( $\lambda = 575\text{--}580 \text{ нм}$ ,  $\tau = 2.1 \text{ мкс}$ ), связываемая с излучательной рекомбинацией нерелаксированных электронов и дырок вблизи дефектов с участием фононов.

В настоящем сообщении приведены новые данные о спектрах и кинетике затухания люминесценции  $\text{HgI}_2$  и об обнаружении сверхбыстрой (субнаносекундной) компоненты люминесценции при возбуждении образцов синхротронным излучением (СИ).



Спектры стационарной люминесценции (1, 2) и сверхбыстрой компоненты свечения (3) кристаллов  $\text{HgI}_2$  при возбуждении синхротронным излучением при 295 К (1) и 78 К (2, 3).

Исследовались кристаллы  $\text{HgI}_2$ , те же, что и в работе [8] (кристаллы были выращены Смирновым Ю.М. и Родионовой Г.Е. в Тверском государственном университете и имели размеры  $10 \times 10 \times 1$  мм).

Для возбуждения люминесценции использовали СИ накопителя ВЭПП-3 Института ядерной физики СО РАН. Длительность возбуждающих импульсов СИ  $\sigma = 430$  пс ( $\sigma$  — параметр гауссиана, описывающего форму импульсов СИ), частота следования импульсов  $\sim 4$  МГц. Использовали СИ рентгеновского диапазона с энергией 5–60 кэВ. Для ослабления интенсивности СИ применяли калиброванные фильтры из медной фольги. Аппаратура и методика измерений на канале СИ описана в [11]. Измеряли стационарные, а также разрешенные во времени спектры люминесценции (СЛ) и кинетику затухания люминесценции в диапазоне 78–300 К. Параметры кинетики определяли из лучшего соответствия экспериментальной и расчетной свертки с предельным временным разрешением 100 пс, которое определяется длительностью импульса СИ.

СЛ кристаллов  $\text{HgI}_2$  при СИ-возбуждении представлены на рисунке. При 300 К стационарный СЛ (без временного разрешения) содержит три полосы с максимумами 534, 584, 630 нм. Полоса 584 нм соответствует краевому свечению нерелаксированных экситонов. Как и при возбуждении электронным пучком (см. подробнее [10]), в этой области СЛ наблюдается структура, обусловленная экситон-фононным взаимодействием, хотя в отличие от спектров ИКЛ при

СИ-возбуждении она менее выражена. Следует отметить, что СЛ распространяется на область выше края фундаментального поглощения (КФП), т.е. проявляется надкраевая люминесценция. Причем в СЛ наблюдается полоса 534 нм, которая отсутствует в спектрах ИКЛ, но фиксировалась ранее авторами [8,9] при мощном лазерном возбуждении. Ниже КФП в СЛ проявляется полоса 630 нм, связанная с примесными центрами свечения.

Время затухания краевого и надкраевого свечений при СИ-возбуждении при 300 К лежит в субнаносекундном диапазоне и составляет менее 100 пс.

Охлаждение до 78 К приводит к значительному росту квантового выхода как краевой люминесценции, так и люминесценции, связанной с примесными центрами (608 и 630 нм). Причем положение максимума краевой люминесценции четко отслеживает температурное смещение КФП (см. положение энергии  $E_g$  на рисунке). Так же как и при 300 К, проявляется надкраевая люминесценция (особенность в СЛ при 536 нм).

Время затухания краевого и надкраевого свечений при 78 К составляет менее 100 пс. Кинетика затухания люминесценции, связанной с примесными центрами, существенно отличается и содержит несколько компонент: для полосы 608 нм (измерено на спаде полосы при 580 нм) — менее 100 пс (60%), 80 нс (22%) и более 10 мкс (18%); для полосы 630 нм — 1.1 мкс (30%) и более 10 мкс (70%).

Кривая  $\beta$  на рисунке соответствует спектру сверхбыстрой компоненты свечения  $\text{HgI}_2$  при 78 К, полученному как разность СЛ, измеренных в момент возбуждения импульсом СИ и с задержкой 20 нс. Спектр охватывает область, примыкающую к КФП, и определяется излучением нерелаксированных экситонов, а также надкраевым свечением. Значительная протяженность СЛ сверхбыстрой компоненты от КФП в длинноволновую область указывает также на его связь с излучением экситонов, локализованных на мелких дефектах. По-видимому, как и для большинства полупроводников и некоторых диэлектриков [13], не процессы фоновой релаксации экситонов в зоне, а именно захват экситонов на дефектах решетки определяет столь малое время их жизни. Для надкраевой же люминесценции, обусловленной в  $\text{HgI}_2$  либо свечением метастабильных экситонов, либо рекомбинацией нерелаксированных электронов и дырок вблизи дефектов решетки с участием фононов, оценка времени жизни (по аналогии с  $\text{PbI}_2$  и  $\text{CdI}_2$  [12]) дает величину  $10^{-11}$ – $10^{-12}$  с. Это согласуется с приведенными выше экспериментальными данными.

Авторы благодарят Ю.М. Смирнова и Г.Е. Родионову за предоставление образцов, а также А.М. Халемского за поддержку работы.

### Список литературы

- [1] Гайслер В.А., Залетин В.М., Лях Н.В., Ножкина И.Н., Фомин В.И. Дийодид ртутн. Новосибирск: Наука, 1984.
- [2] Гросс Е.Ф., Каплянский А.А. // ЖТФ. 1955. Т. 25. В. 9. С. 1661-1663.
- [3] Гросс Е.Ф., Каплянский А.А., Новиков Б.В. // ЖТФ. 1956. Т. 26. В. 3. С. 697-700.
- [4] Архангельская В.А., Феофилов П.П. // ДАН СССР. 1956. Т. 108. N 5. С. 803-806.
- [5] Акоруан I., Novikov B., Permogorov S. et al. // Phys. Stat. Solidi (b). 1975. V. 70. P. 353-358.
- [6] Catalano I.M., Cingolani A., Ferrara M., Zugara M. // Solid State Commun. 1978. V. 26. N 11. P. 863-865.
- [7] Goto T., Nishina Y. // Solid State Commun. 1978. V. 25. P. 123-125.
- [8] Аюпян И.Х., Новиков Б.В., Пимоненко М.М., Разбирин Б.С. // Письма в ЖЭТФ. 1973. Т. 17. В. 8. С. 419-421.
- [9] Аюпян И.Х., Новиков Б.В., Пимоненко М.М., Разбирин Б.С. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1974. Т. 38. № 6. С. 1301-1303.
- [10] Соломонов В.И., Шульгин Б.В., Осипов В.В. и др. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 10. С. 29-33.
- [11] Зинин Э.И., Пустоваров В.А., Роголев А.Л. // VII Всес. конф. ВУФ-89: Тез. докл. Иркутск, 1989. С. 282-283.
- [12] Плезанов В.Г., Куусманн И.Л. // Труды ФИ АН ЭССР. 1976. Т. 46. С. 81-95.
- [13] Пермогоров С.А. Экситоны / Под ред. Э.Рашбы, М.Стерджа. М.; 1985.

Уральский государственный  
технический университет

Поступило в Редакцию  
9 июня 1995 г.