

05;07;10

©1995

ОСОБЕННОСТИ ИМПУЛЬСНОЙ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ HgI₂

*В.И.Соломонов, Б.В.Шульгин, В.В.Осипов,
Г.И.Пилипенко, С.Г.Мизайлов, И.Ю.Суркова*

Исследована импульсная катодолюминесценция (ИКЛ) прямогополупроводника йодида ртути HgI₂ красной, тетрагональной модификации (пространственная группа $D_{4h}^{15} - P4_2/n.m.c$ [1]), являющегося одним из первых соединений, в которых обнаружены экситоны [2]. Спектры фотолюминесценции (ФЛ) кристаллов HgI₂ при 4.2 и 78 К впервые описаны в работе [3], а позже в [4,5]. Известна также катодолюминесценция (КЛ) пленок HgI₂ при 100–400 К с максимумами при 560 и 618 нм, обусловленная дефектами решетки [1]. При $T > 260$ К в спектрах КЛ HgI₂ наблюдалась только одна полоса 618 нм. Во всех известных работах [1–5] интенсивная ФЛ и КЛ, а также экситонные и электрон-фононные эффекты наблюдались только при криогенной температуре. Применение нами для возбуждения люминесценции высокоэнергетических импульсных электронных пучков [6] позволило обнаружить проявление эффектов электрон-фононного взаимодействия в кристаллах HgI₂ при комнатной температуре и впервые обнаружить надкраевую люминесценцию этого соединения.

Мы исследовали кристаллы, выращенные Смирновым Ю.М. и Родионовой Г.Е. на кафедре прикладной физики Тверского государственного университета. Размеры полученных кристаллов от 6×6×3 до 10×10×4 мм. Для получения образцов кристаллы раскалывали по плоскостям спайности на пластины толщиной 0.5–1 мм; поверхность пластин подвергали травлению в растворе йодида аммония, промывали в бидистиллированной воде и сушили на воздухе.

Спектр поглощения и пропускания образцов HgI₂ измеряли на спектрофотометре "Specord-M400" при 300 К. ИКЛ возбуждали путем облучения образцов при 300 К в естественной воздушной среде электронным пучком с параметрами: средняя энергия электронов 160–200 кэВ, плотность электронного тока 200–400 А/см², длительность импульса — 2 нс. Электронный пучок формировался малогабаритным ускорителем (600×300×250 мм) типа РАДАН-220. Спектр люминесценции шириной 150 нм в диапазоне 510–

660 нм регистрировали с помощью дифракционного полихроматора, состыкованного с многоканальным фотоприемником на базе ПЗС-линейки и адаптированного с компьютером. Абсолютная погрешность измерения длины волны отдельной спектральной линии, с учетом точности градуировки полихроматора, не превышала ± 0.8 нм. Регистрация спектра ИКЛ осуществлялась в двух основных режимах: 1) квазинепрерывная регистрация с автоматическим усреднением спектральной информации по 15 импульсам электронного пучка, следующим с частотой повторения 5 Гц, при времени экспозиции одного кадра $T_0 = 20$ и 200 мс. Такой режим подобен традиционному фотографированию спектра — измеряется экспозиционная доза спектральных линий и полос; 2) однокадровая (импульсная) регистрация спектра. Нами он реализовался при $T_0 = 1$ мс с синхронизацией начала регистрации по импульсу запуска ускорителя электронов в пределах ± 1 мс. Этот режим подобен аналоговому режиму работы ФЭУ. Для изучения кинетики ИКЛ световое излучение направлялось на монохроматор и регистрировалось ФЭУ-79, сигнал с которого анализировался цифровым осциллографом С9-8 с временным разрешением 50 нс.

Анализ спектров пропускания и поглощения показал, что край поглощения исследуемых образцов приходится на $\lambda = 582-585$ нм. Спектры ИКЛ HgI_2 носят явно выраженный линейчатый характер, особенно при малом T_0 (рис. 1, а). Анализ этих спектров позволил выделить три группы линий, принадлежащих разным центрам (λ , нм):

564.7	663.7	566.5
569.6	568.3	571.4
574.2	573.0	576.0
578.8	577.3	581.2
583.9	582.1	586.1
589.4	587.9	590.6
593.9	592.7	595.1
	597.2	

Ярко выраженная структура в каждой группе линий обусловлена электрон-фононным взаимодействием. Энергетическое расстояние между линиями для всех выделенных центров оказалось равным 143 см^{-1} , что соответствует фононам симметрии $B_{1g}(\hbar\omega = 143) \text{ см}^{-1}$ [1] либо комбинации фонона симметрии $A_{1g}(\hbar\omega = 114 \text{ см}^{-1})$ и фонона $B_{1g}^2(\hbar\omega = 29 \text{ см}^{-1})$.

По своему спектральному положению ИКЛ йодида ртути носит краевой и надкраевой характер. Краевая и надкраевая ИКЛ наблюдались ранее только для образцов PbI_2

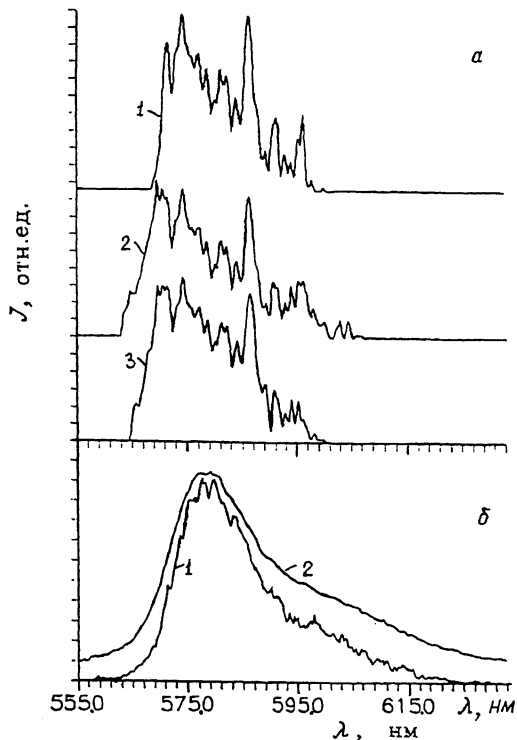


Рис. 1. Спектрограммы ИКЛ различных образцов 1, 2, 3 кристаллов HgI_2 при времени экспозиции 1 мс (а) и образца 1 при времени экспозиции 1 — 20 и 2 — 200 мс (2) (б).

и CdI_2 и связывались с излучением метастабильных экситонов [7]. Для HgI_2 надкраевая ИКЛ наблюдалась нами впервые. В отличие от PbI_2 и CdI_2 она может быть обусловлена рекомбинацией нерелаксированных электронов и дырок вблизи дефектов решетки с участием фононов.

Увеличение T_0 до 20 мс приводит к размытию структуры спектров (рис. 1, б, кривая 1), а до 200 мс — к почти полному их сглаживанию (рис. 1, б, кривая 2). При этом характер люминесценции остается надкраевым с максимумом при 575–580 нм. Механизм сглаживания до конца не выяснен.

Исследование кинетики ИКЛ показало, что максимум интенсивности достигается вначале для коротковолновой части надкраевой люминесценции (рис. 2). Спад интенсивности носит экспоненциальный характер. Времена послесвечения ИКЛ, измеренные в надкраевой (574.0 и 570.3 нм) и подкраевой (596.8 нм) областях спектра оказались соответственно равными $\tau = 2.14$; 1.96 и 2.21 мкс, что близко по величине к среднему времени жизни дырок $\tau_h = 2.5$ мкс [8],

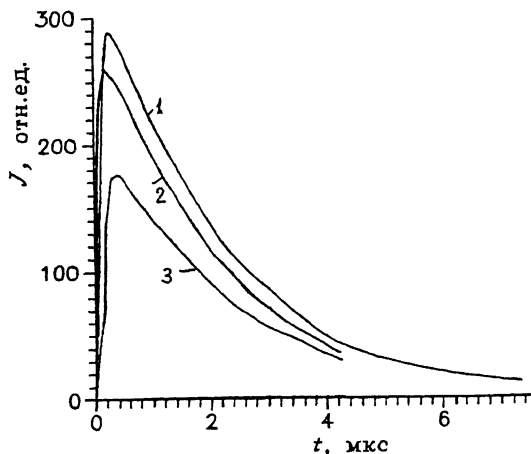


Рис. 2. Кинетика ИКЛ HgI_2 : 1 — $\lambda 574.0$; 2 — 570.3 и 3 — 596.8 нм.

время жизни электронов $\tau_e = 1$ мкс. Близость τ к τ_h показывает, что особенности рекомбинационного акта нерелаксированных носителей заряда в HgI_2 определяется дырочной компонентой.

Выводы

При 300 К обнаружена обладающая развитой линейчатой структурой краевая и надкраевая ИКЛ кристаллов HgI_2 с максимумом при $575\text{--}580$ нм и длительностью послесвечения 2.1 ± 0.07 мкс, которая обусловлена, по-видимому, излучательной рекомбинацией нерелаксированных электронов и дырок вблизи дефектов с участием фононов B_{1g} (143 см^{-1}) или комбинацией фононов симметрии A_{1g} (114 см^{-1}) и B_{1g}^2 (29 см^{-1}).

В заключение авторы благодарят Ю.М. Смирнова и Г.Е. Родионову за предоставление образцов HgI_2 для исследования и А.М. Халемского за поддержку в работе.

Список литературы

- [1] Гайслер В.А., Залетин В.М., Лях Н.В., Ножкина И.Н., Фомин В.И. Дийодид ртути. Новосибирск: Наука, 1984. 103 с.
- [2] Гросс Е.Ф., Каплянский А.А. // ЖТФ. 1955. Т. 25. В. 9. С. 1661–1663; ЖТФ. 1955. Т. 25. В. 12. С. 2062–2068.
- [3] Архангельская В.А., Феофилов П.П. // ДАН СССР. 1956. Т. 108. № 5. С. 803–806.
- [4] Горбань И.С., Рудько С.Н. // Опт. и спектр. 1962. Т. 12. В. 5. С. 610–615.
- [5] Аюпян И.Х., Новиков В.В., Пимоненко М.М., Разбирин В.С. // Письма в ЖЭТФ. 1973. Т. 17. В. 8. С. 419–421.

- [6] Михайлов С.Г., Осипов В.В., Соломонов В.И. // ЖТФ. 1993. Т. 63. В. 2. С. 52-64.
- [7] Плеханов В.Г., Куусманн И.Л. // Труды ИФ АН ЭССР. 1976. В. 46. С. 81-95.
- [8] Горн Л.С., Хазанов Б.И. Современные приборы для измерения ионизирующих излучений. М.: Энергоатомиздат, 1989. 232 с.

Уральский государственный
технический университет

Поступило в Редакцию
9 февраля 1995 г.