

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ КРИСТАЛЛОВ CdP₂

В. Г. Федотов, Г. В. Гатальский, В. М. Трухан

Институт физики твердого тела и полупроводников Белорусской академии наук,
220726, Минск, Беларусь
(Получена 16.08.1991. Принята к печати 13.03.1992)

Изучено влияние радиационного облучения электронами с энергией 4 МэВ и γ -квантами ⁶⁰Со на спектры люминесценции β -CdP₂. Обнаружено влияние оксидного слоя (CdO) на спектры люминесценции в диапазоне 2.2 ÷ 2.5 эВ. Высказывается предположение о возможности поверхностно усиленного радиационного упорядочения, что приводит к восстановлению сверхструктуры на поверхности кристалла в плоскости [010] и появлению поверхностной люминесценции в диапазоне 2.14 ÷ 2.2 эВ.

Большую роль в технологии и применении приборных структур играют оптические константы, константы радиационной стойкости, состояние поверхности. Представляется необходимым поиск новых активных методов воздействия на кристаллы CdP₂, прогнозирование изменений свойств материалов, управление структурной перестройкой объемных и приповерхностных областей в условиях радиационного воздействия и после различных видов обработки.

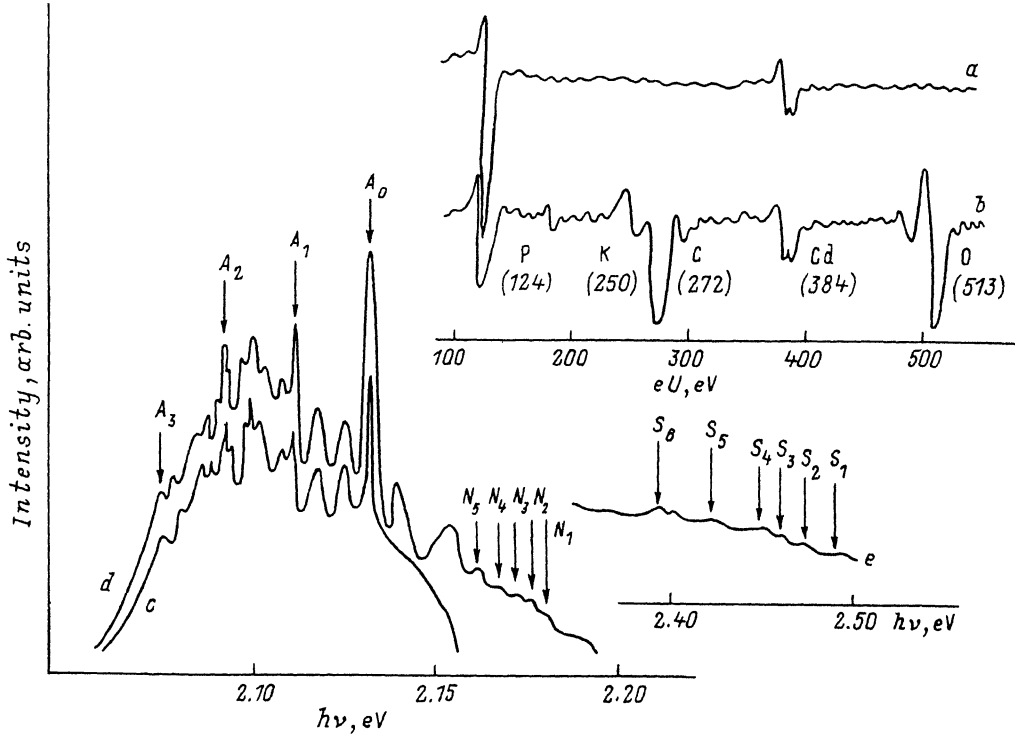
Указанные обстоятельства обусловили постановку данной работы, посвященной исследованиям фотолюминесценции (ФЛ) в облученных кристаллах.

Исследовались кристаллы CdP₂ тетрагональной модификации, выращенные из предварительно синтезированного вещества методом статической пересублимации. Радиационные дефекты вводились облучением электронами с энергией $E = 4$ МэВ и γ -квантами ⁶⁰Со при температуре, близкой к комнатной. Интегральные потоки составляли $3 \cdot 10^{14}$, $5 \cdot 10^{14}$, $2 \cdot 10^{15}$, $5.2 \cdot 10^{15}$ см⁻² для электронов и $5.2 \cdot 10^{15}$, $10.5 \cdot 10^{15}$, $2.7 \cdot 10^{16}$, $6.7 \cdot 10^{16}$ см⁻² для γ -квантов.

Измерения ФЛ проводились в диапазоне энергий 1.5 ÷ 3 эВ при температурах 4.2 и 77 К на образцах с естественными сколами [010], полированных и травленных в азотной кислоте.

Электронные оже-спектроскопические исследования поверхности образцов позволили обнаружить кроме линий кадмия и фосфора довольно интенсивную линию кислорода. Кроме этого, на поверхности присутствуют углерод и небольшое количество калия (см. рисунок, б). После обработки образцов в азотной кислоте и отжиге в парах фосфора отношение высоты пиков кадмия и фосфора менялось от 0.22 до 0.5. После выдержки на воздухе в течение 30 сут и облучения γ -квантами при температуре, близкой к комнатной, в оже-спектре произошло увеличение пиков углерода и кислорода, при этом интенсивность линии фосфора резко упала. Отношение интенсивности пиков кадмия и фосфора уменьшилось до 0.145, что свидетельствует об истощении поверхности фосфором и частичном обогащении кадмием.

После травления ионами аргона с энергией 1.5 кэВ скорость травления составляла в среднем 0.3 нм/мин, линия кислорода исчезла (см. рисунок, а).



Оже-спектр поверхности CdP_2 : *a* — после травления в кислоте; *b* — после γ -облучения при $T \approx 300$ К. Спектры фотолуминесценции $\beta\text{-CdP}_2$ при 4.2 К: *c* — скол в плоскости [010]; *d* — облученный в вакууме электронами $\Phi_e = 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$; *e* — после γ -облучения при 300 К.

Послойный анализ при распылении образца ионами аргона показал, что толщина оксидного слоя составляет 7 нм.

На рисунке, *c*, *d* представлены спектры ФЛ при 4.2 К исходного образца и образца после облучения электронами. В исходных образцах фиксируется серия пиков, обнаруженных ранее [1, 2]. В работе [2] весьма тщательно установлена экситонная природа этих пиков. В указанной работе впервые отмечается оксиальная природа центра, связанного экситонами с головной линией $A_0 = 2.1343$ эВ, которая к тому же расщеплена. Остальные линии объясняются на основе модели фононных спутников излучения экситон-примесного комплекса. В [3] предполагалось, что пики при 2.126 и 2.135 эВ обусловлены излучением связанного и свободного экситонов соответственно. К сожалению, предположения о природе этих пиков слабо обоснованы.

В случаях малых потоков облучения $\Phi_e < 10^{14} \text{ см}^{-2}$ спектр ФЛ ничем не отличается от исходного, но уже при $3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ появляется коротковолновый хвост ФЛ в диапазоне 2.14 ÷ 2.2 эВ со слабой структурой новых линий, интенсивность которых растет с увеличением потоков облучения.

После γ -облучения подавляется вся исходная тонкая структура. Одновременно проявляется новая весьма размытая и асимметричная полоска в диапазоне 2.2 ÷ 2.5 эВ (см. рисунок, *e*).

После травления в азотной кислоте на спектрах ФЛ полоса в указанном диапазоне энергий исчезла. При этом сохранился коротковолновый хвост ФЛ в диапазоне 2.14 ÷ 2.2 эВ.

Есть основание предполагать, что полоса ФЛ в диапазоне 2.2 ÷ 2.5 эВ вызвана образованием на поверхности образца пленки ментепонита (CdO), ширина за-

запрещенной зоны которого по одним данным 2.3 ± 2.4 эВ [4], а по другим — 2.68 эВ [5].

Остановимся на анализе полученных результатов.

Как следует из [6], при непрямом переходе ширина запрещенной зоны, определенная по краю поглощения, составляет при 2 К (E || C) 2.153 эВ и (E ⊥ C) 2.152 эВ, т. е. слабо зависит от поляризации. Эта величина согласуется с нашими данными по ФЛ для необлученных образцов, где экситонная структура проявляется при $h\nu < E_g$. Однако в образцах, облученных электронами, тонкая структура наблюдается и при $h\nu > 2.152$ эВ.

В γ -облученных образцах после травления наблюдается широкая полоса со слабой структурой. Указанное свечение можно связать с поверхностным эффектом [7]. В условиях объемного излучения свечение с $h\nu > E_g$ маскируется сильным самопоглощением. В то же время подобных ограничений не существует для чисто поверхностной ФЛ.

По нашему мнению, после облучения произошло восстановление сверхструктуры на поверхности кристаллов, так называемого «поверхностного усиленного радиационного упорядочения» [8]. Сущность этого эффекта заключается в том, что исходный поверхностный слой характеризуется определенной метастабильностью, обусловленной большой концентрацией дефектов. После облучения происходит ускорение релаксации материала к равновесному состоянию в направлении радиационно-стимулированного флуктуационного фазового перехода. Как известно, наличие в гамльтониане (CdP_2) инварианта Лифшица позволяет осуществлять подобный фазовый переход [9].

Выход сверхрешетки на поверхность позволяет наблюдать соответствующее излучение, энергия которого превышает ΔE_g , обусловленное основной решеткой кристалла. Образование минизон на поверхности CdP_2 в направлении плоскости [010] имитирует возникновение «широкозонной фазы».

В качестве альтернативной модели следует рассматривать возможность проявления в ФЛ квазидиэлектрической фазы с ΔE_g , большей, чем в CdP_2 . Активизация (или возникновение) таких фаз после ионно-плазменной обработки CdP_2 отмечалась в [10]. В нашем случае не исключено действие γ -облучения не только на CdP_2 , но и на естественные широкозонные оксиды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] W. Wardzynski, A. Wogakowski, W. Zdanowicz. Phys. Lett., A29, 547 (1969).
- [2] R. Bindemann, H. Fisher, K. Kreher. Phys. St. Sol. (b), 69, K79 (1975).
- [3] В. С. Вавилов, В. С. Коваль, В. Д. Негрий и др., ФТП, 6, 281 (1972).
- [4] М. Родо. Полупроводниковые материалы. М. (1971).
- [5] В. К. Милославский, О. Н. Шкляревский. ФТП, 5, 926 (1971).
- [6] Н. Н. Сырбу. Оптоэлектронные свойства A^2B^5 , 155. Кишинев (1983).
- [7] Ж. Панков. Оптические процессы в полупроводниках. М. (1973).
- [8] С. А. Груша, А. М. Евстигнеев, Р. В. Конакова и др. Поверхность, вып. 6, 125 (1990).
- [9] Г. П. Чуйко. УФЖ, 34, 23 (1989).
- [10] Л. А. Витюцкая, Л. Т. Литкин, Е. С. Чирвина. Тез. докл. УШ Всес. координац. совещ. «Материаловедение полупроводниковых соединений группы A^2B^5 », 85. Черновцы (1990).

Редактор В. В. Чалдышев