

КРАЕВАЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРИСТАЛЛОВ n -InP, ОБЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ $3.5 \div 4$ МэВ

Коршунов Ф. П., Радауцан С. И., Соболев Н. А.,
Тигиняну И. М., Урсаки В. В., Кудрявцева Е. А.

Установлено, что облучение кристаллов n -InP электронами приводит к появлению в спектре краевой фотолюминесценции (ФЛ) двух узких полос при энергиях 1.305 и 1.392 эВ ($T = 4.2$ К), которые связываются с излучательными переходами свободных электронов на два уровня акцепторного дефекта In_P . Найдено, что начиная с дозы электронного облучения $D \approx 3 \cdot 10^{16}$ см $^{-2}$ происходит удаление свободных носителей из n -InP и усиление спада интенсивности донорно-акцепторной (1.376 эВ) и экситонной (1.416 эВ) полос ФЛ.

В последнее время опубликован ряд работ, посвященных изучению глубоких уровней в фосфиде индия, облученном высокоэнергетичными электронами, методом нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней (см.,

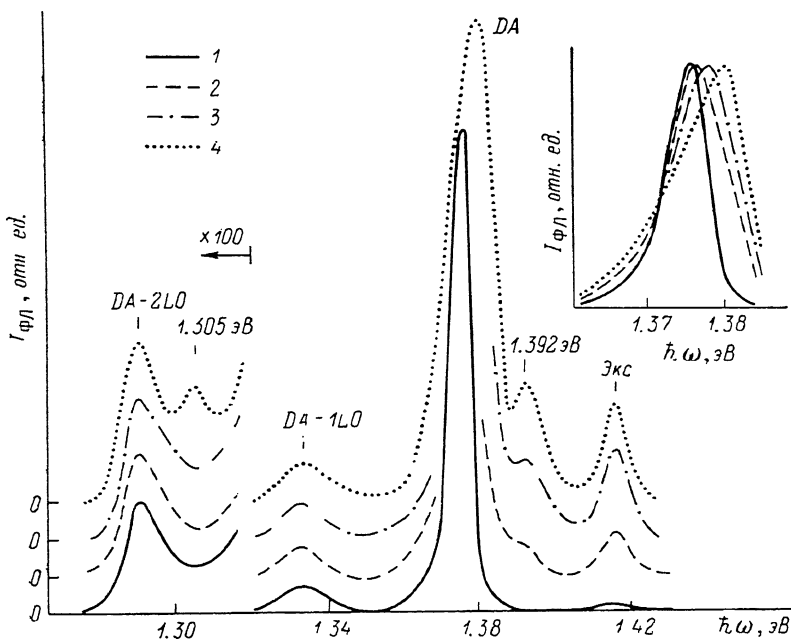


Рис. 1. Спектры ФЛ кристаллов n -InP, облученных электронами.

$T = 4.2$ К. D , см $^{-2}$: 1 — 0, 2 — $5 \cdot 10^{15}$, 3 — $3 \cdot 10^{16}$, 4 — $7 \cdot 10^{16}$. На вставке — изменение с облучением DA-полосы.

например, [1, 2]). Существенно меньше внимания уделено исследованию влияния облучения электронами на процессы излучательной рекомбинации в фосфиде индия [3]. Данная работа посвящена исследованию спектров краевой фотолюминесценции (ФЛ) кристаллов n -InP при температуре $T = 4.2$ К после облучения электронами с энергией $3.5 \div 4$ МэВ при различных дозах ($5 \cdot 10^{15} - 3 \cdot 10^{17}$ см $^{-2}$).

Исходные специально не легированные монокристаллические пластины n -InP выращены методом Чохральского с жидкостной герметизацией расплава. Концентрация электронов и их подвижность при 300 К составляли $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и $3550 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ соответственно. Облучение электронами проводилось при комнатной температуре. ФЛ возбуждалась светом аргонового лазера, спектральное разрешение было не хуже 1 мэВ. В целях сравнения была определена также концентрация носителей в облученных образцах путем измерения эффекта Холла при $T=300 \text{ К}$.

В спектре краевой ФЛ исходных кристаллов n -InP наблюдаются полосы с максимумами при 1.416 и 1.376 эВ (рис. 1, кривая 1), связанные с экситонной

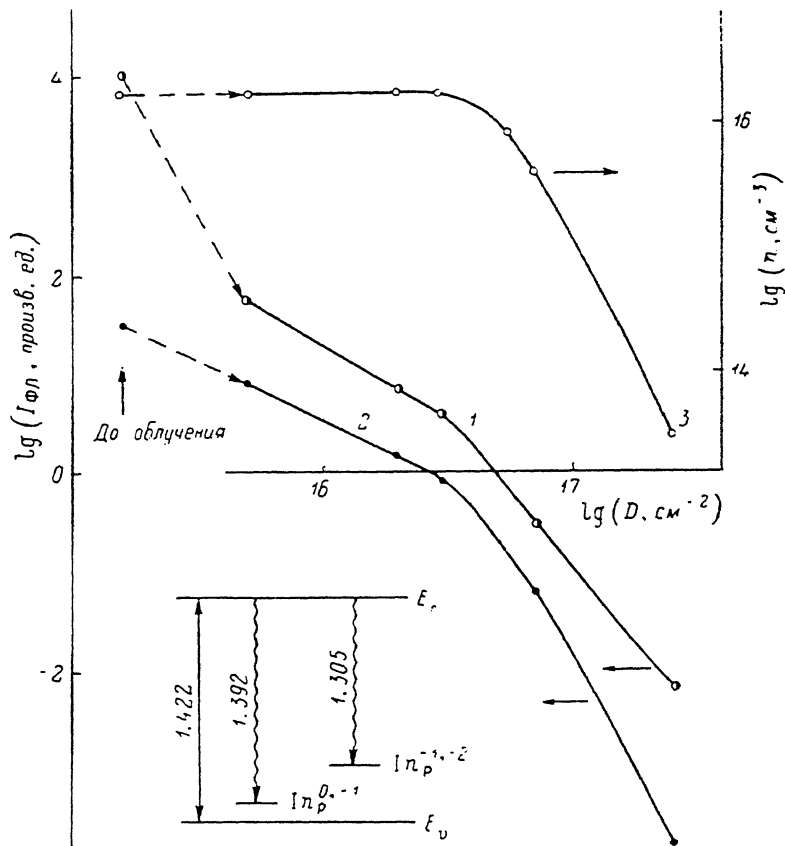


Рис. 2. Зависимость интенсивности донорно-акцепторной (1) и экситонной (2) полос ФЛ, а также концентрации электронов в кристаллах n -InP (3) от дозы электронного облучения D .

На вставке — схема уровней дефекта InP и электронных переходов с его участием.

рекомбинацией и рекомбинацией носителей через донорно-акцепторные (DA) пары соответственно [4]. Полоса при 1.376 эВ сопровождается двумя LO-фононными повторениями. Облучение электронами приводит к заметному уширению DA-полосы и к смещению ее максимума в коротковолновую область (см. вставку на рис. 1). Возможно, что данная полоса не элементарна, и при электронном облучении происходит изменение относительного вклада отдельных пиков в формировании ее контура. Отметим, что кривые на рис. 1 нормированы, в действительности же после электронного облучения наблюдается резкое уменьшение интенсивности как донорно-акцепторной, так и экситонной полос (рис. 2).

Как видно из рис. 1, кроме указанных изменений, облучение электронами вызывает появление двух новых полос ФЛ с максимумами при энергиях 1.305 и 1.392 эВ. Следует подчеркнуть, что полоса при 1.305 эВ была обнаружена ранее в слоях InP, обогащенных индием путем ионной имплантации, и была отнесена к излучательному переходу свободного электрона на центр $\text{In}\bar{\text{P}}$ [5]. Что касается полосы ФЛ при 1.392 эВ, то она была отмечена ранее в работе [3].

Поскольку антиструктурный дефект In_P является двухзарядным акцептором, следует по аналогии с дефектом Ga_{As} в арсениде галлия [6] ожидать наличие в спектре ФЛ InP двух отдельных полос, связанных с ним. Согласно [5], вторая энергия ионизации E_2 акцепторного центра In_P составляет 115 мэВ (см. вставку на рис. 2). Величина первой энергии ионизации E_1 , согласно приближению эффективной массы, должна быть в 4 раза меньше, чем E_2 , т. е. $E_1 \approx 30$ мэВ. Значение E_1 хорошо согласуется с разностью между величиной E_g фосфида индия при $T=4.2$ К и энергией 1.392 эВ. Следовательно, полоса ФЛ при 1.392 эВ может быть отнесена к излучательному переходу свободного электрона на центр In_P .

Перейдем к краткому анализу особенностей спада интенсивности полос ФЛ InP с увеличением дозы электронного облучения D .

Как видно из рис. 2, облучение кристаллов электронами при дозе $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ вызывает более сильный спад интенсивности DA -полосы, чем экситонной. При $D > 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ кратность спада интенсивности ФЛ примерно одинакова для обеих полос, причем при дозах $D \geq 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ происходит увеличение скорости спада интенсивности ФЛ с дозой облучения (рис. 2, кривые 1, 2). Интересно отметить, что начиная именно с дозы $D \approx 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ наблюдается уменьшение концентрации свободных электронов в подвергнутых облучению пластинах $n\text{-InP}$ (рис. 2, кривая 3). Последний факт может найти объяснение, если предположить, что при дозах $D \geq 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ происходит преимущественное образование акцепторных центров, компенсирующих электронную проводимость. Таковыми могут быть, в частности, дефекты In_P и V_{In} , образование которых может происходить в результате преобразования вакансий фосфора согласно реакции $V_P \rightarrow \text{In}_P + V_{\text{In}}$. Другим адекватным объяснением может служить ассоциация неконтролируемых донорных примесей, отвечающих за электронную проводимость кристаллов, с радиационными дефектами.

Список литературы

- [1] Tapster P. R. // J. Cryst. Growth. 1983. V. 64. N 1. P. 200—205.
- [2] Levinson M., Benton J. L., Temkin H., Kimerling L. C. // Appl. Phys. Lett. 1982. V. 40. N 11. P. 990—992.
- [3] Bandet F., Fabre F., Frandon J., Vacquet G., Reynand F. // Sol. St. Commun. 1985. V. 54. N 9. P. 767—770.
- [4] White A. M., Dean P. J., Fairhurst K. M., Bardsley W., Williams E. W., Day B. // Sol. St. Commun. 1972. V. 11. N 9. P. 1099—1103.
- [5] Пышная Н. Б., Радауцан С. И., Тигиняну И. М., Урсаки В. В. // ЖПС. 1988. Т. 49. В. 2. С. 312—314.
- [6] Георгобиани А. Н., Тигиняну И. М. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 1. С. 3—15.

Институт физики твердого тела и полупроводников

АН БССР

Минск

Институт прикладной физики

АН МССР

Кишинев

Получена 13.02.1989

Принята к печати 26.04.1989