

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗБУЖДЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ Yb^{3+} В $\text{InP}\langle\text{Yb}\rangle$

Захаренков Л. В., Касаткин В. А., Савельев В. П.

Высокая концентрация иона иттербия в кристаллах фосфида индия, как показано в [1], не гарантирует стимуляции его внутрицентральной люминесценции. С другой стороны, в [2-3] отмечалось, что на возбуждение люминесценции Yb^{3+} влияет неконтролируемый примесной фон фосфида индия. При этом в [2] было обнаружено повышение эффективности возбуждения иона иттербия в полупроводнике *n*-типа проводимости.

В настоящей работе приведены результаты исследования влияния концентрации электронов в $\text{InP}\langle\text{Yb}\rangle$ на интенсивность люминесценции иона иттербия в эпитаксиальных слоях (ЭС), выращенных из нестехиометрических расплавов [4]. Особенность технологического процесса заключалась в приготовлении раствора-расплава с постоянной концентрацией иттербия 0.1 мас. %.

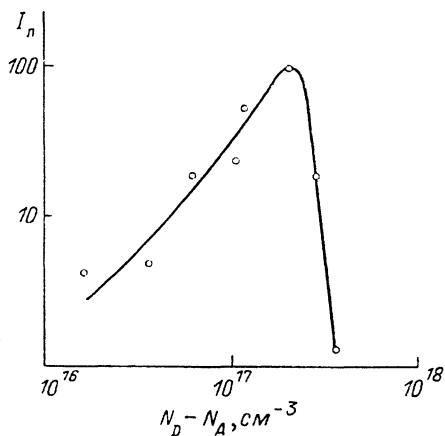


Рис. 1. Зависимость интенсивности фотолюминесценции Yb^{3+} от концентрации электронов.

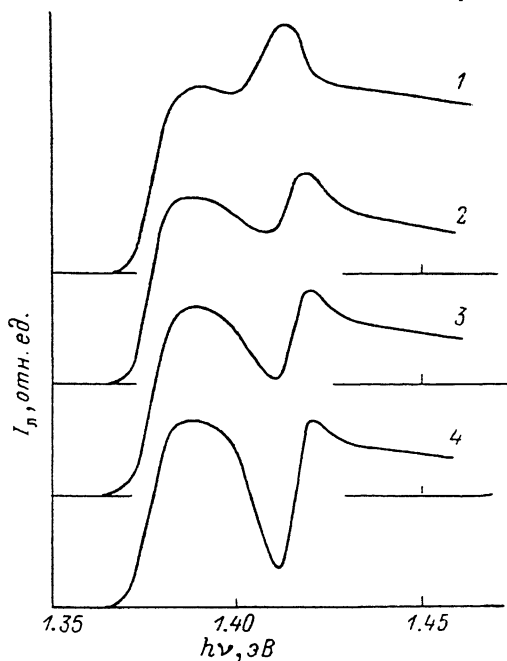


Рис. 2. Спектры возбуждения люминесценции с $h\nu=1.37$ эВ в эпитаксиальных слоях InP . Слой: 1 — нелегированные, 2-4 — легированные Yb (0.1 мас. % в расплаве); n , см^{-3} : 1 — $1.7 \cdot 10^{17}$, 2 — $3.5 \cdot 10^{18}$, 3 — $1.3 \cdot 10^{17}$, 4 — $2.1 \cdot 10^{17}$. $T=18$ К.

Согласно данным [5], совместное легирование ЭС донорами и редкоземельными элементами не приводит к увеличению концентрации последних. Несмотря на то что концентрация иттербия в эпитаксиальном слое должна уменьшаться с увеличением концентрации электронов, т. е. с ростом концентрации доноров в расплаве, в спектре фотолюминесценции наблюдалось возрастание интенсивности люминесценции иона Yb^{3+} (рис. 1). Рост интенсивности люминесценции иона иттербия сопровождался гашением излучательной рекомбинации через мелкие примеси и связанные экситоны. При максимальном значении интегральная интенсивность внутрицентрального перехода превышала в 8-10 раз интегральную интенсивность люминесценции других каналов излучательной рекомбинации неравновесных носителей заряда.

С целью выяснения причин возрастания интенсивности внутрицентральной люминесценции в эпитаксиальных слоях были предприняты попытки получения слоев с увеличенным содержанием иона иттербия за счет его большего введения

в расплаве. Увеличение концентрации иттербия в расплаве от 0.1 до 0.2 мас%, без изменения концентрации донорной примеси привело к падению интегральной люминесценции эпитаксиальных слоев, причем в спектрах продолжала доминировать излучательная рекомбинация через мелкие примеси. При содержании иттербия более 0.2 мас% в слоях наблюдалось появление дефектов роста. Аналогичное явление было отмечено и в [1].

Таким образом, экспериментальные данные свидетельствуют о том, что возрастание эффективности люминесценции иона иттербия в слоях обусловлено в первую очередь изменением примесного состава мелких доноров и акцепторов, а не увеличением концентрации ионов иттербия. К сожалению, нам не удалось определить концентрацию ионов иттербия непосредственным образом, однако использование в технологическом процессе донорных примесей, которые в расплаве склонны образовывать с редкими землями комплексы и в этом виде не входят в кристалл [5], не могло содействовать увеличению концентрации ионов иттербия в слоях. Действительно, дальнейшие попытки повысить концентрацию электронов привели к исчезновению в люминесценции образцов излучения иона иттербия (рис. 1).

Межпримесное взаимодействие мелких доноров с ионами иттербия проявилось в спектрах возбуждения внутрицентральной люминесценции и излучательной рекомбинации мелких примесей. Причем несжданностью оказалось то, что вид спектров возбуждения иона иттербия практически не зависел от количества электронов в слое, в то время как в спектре возбуждения люминесценции мелких примесей наблюдалась существенная перестройка (рис. 2). Вид спектра возбуждения иона иттербия практически совпадал с приведенным в работе [3]. Неизменность спектра возбуждения сопровождалась ростом эффективности возбуждения (рис. 1). Этот процесс приволил к гашению линии люминесценции с $h\nu_m = 1.37$ эВ, а в спектре ее возбуждения отчетливо наблюдался провал (рис. 2), который достигал максимальной глубины при той же концентрации, когда наблюдалось возгорание люминесценции иона иттербия.

Спектральное положение провала в спектре возбуждения люминесценции мелких примесей ($h\nu_m = 1.37$ эВ) совпадает с областью поглощения и люминесценции экситонов, связанных на мелких примесях фосфида индия (1.40–1.42 эВ). Таким образом, можно было бы предположить, что наиболее эффективный канал возбуждения обусловлен связанными экситонами. Однако, как показывают результаты работы [3], непосредственная рекомбинация связанного экситона на доноре или акцепторе энергетически менее выгодна для возбуждения иона иттербия, чем процесс рекомбинации донорно-акцепторных пар. Поэтому мы считаем, что появление провала обусловлено диффузией экситонов по мелким примесным состояниям фосфида индия.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод, что в процессе возбуждения иона иттербия в фосфиде индия необходимо учитывать межпримесное взаимодействие иона иттербия с мелкими примесями и диффузию экситонов к примесным комплексам. Отсутствие такого анализа, по нашему мнению, и приводит к разнообразию плохо стыкующихся экспериментальных результатов, на которое справедливо указывают авторы работ [1, 2].

Список литературы

- [1] Nakagome H., Takabei K., Homma Y. // J. Cryst. Growth. 1987. V. 85. N 3. P. 345–356.
- [2] Körber W., Hangeleiter A. et al. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 52. N 2. P. 114–116.
- [3] Касаткин В. А., Савельев В. П. // ФТП. 1984. Т. 18. В. 9. С. 1634–1636.
- [4] Захаренков Л. Ф., Кузьмин И. А., Саморуков Б. Е. и др. // Изв. вузов СССР. Физика. 1985. Т. 28. В. 7. С. 20–24.
- [5] Гореленок А. Т., Груздов В. Г., Кумар Ракеш и др. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 1. С. 35–43.

Ленинградский политехнический институт
им. М. И. Калинина

Получено 28.03.1989
Принято к печати 5.04.1989