

УДК 621.315.592.3

ВЛИЯНИЕ O, F И Li НА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ GaAs, ИМПЛАНТИРОВАННОГО Yb

В. М. Коинов, Н. Н. Лойко, В. А. Дравин

Проведены исследования фотолюминесценции GaAs, подвергнутого совместной имплантации Yb и одним из соактиваторов O, F или Li. Проведенные эксперименты показали, что введение соактиваторов не влияет на тонкую структуру спектров излучения Yb³⁺, но приводит к увеличению интенсивности редкоземельного излучения. Наиболее эффективным соактиватором является кислород.

Иттербий является наиболее изученной редкоземельной (РЗ) примесью в полупроводниках. Это обусловлено, в частности, тем, что Yb обладает большей, по сравнению с другими редкоземельными элементами (РЗЭ), растворимостью в кристаллах и имеет наиболее простую схему энергетических уровней для переходов в пределах 4f-оболочки. Это позволяет рассматривать Yb³⁺ как "модельную" примесь для изучения поведения РЗ ионов в кристаллах.

Поскольку результаты исследований электронной структуры центров, создаваемых РЗЭ в полупроводниках, получены на InP, легированном Yb, то наибольшее число публикаций посвящено именно этому материалу. Полагают, что In легче замещается Yb, чем, например, Ga. Возможно поэтому работ, объектом исследования которых является GaP, легированный Yb, существенно меньше. Спектры внутрицентральной люминесценции в кристаллах GaAs, легированного Yb, приведены только в одном цикле работ [1, 2]. Из-за трудности получения оптически активных центров на основе Yb³⁺ в GaAs сложилось мнение, что ион Yb³⁺ в кристаллах GaAs не дает излучательных переходов, или они достаточно слабы.

Тем не менее, так как механизм возбуждения внутрицентральной люминесценции до конца еще не выяснен, то возможности получения устойчивых и эффективных центров на основе Yb в GaAs, по-видимому, еще не исчерпаны.

Исследования влияния различных примесей на люминесцентные свойства слоев Si и $GaAs$, легированных Er , показали, что введение некоторых примесей приводит к увеличению интенсивности РЗ излучения [3, 4]. Авторы этих статей рассматривают введение дополнительной примеси в кристаллы, легированные РЗЭ, как один из возможных способов получения устойчивых и эффективных центров люминесценции.

В данной работе для получения таких центров на основе Yb^{3+} в $GaAs$ было предложено использовать двойную имплантацию, т.е. совместную имплантацию Yb и дополнительной примеси (соактиватора). Были проведены исследования фотолюминесценции (ФЛ) $GaAs$, подвергнутого совместной имплантации Yb и O, Li или F . В процессе имплантации были использованы следующие энергии для ^{174}Yb : 20, 71, 240 и 700 кэВ. Дозы для каждого значения энергии подбирались таким образом, чтобы получить равномерно легированный Yb слой толщиной 1450 Å. В соответствии с глубиной залегания слоя с Yb подбирались режимы имплантации соактиваторов для получения равномерно легированного слоя. После имплантации образцы покрывали защитной пленкой Si_3N_4 толщиной 1500 Å при температуре не более 200°C. Затем проводили фотостимулированный отжиг (ФСО), методика которого описана ранее [6]. Измерения ФЛ проводились при 77 К.

В первой серии экспериментов использовались образцы, имплантированные только Yb . При этом для контроля за процессом ФСО Yb была имплантирована только половина образца. ФСО проводился в две стадии, при 600°C и при 750°C, каждая длительностью 5 минут. В спектре ФЛ исходного образца доминирует краевое излучение в области 8220–8226 Å, а также присутствует полоса в районе 9120 Å, которую обычно связывают с наличием комплексов на основе $CuGa$. В спектрах ФЛ нелегированных частей кристаллов после ФСО доминирует "медная" полоса, а интенсивность краевого излучения понижается приблизительно на порядок по сравнению с интенсивностью исходного образца. Измерения ФЛ, проведенные на имплантированных Yb частях кристаллов показали, что независимо от дозы имплантации на всех спектрах доминирует "медная" полоса, а краевое излучение после ФСО лишь частично восстанавливается. Так, если расчетная концентрация Yb в образце составляла $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$, то интенсивность краевого излучения была раз в пять меньше, чем на необлученной иттербием части кристалла. При расчетных концентрациях $Yb 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и 10^{19} см^{-3} восстановления краевого излучения не происходило. Зависимость интенсивности РЗ излучения от дозы имплантации и тонкая структура спектров ФЛ приведены на рис. 1. Излучение, связанное с Yb , локализовано в двух спектральных областях – 9900 Å и 10500–10600 Å и

носит линейчатый характер. Проведенная оценка полуширины линии Δ на полувысоте показала, что $\Delta \leq 1 \text{ \AA} (\sim 0,1 \text{ мэВ})$.

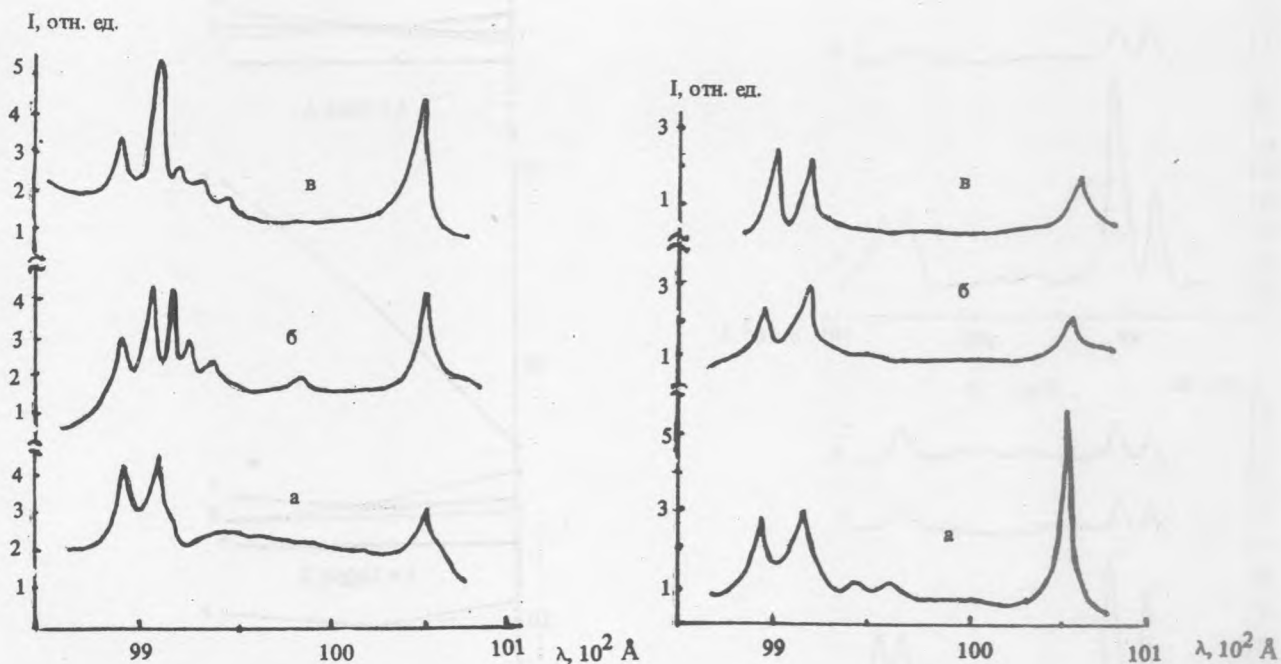


Рис. 1. Спектры ФЛ образцов $GaAs$, имплантированных Yb до концентраций 10^{17} см^{-3} (а), 10^{18} см^{-3} (б) и 10^{19} см^{-3} (в).

Рис. 2. Спектры ФЛ образцов $GaAs$, имплантированных Yb и O (а), Yb и Li (б), Yb и F (в), с расчетной концентрацией примесей 10^{17} см^{-3} .

Подготовка образцов для второй серии экспериментов заключалась в проведении двойной имплантации, когда наряду с Yb в $GaAs$ вводился один из соактиваторов O , F или Li . При этом иттербием облучалась вся поверхность образца, а O , F или Li – только половина. Затем образцы покрывали защитной пленкой Si_3N_4 и отжигали. Спектры ФЛ образцов $GaAs$, имплантированных Yb и O , Yb и F , Yb и Li , при расчетных дозах имплантации 10^{17} см^{-3} , 10^{18} см^{-3} и 10^{19} см^{-3} показаны соответственно на рис. 2, 3, 4.

Для того, чтобы выявить влияние соактиваторов на РЗ излучение, введем понятие коэффициент усиления (γ), который равен отношению интенсивности излучения иона Yb^{3+} , измеренной на той части образца $GaAs$, которая была подвергнута совместной имплантации, к интенсивности излучения иона Yb^{3+} , измеренной на той части кристалла, которая была облучена только Yb . На рис. 5 показана зависимость коэффициента усиления γ от дозы имплантации для ряда линий излучения Yb^{3+} .

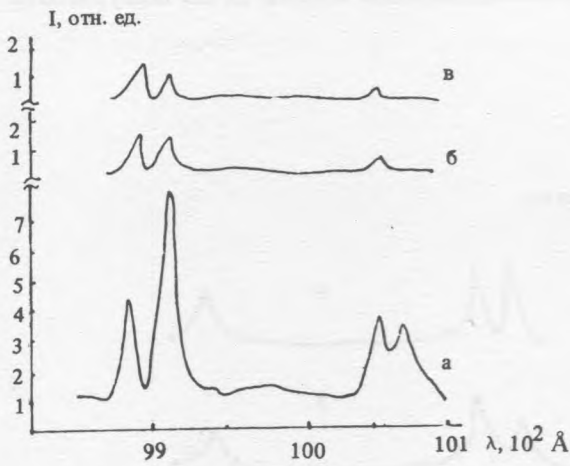


Рис. 3

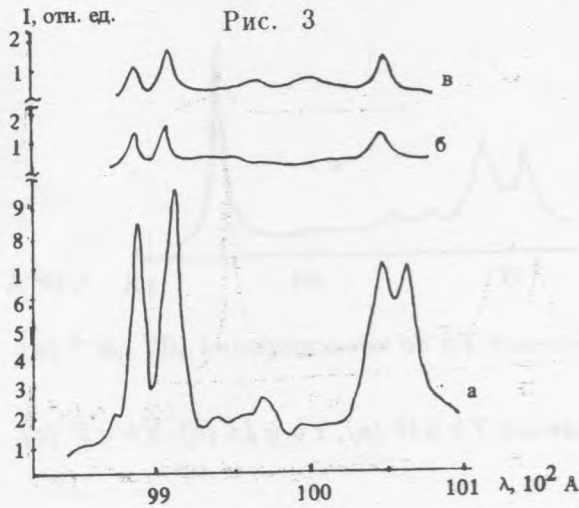


Рис. 4

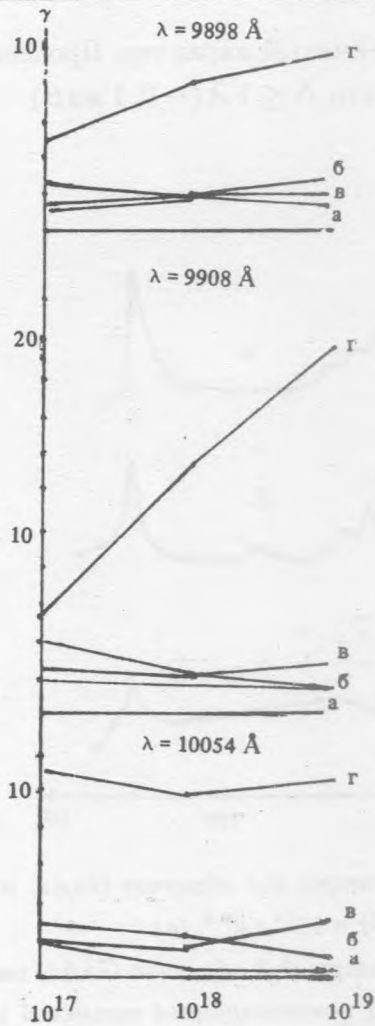


Рис. 5

Рис. 3. Спектры ФЛ образцов GaAs, имплантированных Yb и O (а), Yb и F (б), Yb и Li (в), с расчетной концентрацией примесей 10^{18} см^{-3} .

Рис. 4. Спектры ФЛ образцов GaAs, имплантированных Yb и O (а), Yb и F (б), Yb и Li (в), с расчетной концентрацией примесей 10^{19} см^{-3} .

Рис. 5. Зависимость коэффициента усиления γ от дозы имплантации для ряда линий излучения иона Yb^{3+} в образцах GaAs, имплантированных Yb (а), Yb и F (б), Yb и Li (в), Yb и O (z).

Проведенные эксперименты показывают, что во всех случаях введение O приводит к увеличению интенсивности РЗ излучения и, по-видимому, именно он является наиболее эффективным соактиватором. Однако введение Li, F или O не влияет на тонкую

структуру спектров излучения Yb^{3+} . Тонкая структура спектра излучения Yb^{3+} в $GaAs$ определяется, вероятнее всего, присутствием в материале неизвестных фоновых примесей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 93-02-16122).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ennen H., Kaufmann U., Pomrenke G. et al., *J. Cryst. Growth*, **64**, 165 (1983).
- [2] Ennen H., Schneider J., *Proc. 13th Int. Conference on Defects in Semiconductors*, Coronado, California, 1984, p. 155.
- [3] Michel J., Benton J. L., Ferrante R. F. et al., *J. Appl. Phys.*, **70** (5), 2672 (1991).
- [4] Takahai K., Taguchi A., *J. Appl. Phys.*, **74** (3), 1979 (1993).

Поступила в редакцию 15 марта 1994 г.