

УДК 621.315.592.3

## ВЛИЯНИЕ O, S, Se И Te НА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ GaAs, ИМПЛАНТИРОВАННОГО Yb

В. М. Коннов, Т. В. Ларикова, Н. Н. Лойко, В. В. Ушаков

*Проведены исследования фотолюминесценции GaAs, подвергнутого совместной имплантации Yb + O, Yb + S, Yb + Se и Yb + Te. Редкоземельное излучение зарегистрировано только для комбинации Yb + O. Использование комплексных имплантаций Yb + VIB + O позволило выявить роль каждого из этих элементов в люминесценции сложных центров (где VIB – элементы VIB группы Периодической системы элементов).*

В предыдущих работах мы уже сообщали об особенностях оптической активации центров на основе ионов  $Yb^{3+}$ , имплантированных в кристаллы GaAs [1 – 3]. Устойчивое и стабильное редкоземельное (РЗ) излучение регистрировалось после дополнительного облучения образцов ионами кислорода с последующим фотостимулированным отжигом (ФСО). Максимальное число линий РЗ излучения на переходе  ${}^2F_{5/2} \rightarrow {}^2F_{7/2}$  иона  $Yb^{3+}$  наблюдалось после ФСО длительностью 5 минут в диапазоне температур  $650^\circ - 700^\circ C$ . Независимо от типа и происхождения исходных кристаллов GaAs в спектрах РЗ излучения образцов доминировали, как правило, две системы линий, которые мы обозначили X и Y [2]. Положение доминирующих линий в РЗ спектре не зависело от дозы имплантированного O. С ростом доз вводимых ионов Yb и O росли интенсивности почти всех линий РЗ спектра.

По нашему мнению, необходимо было выяснить обладают ли другие элементы VIB группы Периодической системы элементов свойством усиливать РЗ излучение, взаимодействуют ли элементы этой группы с Yb и каков результат этого взаимодействия.

Для этого были проведены совместные имплантации Yb и элементов VIB группы в кристаллы GaAs. Исходными образцами служили различные кристаллы полуизолирующего GaAs. Основными фоновыми примесями по данным масс-спектрометрии вторичных ионов во всех этих кристаллах были углерод, кремний и селен в концентрациях

порядка  $(1 - 4) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Процедура приготовления образцов заключалась в следующем. Сразу после обработки полирующим травителем образцы проходили процедуру имплантаций. При имплантациях использовались распределенные дозы для каждой из вводимых примесей. Энергии ионов и дозы облучения подбирались таким образом, чтобы в слое толщиной  $1500 - 1700 \text{ \AA}$  концентрации всех имплантированных примесей были примерно постоянными и равными друг другу. Расчетные концентрации каждой из вводимых примесей составляли  $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ,  $10^{18} \text{ см}^{-3}$ ,  $10^{19} \text{ см}^{-3}$ . Затем образцы подвергались либо изохронному ФСО длительностью 5 минут с шагом в  $20 - 30^\circ\text{C}$ , либо однократному ФСО длительностью также 5 минут при фиксированной температуре. Температурный интервал ФСО составлял от  $560 - 580^\circ\text{C}$  до  $730 - 750^\circ\text{C}$ . Отжиг проводился без защитного покрытия. После ФСО проводились измерения спектров фотолуминесценции (ФЛ) при  $77 \text{ K}$ .

На первом этапе работы в кристаллы  $\text{GaAs}$  проводилась совместная имплантация  $\text{Yb}$  и либо  $\text{O}$ , либо  $\text{S}$ , либо  $\text{Se}$ , либо  $\text{Te}$ . После ФСО при  $600 - 750^\circ\text{C}$  РЗ излучение было зарегистрировано только для комбинации  $\text{Yb} + \text{O}$  практически для всех типов исходных образцов. Для других комбинаций:  $\text{Yb} + \text{S}$ ,  $\text{Yb} + \text{Se}$ ,  $\text{Yb} + \text{Te}$  - никакого РЗ излучения не было обнаружено ни на одном типе исходных образцов. Таким образом, еще раз была подтверждена особая роль  $\text{O}$  среди элементов  $\text{VIB}$  группы Периодической системы элементов.

На втором этапе работы проводились более сложные варианты имплантаций. Вначале вся поверхность образцов облучалась  $\text{Yb} + \text{O}$ , а затем половина каждого образца повторно облучалась  $\text{O}$  той же дозой. Таким образом, каждый образец состоял из двух частей: рабочей части, облученной  $\text{Yb} + 2\text{O}$ , и контрольной части, облученной  $\text{Yb} + \text{O}$ . Далее образцы проходили серию изохронных ФСО. РЗ излучение было зарегистрировано на обеих частях всех образцов. На качественном уровне спектры РЗ излучения обеих частей кристаллов слабо отличались друг от друга - в спектрах присутствовали и доминировали практически одни и те же линии (рис. 1).

Обозначим  $\gamma_\lambda$  величину отношения интенсивности линии для рабочей части кристалла к интенсивности той же линии для контрольной части. При концентрациях имплантированных ионов  $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$  спектры обеих частей кристаллов слабо отличались по интенсивностям основных линий. Практически для всех линий величина  $\gamma_\lambda$  колебалась от 1 до 2. При концентрациях  $\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$  интенсивности линий для рабочих частей кристаллов были, как правило, несколько выше, чем для этих же линий для контрольных частей. Величины  $\gamma_\lambda$  были уже около 2 - 4 для разных кристаллов.

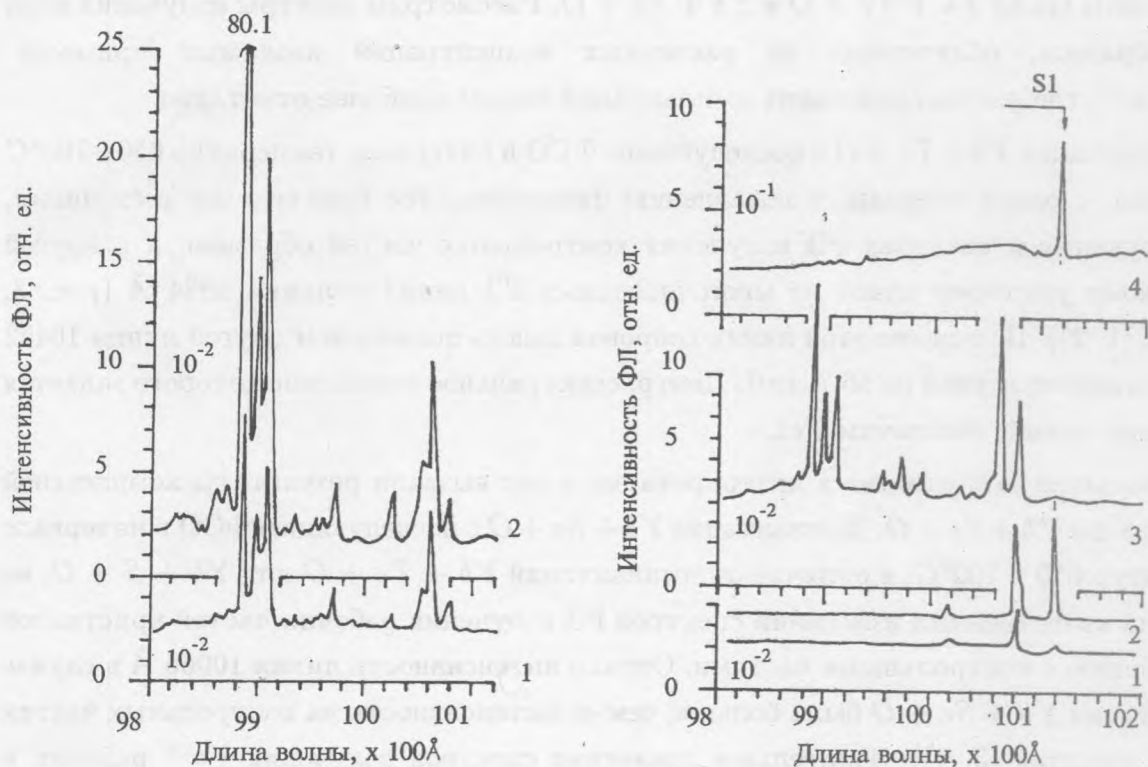


Рис. 1. Спектры излучения иона Yb<sup>3+</sup> в образце GaAs, облученном Yb и O до расчетных концентраций  $\sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$ , после ФСО при 680°C: 1 - контрольная часть, облученная Yb + O; 2 - рабочая часть, облученная Yb + 2O.

Рис. 2. Спектры излучения иона Yb<sup>3+</sup> в образцах GaAs, облученных Yb, S и O: 1, 2 - образец, облученный до расчетных концентраций  $\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , после ФСО при 640°C; 3, 4 - образец, облученный до расчетных концентраций  $\sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$ , после ФСО при 660°C; 1, 3 - контрольные части, облученные Yb + O; 2, 4 - рабочие части, облученные Yb + S + O.

излучения обеих частей кристаллов с концентрацией вводимых примесей от  $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$  до  $\sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$  становились похожими. На обеих частях доминировали линии 10060 Å и 10672 Å, то есть X1 центр. Остальные линии на спектрах только угадывались. Следовательно, при высокотемпературных отжигах ситуация оказывалась аналогична описанной в работе [2].

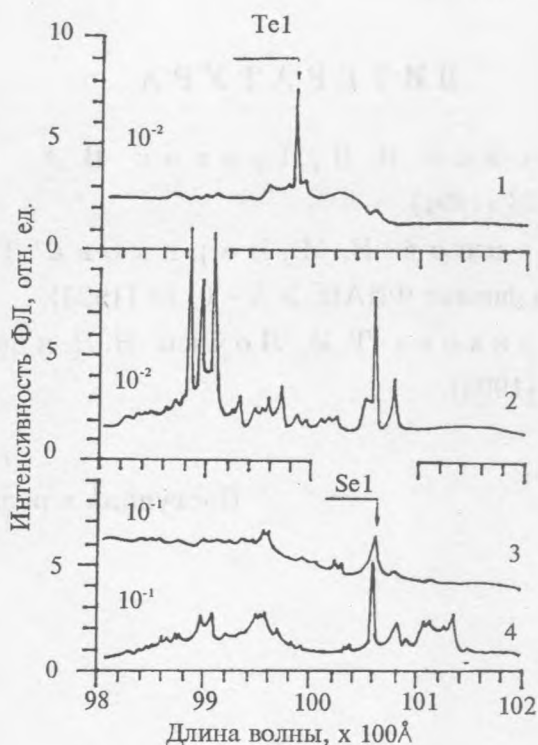


Рис. 3. Спектры излучения иона  $Yb^{3+}$  в образцах  $GaAs$ : 1, 2 – образец, облученный до расчетных концентраций  $\sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$ , после ФСО при  $700^\circ\text{C}$ : 1 – рабочая часть, облученная  $Yb + Te + O$ ; 2 – контрольная часть, облученная  $Yb + O$ ; 3, 4 – образец, облученный до расчетных концентраций  $\sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$ , после ФСО при  $660^\circ\text{C}$ : 3 – контрольная часть, облученная  $Yb + O$ ; 4 – рабочая часть, облученная  $Yb + Se + O$ .

Остальные металлоиды этой группы эффективно гасят излучение подавляющего числа иттербиевых центров. При этом они сами образуют с  $Yb$  новые центры, которые можно охарактеризовать своим специфическим набором линий.

Можно предположить, что весь спектр излучения ионов  $Yb^{3+}$ , наблюдаемый на контрольных частях образцов, или большая часть линий РЗ спектра, являются результатом взаимодействия ионов  $Yb$  с многочисленными фоновыми примесями, содержащимися в исходных образцах.

Авторы выражают благодарность В. А. Дравину за проведение имплантаций наших образцов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных

исследований (проект 93-02-16122).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ко н н о в В. М., Ло й к о Н. Н., Д р а в и н В. А. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 3-4, 23 (1994).
- [2] Д р а в и н В. А., Ко н н о в В. М., Л а р и к о в а Т. В., Ло й к о Н. Н. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 5 - 6, 18 (1995).
- [3] Ко н н о в В. М., Л а р и к о в а Т. В., Ло й к о Н. Н. и др., Краткие сообщения по физике, N 5 - 6, 25 (1995).

Поступила в редакцию 2 марта 1995 г.

