

ЧИСТО ЗЕЛЕНАЯ ($\lambda = 555$ нм) ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ GaP:Y

© А.Т.Гореленок, М.В.Шпаков

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе Российской академии наук
194021 Санкт-Петербург, Россия
(Получена 20 июня 1995 г. Принята к печати 5 июля 1995 г.)

Показано, что легирование растворов-расплавов иттрием при жидкофазной эпитаксии позволяет получать слои n -GaP, а легирование растворов-расплавов иттрием + магнием — слои p -GaP с фотолюминесценцией в чисто зеленой ($\lambda = 555$ нм) области спектра при 300 К.

Светоизлучающие p - n -структуры на основе таких слоев показывают электролюминесценцию также в чисто зеленой области спектра при 300 К. Чисто зеленая люминесценция объясняется существенным снижением донорного фона элементов VI группы и в первую очередь кислорода и селена.

1. Известно, что для получения чисто зеленой ($\lambda = 555$ нм, $h\nu = 2.2324$ эВ) люминесценции на основе GaP большим препятствием являются фоновые акцепторные и донорные примеси II, IV и VI групп Периодической системы, которые образуют донорно-акцепторные пары и являются ответственными за смещение краевой полосы люминесценции в желто-зеленую и красную области спектра [1]. Также известно, что легирование растворов-расплавов редкоземельными элементами (РЗЭ) при жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) полупроводниковых соединений $A^{III}B^V$ и их твердых растворов приводит к очистке эпитаксиальных слоев по крайней мере от фоновых примесей VI группы (O, S, Se, Te) [2].

2. Цель данной работы — исследование фотолюминесценции (ФЛ) при 2, 77 и 300 К эпитаксиальных слоев GaP, полученных ЖФЭ при легировании растворов-расплавов иттрием, иттрием + магнием, иттрием + цинком, и диффузионных слоев p -GaP:Zn.

3. Эпитаксиальные слои GaP выращивались на подложках GaP ориентации (100) с концентрацией электронов $n = 2 \cdot 10^{17}$ см⁻³ методом ЖФЭ при 860°C в открытой системе в атмосфере чистого (< 0.01 ppm) водорода в графитовых кассетах в режиме охлаждения со скоростью 0.5 град/мин. Концентрация Y в жидкой фазе варьировалась в пределах 0.001 ÷ 0.1 ат% и концентрация Mg — 0.01 ÷ 0.5 ат%, толщина эпитаксиальных слоев составляла 3 ÷ 5 мкм. Концентрация носителей заряда

в n -GaP изменялась от 10^{16} до $3 \cdot 10^{18}$ см $^{-3}$, а в p -GaP от $7 \cdot 10^{17}$ до величины $\gg 10^{18}$ см $^{-3}$. Спектры ФЛ исследовались при 2, 77 и 300 К при возбуждении излучением азотного лазера с длиной волны $\lambda = 337$ нм и регистрировались с помощью ФЭУ-79 и монохроматора МДР-23.

4. На рис. 1, *a* представлен спектр ФЛ исходной подложки n -GaP при 77 К (излучение при 300 К отсутствовало).¹ Видно, что в спектре не наблюдается краевая полоса и состоит он из двух длинноволновых полос с $h\nu = 1.42$ и 1.48 эВ, которые, вероятно, обусловлены глубокими рекомбинационными центрами с участием кислорода. Спектры ФЛ эпитаксиальных слоев GaP, полученных ЖФЭ без легирования РЗЭ, уже показывают наличие краевой полосы (рис. 1, *b*) при 2 К с $h\nu = 2.309$ эВ и двух примесных полос с $h\nu = 2.208$ и 2.159 эВ. Краевая полоса с полушириной ~ 4 мэВ, по-видимому, обусловлена излучением экситонно-донорных комплексов, полоса с $h\nu = 2.208$ эВ — донорно-акцепторной рекомбинацией Si-C, а полоса с $h\nu = 2.159$ эВ — возможно, донорно-акцепторной рекомбинацией Si-Cu [1]. При 77 К спектр излучения этого образца состоит из одной асимметричной полосы с $h\nu = 2.273$ эВ, на низкоэнергетическую часть которой накладываются еще две примесные полосы. При легировании жидкой фазы Y (0.005 ат%) в спектрах ФЛ GaP при 2 К преобладает более интенсивная краевая полоса с энергией $h\nu = 2.307$ эВ, обусловленная излучением экситонно-донорного комплекса с полушириной ~ 4 мэВ (рис. 1, *c*) и нескольких более слабых примесных полос, обусловленных, вероятно, рекомбинацией донорно-акцепторных пар, связанных с фоновыми примесями II и IV групп. При более высоких температурах (77 и 300 К) в спектрах ФЛ этого же образца (рис. 2, *a*) наблюдаются только краевые полосы с $h\nu = 2.270$ и 2.261 эВ и полушириной $\Delta h\nu = 60$ и 85 мэВ соответственно. Эти данные являются свидетельством очистки слоев GaP с помощью иттрия от фоновых примесей VI группы и в первую очередь от кислорода и серы аналогично [2].

5. Для получения излучающих p - n -структур необходимо также получить слои p -GaP, спектр излучения которых состоял бы только из чисто зеленой полосы при 300 К. Для этого, как и в случае InP и InGaAs(P), было использовано совместное легирование раствора-расплава Y(0.005 ат%) + Mg(0.1 ат%), концентрация дырок в слоях при этом составляла $8 \cdot 10^{17}$ см $^{-3}$. На рис. 2, *b* представлены спектры ФЛ таких слоев при 77 и 300 К. Видно, что спектры излучения состоят практически из одной краевой полосы с $h\nu = 2.270$ и 2.234 эВ с полушириной $\Delta h\nu = 60$ и 100 мэВ соответственно. Таким образом, совместное легирование Y + Mg также обеспечивает очистку материала от фоновых доноров VI группы, что позволяет реализовать чисто зеленую люминесценцию при 300 К. Спектры электролюминесценции излучающих p - n -структур на основе GaP, у которых n -область была получена с использованием Y, а p -область — с использованием Y + Mg, состояли при 300 К из одной чисто зеленой полосы и были аналогичны спектрам ФЛ рис. 2, *b*.

6. При создании излучающих p - n -структур на основе n -GaP посредством диффузии Zn невозможно создать светодиоды зеленого излучения из-за достаточно высокого донорного фона (концентрация до-

¹ Интенсивности люминесценции на рис. 1–3 нормированы к интенсивности ФЛ образца F 65 при 77 К.

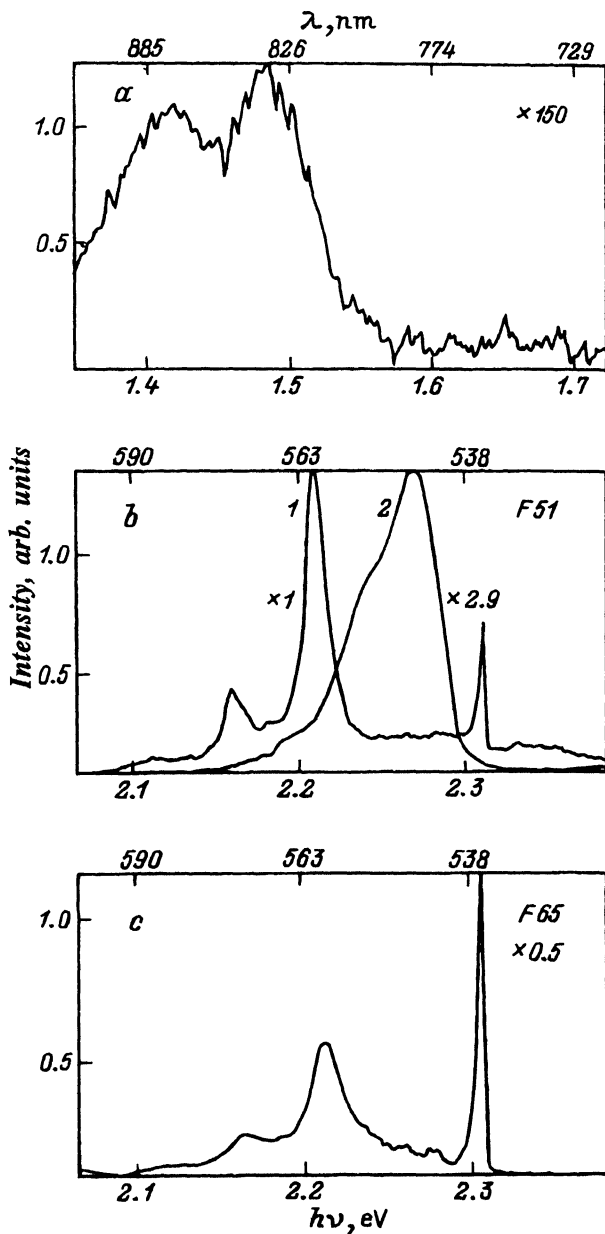


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции: *a* — подложка n -GaP при 77 K; *b* — нелегированный эпитаксиальный слой n -GaP (образец F 51) при 2 (1) и 77 (2) K; *c* — эпитаксиальный слой GaP:Y (образец F 65) при 2 K.

норов $> 10^{17} \text{ см}^{-3}$). Это утверждение иллюстрируют спектры диффузионных слоев GaP:Zn (рис. 3, кривая 1). Видно, что спектр состоит из краевой полосы с $h\nu = 2.200 \text{ эВ}$ и нескольких более длинноволновых, обусловленных рекомбинацией с участием акцептора Zn и фоновых донорных примесей. На этом же рисунке (кривая 2) представлен спектр

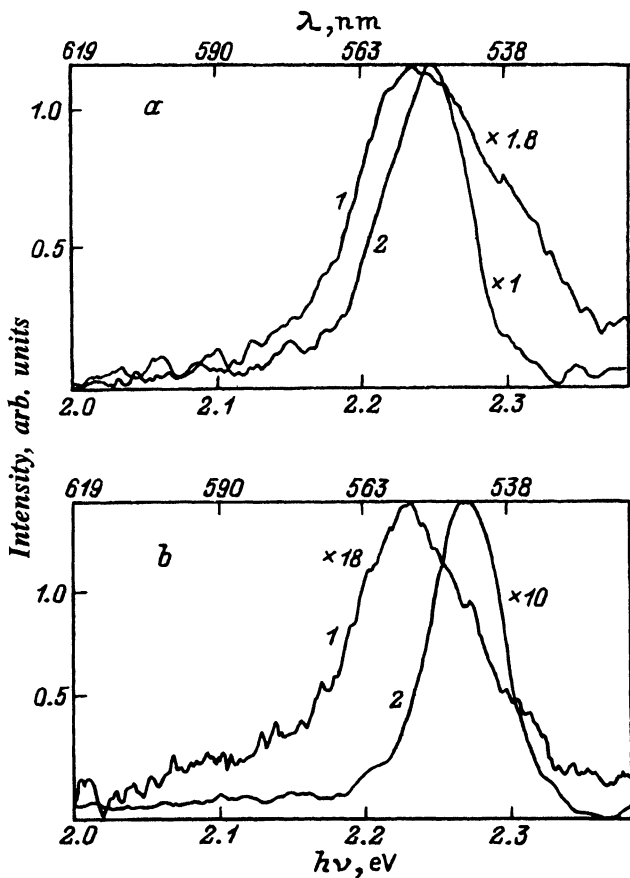


Рис. 2. Спектры фотолюминесценции эпитаксиальных слоев $n\text{-GaP:Y}$ (образец F 65) (a) и $n\text{-GaP:(Y+Mg)}$ (образец F 85) (b). Температура, К: 1 — 300, 2 — 77.

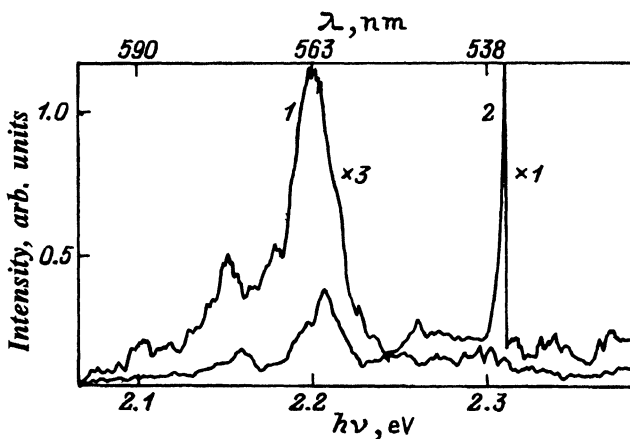


Рис. 3. Спектры фотолюминесценции диффузионного слоя GaP:Zn (1) и эпитаксиального слоя GaP:(Y+Zn) (2) при 2 К.

ФЛ эпитаксиального слоя n -GaP ($n = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$), полученного в одном процессе с диффузионным слоем при легировании раствора-расплава $\text{Y}(0.002\text{ат}\%) + \text{Zn}(0.2\text{ат}\%)$. Видно, что спектр излучения состоит практически из одной краевой полосы с $h\nu = 2.310 \text{ эВ}$ и $\Delta h\nu = 4 \text{ мэВ}$, обусловленной излучением экситонно-донорного комплекса, и слабых примесных полос, связанных с донорно-акцепторной рекомбинацией. Эпитаксиальный слой имеет проводимость n -типа из-за низкой концентрации Zn в жидкой фазе. Эти данные также свидетельствуют, что легирование раствора-расплава Y существенно снижает фоновый уровень донорных примесей.

7. В заключение отметим, что легирование растворов-расплавов иттрием и совместное легирование иттрием + магнием при ЖФЭ GaP позволяет получать слои n - и p -типа проводимости чисто зеленой ($\lambda = 555 \text{ нм}$) люминесценцией, а p - n -структуры на их основе позволяют создавать светодиоды чисто зеленого излучения при 300 К. Это обусловлено тем, что при легировании иттрием в слоях существенно снижается фоновая концентрация доноров и в первую очередь кислорода и серы. Результаты по электролюминесценции будут опубликованы в последующих работах.

Авторы выражают искреннюю благодарность А.В. Каманину за помощь в изготовлении эпитаксиальных слоев и С.И. Кохановскому за помощь в измерениях люминесценции.

Работа частично выполнена при поддержке Международного научного фонда и Правительства Российской Федерации — гранты NU8000 и NU8300.

Список литературы

- [1] А.Э. Юнович. В сб.: *Излучательная рекомбинация в полупроводниках* (М., Наука, 1972) С. 224.
- [2] А.Т. Гореленок, В.Г. Груздов, Кумар Ракеш, В.В. Мамутин, Т.А. Полянская, И.Г. Савельев, Ю.В. Шмарцев. ФТП, 22, 35 (1988).

Редактор Л.В. Шаронова

Pure Green ($\lambda = 555 \text{ nm}$) luminescence of GaP:Y epitaxial layers

A. T. Gorelenok, M. V. Shpakov.

A.F.Ioffe Physicotechnical Institute, Russian Academy of Sciences,
194021 St.Petersburg, Russia

It is shown that yttrium doping of GaP melted solutions during liquid-phase epitaxy makes it possible to obtain n -GaP layers giving photoluminescence in pure green ($\lambda = 555 \text{ nm}$) spectral region at 300 K and yttrium + magnesium doping — p -GaP layers with the same pure green photoluminescence.

Light-emitting p - n structures based on these layers display electroluminescence also in pure green ($\lambda = 555 \text{ nm}$) spectral region at 300 K. Pure green luminescence may be explained in terms of an essential decrease of the donor background of VI group elements and primarily, oxygen and sulphur.