

- [1] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Воднев А.А., Ивентьева О.О., Ларионов В.Р., Румянцев В.Д. - ФТП, 1986, т. 20, в. 2, с. 381-383.
- [2] Андреев В.М., Ивентьева О.О., Конников С.Г., Погребницкий К.Ю., Пурон Э., Сулима О.В., Фалеев Н.Н. - Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 9, с. 533-537.
- [3] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Воднев А.А., Конников С.Г., Ларионов В.Р., Погребницкий К.Ю., Румянцев В.Д., Хвостиков В.П. - Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 18, с. 1089-1093.
- [4] Андреев В.М., Воднев А.А., Минтаиров А.М., Румянцев В.Д., Хвостиков В.П. - ФТП, 1987, т. 21, в. 7, с. 1212-1216.
- [5] Алферов Ж.И., Антонишкис Н.Ю., Арсентьев И.Н., Гарбузов Д.З., Красовский В.В., Тикуннов А.В., Халфин В.Б. - ФТП, 1987, т. 21, в. 1, с. 162-164.
- [6] Алферов Ж.И., Антонишкис Н.Ю., Арсентьев И.Н., Гарбузов Д.З., Тикуннов А.В., Халфин В.Б. - ФТП, 1987, т. 21, в. 8, с. 1517-1519.
- [7] Арсентьев И.Н., Гарбузов Д.З., Конников С.Г., Погребницкий К.Ю., Свелокузов А.Е., Фалеев Н.Н., Чудинов А.В. - ФТП, 1986, т. 20, в. 12, с. 2206-2211.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
5 октября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 2

26 января 1988 г.

О ВЛИЯНИИ ПРИМЕСИ ВНЕДРЕНИЯ
НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА
ИМПЛАНТИРОВАННОГО ФОСФИДА ИНДИЯ
ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОГО ОТЖИГА

Е.Н. А р у т ю н о в, А.Н. В а с и л ь е в,
С.Ю. К а р п о в, И.А. С о к о л о в,
Е.М. Т а н к л е в с к а я, А.В. Т у л у п о в

Наносекундное лазерное воздействие на кристаллический *GaAs* приводит к резкой деградации его люминесцентных свойств [1]. При импульсном отжиге имплантированных слоев *GaAs* с плотностями

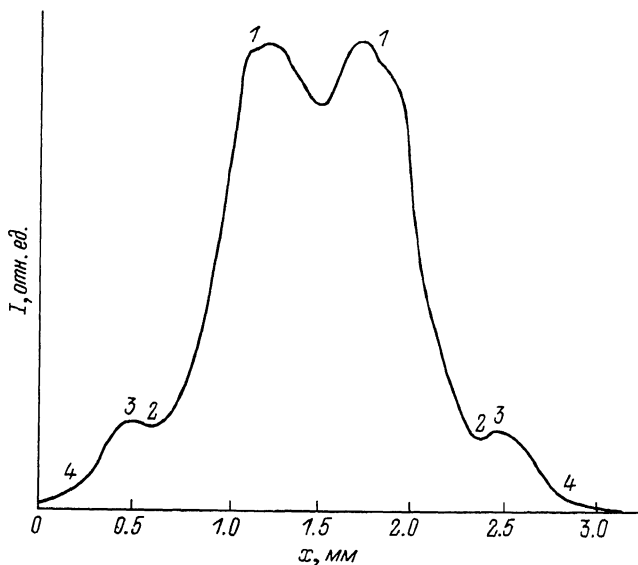


Рис. 1. Распределение интенсивности люминесценции по сечению отожженной области. Цифрами обозначены зоны, соответствующие различным режимам обработки имплантированного слоя: 1 — зона эпитаксиальной кристаллизации, 2 — зона полицентрической кристаллизации, дающей характерное светлое кольцо в морфологии поверхности, 3 — периферийная зона кристаллизации, 4 — необработанный материал.

энергии выше порога плавления и ниже порога разрушения поверхности полупроводника не удается восстановить излучательные свойства материала, утраченные в процессе имплантации [1, 2]. В работе [3] показано, что существует режим наносекундной лазерной обработки кристаллического InP , не дающий характерной деградации излучательных характеристик. Такой режим реализуется в узком энергетическом интервале вблизи порога плавления полупроводника. Частичное восстановление люминесцентных свойств имплантированного InP при наносекундном лазерном воздействии было получено в [4]. В отличие от кристаллического материала эффект наблюдался в широком интервале плотностей энергии воздействия от порога эпитаксиальной кристаллизации до порога разрушения поверхности имплантированного слоя. Особенностью экспериментов, проведенных в работе [4], было то, что исследуемые образцы имплантировались ионами P^+ , являющегося собственной компонентой бинарного соединения InP .

В данной работе проведено исследование влияния типа внедренной примеси на люминесцентные свойства отожженных лазером имплантированных слоев InP . При этом изучалось различие в поведении слоев InP , имплантированных собственной компонентой — фосфором,

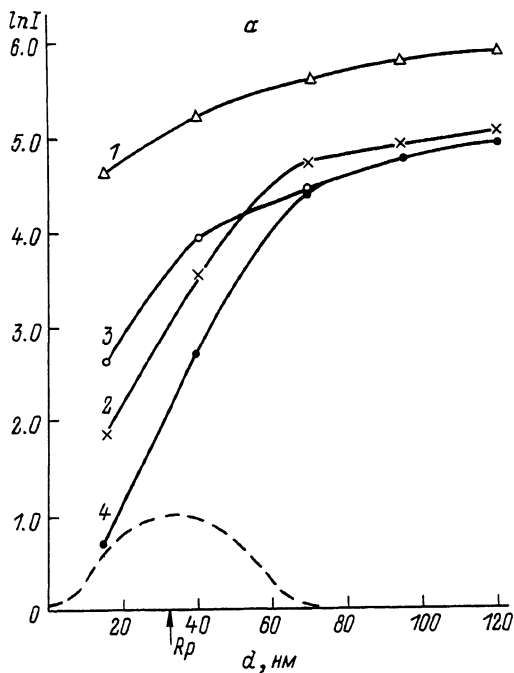


Рис. 2. Зависимость логарифма интенсивности люминесценции от толщины удаленного слоя для образцов InP , имплантированных ионами цинка (а) и фосфора (б), в различных зонах обработки. Пунктиром показано распределение имплантированных ионов согласно ЛШШ-теории.

и легирующей примесью (цинком), встраивающейся в подрешетку индия.

Образцы представляли собой пластины InP (100) (Sn ; $n \sim 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$). В отличие от предыдущей работы [4] перед имплантацией образцы подвергались химико-динамической полировке. Имплантация ионами P^+ и Zn^+ проводилась с одинаковой энергией $E = 100 \text{ кэВ}$ и дозой $D = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Средний проецированный радиус пробега при имплантации P^+ составлял $R_p = 65 \text{ нм}$, а при имплантации Zn^+ — $R_p = 34 \text{ нм}$. Отжиг осуществлялся импульсами $YAG: Nd^{3+}$ лазера, работающего в режиме модулированной добротности ($\tau \approx 20 \text{ нс}$, $\lambda = 1.06 \text{ мкм}$) на основной TEM_{00} -моды. Фотолюминесцентные измерения проводились на автоматизированной установке, обеспечивающей прецизионное сканирование области возбуждения по поверхности образца. Методика измерений была аналогична использованной в [4].

Морфология отожженных слоев InP , имплантированных ионами P^+ и Zn^+ , была одинакова и соответствовала наблюдавшейся ранее

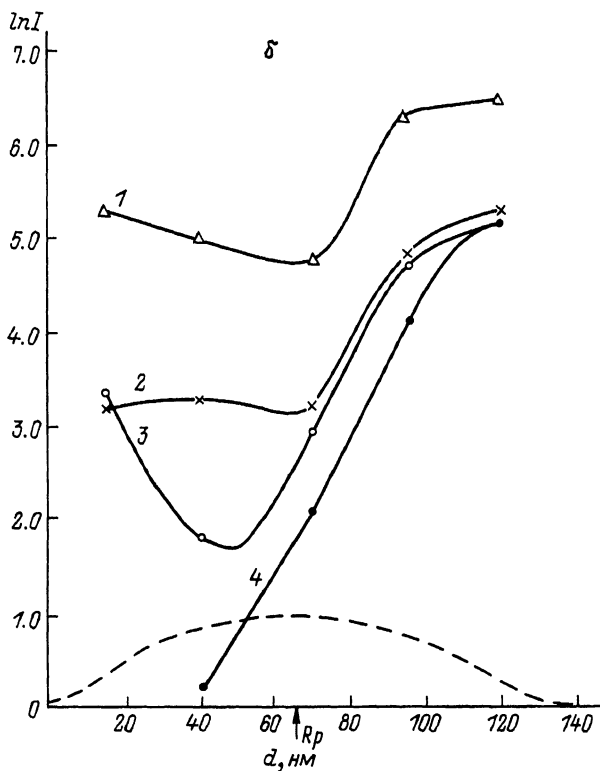


Рис. 2 (продолжение).

в [4]. На рис. 1 изображено типичное для образцов обоих типов распределение интенсивности люминесценции $I(x)$ (в максимуме краевой полосы: $\lambda = 926 \text{ нм}$)¹ по сечению обработанной области после снятия с поверхности полупроводника дефектного слоя толщиной $\sim 15 \text{ нм}$. Отметим, что все характерные участки распределения $I(x)$ в точности коррелируют с расположением кольцевых зон в обработанной области.

Исследование поведения излучательных свойств обработанного лазером материала по глубине проводилось с использованием методики анодного окисления и последующего удаления окисла. На рис. 2 показано поведение интенсивности сигнала фотолюминесценции I в зависимости от толщины удаленного с помощью анодного окисления слоя d . Видно, что характер кривых $I(d)$ для образцов, имплантированных ионами P^+ и Zn^+ , кардинально различается.

¹ Спектр люминесценции в процессе лазерного воздействия не изменялся.

На образцах InP , имплантированных Zn^+ , наблюдается монотонное возрастание интенсивности люминесценции во всех зонах по мере увеличения толщины удаленного слоя. Это указывает на высокий уровень дефектности материала в приповерхностном слое. Наиболее быстрое возрастание $I(d)$ наблюдается в зоне 4 и связано с удалением аморфизированного в результате имплантации слоя InP . Граница аморфизированного слоя соответствует перегибу кривой $I(d)$ в зоне 4. Минимальный уровень дефектности наблюдается в зоне эпитаксиальной кристаллизации 1. Материал в зоне 2 по своим излучательным свойствам оказывается близким к аморфизированному материалу.

Совершенно иное поведение зависимости $I(d)$ наблюдается на слоях InP имплантированных P^+ . Как и в предыдущем случае, удаление аморфизированного неотожженного материала (зона 4) приводит к монотонному росту $I(d)$. Однако во всех остальных зонах регистрируется немонотонное поведение зависимостей $I(d)$ с минимумом, соответствующим среднему проецированному пробегу ионов P^+ (максимуму концентрации имплантированных ионов в полупроводнике). Такой ход кривых $I(d)$ указывает на то, что вблизи поверхности обработанного материала находится слой с пониженным уровнем дефектности, отделенный от подложки слоем с относительно более высоким уровнем дефектности, дающим канал сильной безызлучательной рекомбинации. Следует отметить, что немонотонное поведение $I(d)$ не проявилось в более ранних экспериментах [4] из-за сильного влияния на излучательные свойства InP дефектов механической полировки образцов² (как показывают результаты [4], влияние этого типа дефектов сохраняется вплоть до глубин 0.3–0.4 мкм).

Таким образом, приведенные экспериментальные данные показывают, что тип внедренной при имплантации примеси оказывает существенное влияние на люминесцентные свойства лазерно-отожженных слоев InP . Внедрение собственной компоненты $У$ группы способствует уменьшению дефектности материала после лазерного воздействия. Этот результат можно объяснить, предполагая, что после лазерной обработки основным типом дефектов в полупроводниках A^3B^5 , определяющим интенсивность безызлучательного канала рекомбинации, являются вакансии элементов $У$ группы. Внедрение при имплантации собственной компоненты $У$ группы позволяет сформировать ее избыточную относительно стехиометрического состава концентрацию в расплаве, созданном лазерным импульсом. В этом случае процесс образования вакансий элемента $У$ группы при быстрой кристаллизации полупроводника из расплава оказывается частично подавленным, что приводит к образованию в приповерхностном слое материала с низким уровнем дефектности. Очевидно, что имплантация в InP

² Использование образцов с механически полированной поверхностью позволило сопоставить порог отжига имплантированного слоя с порогом затекания рельефа на поверхности полупроводника.

ионов Zn^{2+} не может повлиять на процесс образования вакансий при быстрой кристаллизации из расплава. Поэтому на образцах InP , имплантированных Zn^{2+} , наблюдается совершенно иное поведение зависимостей $I(d)$ с глубиной, чем на образцах, имплантированных P^+ .

Таким образом, в данной работе показано, что имплантация в InP собственной компоненты У группы позволяет уменьшить дефектность материала после наносекундного лазерного воздействия. По-видимому, этот вывод справедлив также и для других полупроводниковых соединений A^3B^5 .

Авторы благодарят Ю.В. Погорельского за обсуждение результатов работы.

Л и т е р а т у р а

- [1] А р у т ю н о в Е.Н., В а с и л ь е в А.Н., К а р п о в С.Ю., К о в а л ь ч у к Ю.В., М я ч и н В.Е., П о г о р е л ь с к и й Ю.В. В сб. Неравновесные процессы в полупроводниках. Л., 1986, с. 180-201.
- [2] N o j i m a S. - J. Appl. Phys., 1982, v. 53, No 7, p. 5028-5036.
- [3] А л ф е р о в Ж.И., А р у т ю н о в Е.Н., В а с и л ь е в А.Н., К а р п о в С.Ю., К о в а л ь ч у к Ю.В., М я ч и н В.Е., П о г о р е л ь с к и й Ю.В., С о к о л о в И.А. - Письма в ЖТФ, т. 11, № 15, с. 916-920.
- [4] А р у т ю н о в Е.Н., В а с и л ь е в А.Н., К а р п о в С.Ю., К о в а л ь ч у к Ю.В., М я ч и н В.Е., С о к о л о в И.А. - Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, № 20, с. 1217-1222.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
19 октября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 2

26 января 1988 г.

ДОМИНИРУЮЩИЕ РЕКОМБИНАЦИОННЫЕ ЦЕНТРЫ
В СЛОЯХ $n-GaAs$, ПОЛУЧЕННЫХ ОСАЖДЕНИЕМ
ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

В.М. Ботнарюк, Ю.В. Жилев,
А.Г. Кечек, Н.И. Кузнецов,
А.А. Лебедев, М.И. Шулга

Как известно, дефекты кристаллической решетки определяют многие важнейшие параметры полупроводниковых приборов. Некоторые