

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

**ФИЗИКА
И
ТЕХНИКА
ПОЛУПРОВОДНИКОВ**

ТОМ 9

• ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ЛЕНИНГРАД · 1975

При освещении $p-n$ -перехода квантами света с $h\nu \approx 1.4-1.5$ эв (переход β , рис. 3) время релаксации ФЕ $\tau_{\text{вкл}}$ составляло ~ 1 сек. На основании экспериментальных данных при использовании выражения для фототока и фотоемкости при биполярном возбуждении [2, 10] оценены некоторые параметры РЦ: $g_n \approx 10^{-15}$ см², $g_p \approx 5 \cdot 10^{-17}$ см², $M^2 \approx 4 \cdot 10^{15}$ см⁻³.

Времена релаксации ФЕ при биполярном возбуждении РЦ M^3 или M^1 ($h\nu \sim 2.4-2.5$ эв) составляли соответственно при включении и выключении света ~ 1 и ~ 10 сек.

Учитывая знак изменения емкости при освещении ($\Delta C > 0$), можно предположить, что преимущественный вклад в изменение емкости при таком возбуждении вносят биполярные переходы носителей заряда на центр M^1 . На основании экспериментальных данных удается оценить сечение фотоионизации g_p^1 и сечение рекомбинации электронов S_n центром M^1 , равные соответственно 10^{-15} и 10^{-18} см².

Л и т е р а т у р а

- [1] И. М. Котина, Н. Е. Мазурик, С. Р. Новиков, А. Х. Хусаинов. ФТП, 5, 209 (1971).
- [2] И. М. Котина, Н. Е. Мазурик, С. Р. Новиков, А. Х. Хусаинов. ФТП, 3, 374 (1969); 3, 428 (1969).
- [3] С. Т. Sah, Jr, Jash. Phys. Rev. Lett., 19, 69 (1967).
- [4] U. Furukawa, K. Kayayana, J. Seki, K. Sugana. Japan. J. Appl. Phys., 6, 413 (1967).
- [5] H. G. Grimmeiss, G. O. Olofosen. J. Appl. Phys., 40, 2526 (1969).
- [6] H. Kukimoto, C. H. Henry, F. R. Merritt. Phys. Rev. B, 7, 2486 (1973).
- [7] Л. С. Берман. Емкостные методы исследования полупроводников. Изд. «Наука», Л. (1972).
- [8] Г. Борда, Э. Е. Виолин, Г. Н. Виолина, Ю. М. Таиров. ФТТ, 11, 2546 (1969).
- [9] Г. Ф. Холуянов. ФТТ, 3, 658 (1969).
- [10] С. Т. Sah, V. G. K. Reddi. IEEE Trans. Electron. Dev., ED-11, 345 (1964).

Ленинградский
электротехнический институт
им. В. И. Ульянова (Ленина)

Поступило в Редакцию
30 декабря 1974 г.
В окончательной редакции
21 апреля 1975 г.

СИНТЕЗ СОЕДИНЕНИЙ $Al_xGa_{1-x}As$ И $GaAs_{1-x}P_x$ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ИОНОВ Al^+ И P^+ В $GaAs$

И. М. Белый, Г. А. Гуманский, В. И. Карась,
В. М. Ломако, И. С. Таншыков, В. С. Типков

Успешные попытки синтезировать двойные химические соединения путем внедрения ионов в твердую подложку продемонстрированы в работах [1-3].

В данном сообщении представлены экспериментальные результаты по синтезу тройных соединений $Al_xGa_{1-x}As$ и $GaAs_{1-x}P_x$ при внедрении ионов Al^+ и P^+ в $GaAs$.

В литературе уже имеются сообщения о синтезе тройных соединений на основе арсенида галлия $Al_xGa_{1-x}As$ [4] и $Al_xGa_{1-x}As$ и $GaAs_{1-x}P_x$ [5], однако выводы авторов этих работ относительно условий синтеза соединений $Al_xGa_{1-x}As$ противоречивы.

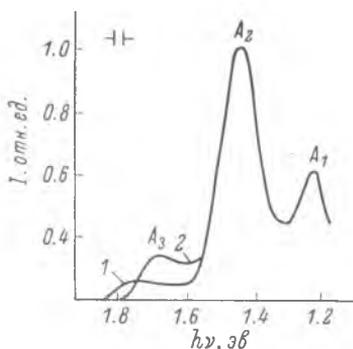
В качестве подложки в данной работе использовались образцы $GaAs$, легированного теллуром или кремнием с концентрацией носителей $\sim 10^{18}$ см⁻³. Перед облучением образцы подвергались механической шли-

фровке и химическому травлению. Электронограммы, снятые на отражение, свидетельствуют о совершенной монокристаллической структуре поверхностного слоя. Энергия бомбардируемых ионов фосфора и алюминия составляла 20 и 30 кэв, интегральные потоки — $(3.5 \text{ и } 5) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ соответственно.

Опыты выполнялись в двух вариантах. В первом образцы во время облучения специально не подогревались, а после облучения отжигались при температуре 450°C в течение 30 мин. Во втором варианте производился подогрев кристаллов во время облучения в интервале температур $420\text{—}500^\circ \text{C}$ («горячее внедрение»).

Идентификация синтезируемых соединений проводилась по спектрам фотолюминесценции при 77°K (возбуждение неравновесных носителей тока осуществлялось с помощью He—Ne-лазера).

На рисунке (кривая 1) приведен типичный спектр люминесценции в случае «горячего внедрения» ионов алюминия в GaAs. Как видно из рисунка,



Спектр люминесценции GaAs, легированного ионами алюминия (1) и фосфора (2).

$E_{\text{Al}^+} = 30 \text{ кэв}$, $D_{\text{Al}^+} \approx 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$,
 $T_{\text{внедр. Al}^+} = 430^\circ \text{C}$; $E_{\text{P}^+} = 20 \text{ кэв}$,
 $D_{\text{P}^+} \approx 3.5 \cdot 10^{16}$, $T_{\text{внедр. P}^+} = 480^\circ \text{C}$.

в спектре имеется 3 полосы излучения. Полосы A_1 и A_2 характерны для спектров межзонной и примесной люминесценции GaAs и хорошо известны в литературе. Полоса A_3 , соответствующая видимой красной области и наблюдаемая в спектрах люминесценции после «горячего внедрения», может быть отнесена к люминесценции тройного соединения $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ при значениях $x \approx 0.25$, что почти в 1.5 раза меньше расчетной величины ($x=0.35$) [6]. Большая ширина полосы A_3 связана, по-видимому, с плавным изменением x по глубине в синтезированном соединении. Относительно малая интенсивность полосы A_3 , а также наличие полос люминесценции подложки (A_1 и A_2) можно объяснить тем, что в имплантированном слое поглощается лишь незначительная часть возбуждающего света (оценочно 5—10%). Остальная часть света поглощается в подложке. Учитывая, что неравновесные носители тока могут частично диффундировать из синтезированного слоя в подложку и рекомбинировать в ней, не приходится ожидать относительно большой интенсивности люминесценции синтезированного слоя. Следовательно, нельзя судить о внутреннем квантовом выходе люминесценции синтезированного слоя только по отношению интенсивности полос A_2 и A_3 , где интенсивность A_2 может быть взята за эталон.

Таким образом, полоса A_3 спектра люминесценции указывает на возможность синтеза соединения $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ при «горячем внедрении» алюминия в арсенид галлия.

Аналогичные результаты были получены в случае «горячего внедрения» ионов фосфора в кристаллы арсенид галлия, для которого получено значение x меньше 0.2 [7, 8].

При легировании GaAs ионами алюминия или фосфора без подогрева, а также после отжига имплантированных без подогрева кристаллов при 450°C в спектрах наблюдались только полосы люминесценции подложки и не наблюдались коротковолновые полосы тройных соединений. Это свидетельствует о том, что либо тройные соединения не синтезировались, либо они содержали большую концентрацию структурных дефектов, определяю-

щих время жизни и подавляющих люминесценцию. Уточнение этого вопроса требует дальнейших исследований.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты указывают на то, что синтез тройных соединений $Al_xGa_{1-x}As$ и $GaAs_{1-x}P_x$ методом ионно-лучевого легирования возможен при температурах подложки не более $500^\circ C$. Эти результаты согласуются с данными работы [5] и противоречат выводам [4], где сообщается, что для образования соединений $Al_xGa_{1-x}As$ методом внедрения алюминия в арсенид галлия ($T_{внедр.} \approx 400^\circ C$) и получения заметной электролюминесценции в видимой области спектра необходим дополнительный отжиг при высоких температурах ($\sim 900^\circ C$) в течение 5 час.

Л и т е р а т у р а

- [1] А. Е. Городецкий, Г. А. Качурин, Н. Б. Придачин, Л. С. Смирнов. ФТП, 2, 136 (1968).
- [2] Е. К. Баранова, К. Д. Демков, К. В. Старинин, Л. Н. Стрельцов, И. Б. Хайбуллин. ДАН СССР, 200, 869 (1971).
- [3] Н. П. Акимченко, В. С. Вавилов, В. В. Галкин, В. С. Иванов, В. В. Краснопевцев, Ю. В. Милютин. ФТП, 6, 1182 (1972).
- [4] R. G. Hungsreger, O. J. Marsh. Appl. Phys. Lett., 19, 327 (1971).
- [5] Р. Ж. Электроника и ее применение, 5Б276 (1971).
- [6] Ж. И. Алфёров, Д. З. Гарбузов, О. А. Нинуа, В. Г. Трофим. ФТП, 5, 1116 (1971).
- [7] Ж. И. Алфёров, Д. З. Гарбузов, Ю. В. Жилев, П. С. Копьев. ФТП, 6, 682 (1972).
- [8] А. Берг, П. Дин. Светодиоды. Изд. «Мир», М. (1973).

Научно-исследовательский институт
прикладных физических проблем
при БГУ им. В. И. Ленина
Минск

Поступило в Редакцию
21 апреля 1975 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ СТРУКТУРЫ В МОНОКРИСТАЛЛАХ CdTe

И. В. Мельничук, В. В. Матлак, Р. А. Павлов, П. А. Павлин

Сочетание метода травления с методом рентгеновской топографии позволяет изучить распределение индивидуальных дислокаций в объеме кристаллов и дает достаточно полную информацию о совершенстве монокристаллов [1, 2]. В настоящей работе показана возможность исследования монокристаллов CdTe со сравнительно малой плотностью дислокаций методом рентгеновской топографии.

С целью уменьшения плотности дислокаций, возникающих в процессе роста и охлаждения кристаллов, кварцевые ампулы покрывались толстым слоем пироуглерода [3] и заполнялись с минимальным свободным объемом [4]. Выращивание монокристаллов проводилось из стехиометрического расплава методом вертикальной зонной плавки ($|\nabla T| = 60$ град./см, $v = 6$ мм/час) и методом Бриджмена ($|\nabla T| = 15$ град./см, $v = 6$ мм/час). Направление роста близко к направлению $\langle 111 \rangle$.

Средняя плотность дислокаций, определенная методом травления, не превышала 10^3 см⁻².

Исследование дислокационной структуры методом рентгеновской топографии проводилось на двухкристальном спектрометре в положении Брэгга—Лауэ (2, -2), смонтированном на базе стандартной рентгеновской установки УРС-60, в $Mo K_{\alpha}$ -излучении. В качестве монохроматора использовались пластинки малодислокационного CdTe с индексами отражающей поверхности $\{110\}$.