

## НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК ФОСФИДА ГАЛЛИЯ, ВЫРАЩЕННЫХ НА КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖКАХ

Жилияев Ю. В., Криволапчук В. В., Назаров Н., Никитина И. П.,  
Полетаев Н. К., Сергеев Д. В., Травников В. В., Федоров Л. М.

Изложены результаты изучения спектров низкотемпературной (2 К) фотолюминесценции эпитаксиальных пленок фосфида галлия, выращенных на кремниевых подложках эпитаксией из газовой фазы в открытой хлоридной системе.

Спектры фотолюминесценции эпитаксиальных слоев GaP/Si имеют все характерные особенности (вплоть до линии экситона, связанного на доноре), присущие эпитаксиальным слоям GaP, выращенным на подложках GaP. Интенсивность полос фотолюминесценции полученных слоев GaP/Si сравнима с интенсивностью соответствующих полос в слоях GaP/GaP.

1. Первые попытки создания структур из  $A^{III}B^V$  на кремниевых подложках относятся к середине 60-х годов [1]. В последние годы интерес к таким структурам, в частности к структурам из GaP на Si, существенно возрос, что обусловлено перспективой соединения в единое целое логических и усилительных схем, изготовленных по кремниевой технологии с оптоэлектронными устройствами, выполненными на основе  $A^{III}B^V$ .

Структуры из GaP на Si создавались ранее в основном методами жидкостной [2], газофазной [3] и молекулярно-пучковой эпитаксии [4]. В работе [5] сообщается о получении эпитаксиальных пленок фосфида галлия на кремниевых подложках (100) методом газофазной эпитаксии в хлоридной системе. Полученные пленки, видимо, были дефектными, поскольку фотолюминесценцию структур GaP/Si наблюдать вообще не удалось.

Отметим, что электрические характеристики гетероструктур GaP/Si подробно исследованы в работах [6-9].

2. В настоящей работе получены слои фосфида галлия на кремниевых подложках эпитаксией из газовой фазы в открытой хлоридной системе  $Ga-PCl_3-H_2$  [10].

Слой GaP выращивались в кварцевом реакторе с тремя температурными зонами: зоной травления (для удаления естественной пленки  $SiO_2$  в потоке  $H_2+PCl_3$ ), зоной источника и зоной роста. В качестве подложек использовались пластины кремния ориентации (100), разориентированные на  $4^\circ$ .

Образцы выращивались методом двухступенчатого роста: вначале на кремниевой подложке формировался тонкий ( $\sim 1$  мкм) слой фосфида галлия, а затем этот слой наращивался этим же методом на другой установке до толщины  $d \geq 10$  мкм. В полученных таким образом структурах GaP/Si исследовались спектры комбинационного рассеяния (КР), рентгеновской дифрактометрии и низкотемпературной фотолюминесценции (ФЛ).

3. Структурное совершенство слоев оценивалось по спектрам комбинационного рассеяния. В спектрах КР выращенных слоев (рис. 1) присутствуют четко выраженные LO- и TO-линии, отвечающие рассеянию на решеточных колебаниях, характерные для кристаллов GaP. Совпадение полуширины и соотношение интенсивностей LO- и TO-линий в спектрах КР выращенных слоев GaP/Si и эталонного кристалла GaP указывают на идентичность кристаллической матрицы GaP/Si и матрицы эталонного GaP. В спектре КР GaP/Si

имеется также линия ( $520 \text{ см}^{-1}$  или  $65 \text{ мэВ}$ ), отвечающая линии КР кристалла кремния. Интенсивность этой линии существенно уменьшается по мере увеличения толщины эпитаксиального слоя.

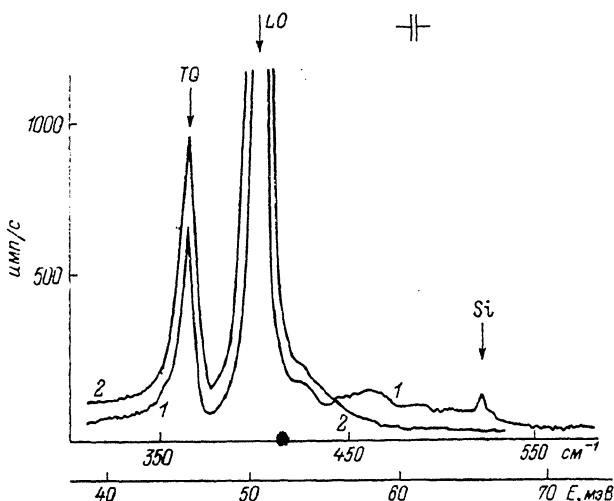


Рис. 1. Спектры комбинационного рассеяния эпитаксиальных структур.  
1 — GaP/Si, 2 — GaP/GaP;  $\lambda_{\text{возб}} = 514.5 \text{ нм}$ ,  $T = 300 \text{ К}$ .

¶ Параметр постоянной решетки ( $a$ ) полученных слоев ( $d \geq 10 \text{ мкм}$ ) GaP измерялся по угловому расстоянию между двумя максимумами на кривой дифракционного отражения, полученной методом двухкристальной рентгенов-

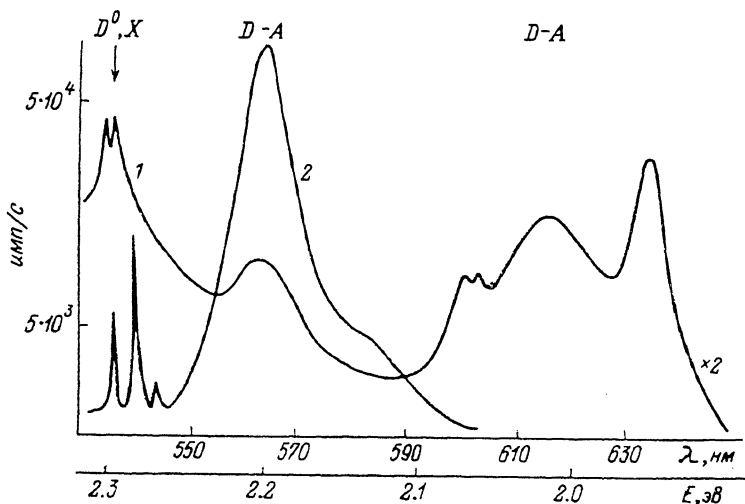


Рис. 2. Спектры низкотемпературной фотолуминесценции эпитаксиальных структур.  
1 — GaP/Si, 2 — GaP/GaP;  $\lambda_{\text{возб}} = 514.5 \text{ нм}$ ,  $T = 2 \text{ К}$ ;  $D^0$ ,  $X$  — экситон, связанный на нейтральном доноре (S, Te);  $D-A$  — полоса, отвечающая донорно-акцепторной рекомбинации.

ской дифрактометрии ( $\text{MoK}\alpha, \lambda = 0.709261 \text{ \AA}$ ). Значения параметра выращенного эпитаксиального слоя GaP изменяются от образца к образцу и лежат в пределах  $5.4446 - 5.4497 \text{ \AA}$ . Отклонение значений параметра от известного для монокристаллического GaP ( $a = 5.4506 \text{ \AA}$ ) [11] может быть связано с напряжениями, возникающими в эпитаксиальном слое из-за значительного рассогласования решеток подложки и слоя. Значительная полуширина ( $\sim 200'$ ) максимума дифракционного отражения также свидетельствует в пользу этого предположения.

Концентрацию свободных носителей мы оценивали по спектрам КР. Отсутствие в спектрах КР линий, отвечающих рассеянию на  $LO$ -плазмонных колебаниях, указывает на то, что концентрация свободных носителей в выращенных слоях меньше  $10^{17} \text{ см}^{-3}$  [12].

4. Для оценки вероятности различных каналов рекомбинации в слоях GaP/Si нами исследовались спектры низкотемпературной фотолюминесценции (2 К). Спектр ФЛ эпитаксиального слоя GaP/Si имеет все характерные особенности, присущие образцу GaP/GaP, вплоть до линии экситона, связанного на доноре (рис. 2). Наличие в спектре ФЛ интенсивной линии связанного экситона указывает на значительный вклад излучательного канала рекомбинации. Кроме того, интенсивность других полос ФЛ слоев GaP/Si в исследованном диапазоне длин волн сравнима с интенсивностью соответствующих полос в монокристаллах GaP/GaP. Совокупность этих данных позволяет сделать вывод о том, что в слоях GaP/Si количество центров безызлучательной рекомбинации сравнимо с количеством таких центров в эпитаксиальных слоях фосфида галлия, выращенных на подложках GaP. Следует также отметить, что в спектрах ФЛ структур GaP/Si имеется полоса с максимумом вблизи 610 нм ( $\sim 2.02$  эВ), которая, по мнению ряда авторов, отвечает рекомбинации носителей, локализованных на донорно-акцепторных парах Si—Si [13].

5. Таким образом, согласно проведенным измерениям, можно сделать вывод о том, что основные характеристики слоев фосфида галлия, полученного нами на кремниевых подложках методом газофазной эпитаксии в хлоридной системе, близки к характеристикам эпитаксиальных слоев фосфида галлия, выращенных на подложках GaP тем же методом.

В заключение считаем своим приятным долгом поблагодарить Б. В. Царенкова за обсуждение экспериментальных результатов.

#### Список литературы

- [1] Kesperis J. S., Yatsko R. S., Newman P. A. // Technical report Ecom-2471. US Army Electronics-Comand. Fort Monmouth, New-Jersey, 1964.
- [2] Rosztochy F. F., Stein W. W. // J. Electrochem. Soc. 1972. V. 110. N 8. P. 1119—1121.
- [3] Thomas R. W. // J. Electrochem. Soc. 1969. V. 116. N 6. P. 1449—1456.
- [4] Kawanami H., Sukamoto T., Takanashi T. // Japan. J. Appl. Phys. 1982. V. 21. N 2. P. L68—L70.
- [5] Huber H., Winstel C. H. // Siemens Forch Entwickle Bericht. 1973. Bd 2. N. 3. S. 171—174.
- [6] Герасименко Н. И., Лежейко Л. В., Любопытова Е. В. // ФТП. 1981. Т. 15. В. 6. С. 1088—1092.
- [7] Карлина Л. Б., Леонов Е. И., Шаронова Л. В., Шмарцев Ю. В. // ФТП. 1981. Т. 15. В. 6. С. 1202—1204.
- [8] Макарова Т. Л., Шаронова Л. В., Шмарцев Ю. В. // ФТП. 1984. Т. 18. В. 9. С. 1588—1592.
- [9] Шик А. Я., Шмарцев Ю. В. // ФТП. 1981. Т. 15. В. 7. С. 1385—1394.
- [10] Alferov J. I., Garbuzov D. Z., Trukan M. K., Zhiljaev Ju. V. // J. Kris. a. Techn. 1967. N 4. P. 541—545.
- [11] Баранский П. И. Полупроводниковая электроника. Киев, 1975. 384 с.
- [12] Рассеяние света в твердых телах / Под ред. М. Кордоны. М., 1979. С. 183—187.
- [13] Dean P. J., Frosh C. J., Henry C. H. // J. Appl. Phys. 1968. V. 39. N 10. P. 5631—5636.

Физико-технический институт  
и. А. Ф. Иоффе АН СССР  
Ленинград

Получена 18.01.1990  
Принята к печати 22.03.1990