

06.2; 12

© 1990

ДВУМЕРНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ГАЗ В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ $In_{0.88}Ga_{0.12}As_{0.23}P_{0.77}/In_{0.53}Ga_{0.47}As$, ВЫРАЩЕННЫХ ЖИДКОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИЕЙ

А.Т. Гореленок, Д.Н. Рехвиашвили,
М.Ю. Надточий, В.М. Устинов

Гетероструктуры на основе твердого раствора $In_{0.53}Ga_{0.47}As$, совпадающего по параметру решетки с InP подложкой, весьма перспективны не только для применений в качестве излучателей и фотоприемников в ВОЛС, но и для транзисторов с высокой подвижностью электронов, т.к. подвижность и максимальная дрейфовая скорость электронов в этом материале больше, чем в $GaAs$. К настоящему времени в литературе имеются сообщения о получении гетероструктур $InGaAs/InP$ с двумерным электронным газом, полученных как газофазной (ГФЭ), так и жидкофазной (ЖФЭ) эпитаксией [1-4], однако подвижность электронов в ГФЭ структурах [3] существенно превышает подвижность в лучших ЖФЭ структурах [5].

В данной работе впервые сообщается о получении методом ЖФЭ гетероструктур $In_{0.88}Ga_{0.12}As_{0.23}P_{0.77}/In_{0.53}Ga_{0.47}As$ с двумерным электронным газом и с высокой подвижностью электронов при комнатной температуре, не уступающей лучшим результатам, полученным на структурах, выращенных методом ГФЭ.

Структуры выращивались методом ЖФЭ на полуизолирующих подложках $InP:F$ (рис. 1, вставка). Концентрация электронов в узкозонном $InGaAs$ (толщиной 0.7 мкм), а также в спейсере (200А) и буферном слое (0.5 мкм) $InGaAsP$ с помощью легирования редкоземельными элементами [6] была снижена до $n_0 \leq \leq 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Часть широкозонного слоя $InGaAsP$ (толщиной 0.2 мкм) специально не легировалось, в этом случае уровень фонового легирования составлял $n_2 = 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. В случае структур $InP/InGaAs$ μ (4.2 К) составляла $39000 \text{ см}^2/\text{Вс}$, а при переходе к структурам $InGaAsP/InGaAs$ подвижность увеличивалась до $56000 \text{ см}^2/\text{Вс}$. Следует отметить, что подвижности измерялись после освещения структур белым светом.

Введение в структуру спейсера и буферного слоя привело к дальнейшему росту подвижности как при низких температурах, так и при комнатной, а также к полному отсутствию зависимости подвижности и концентрации двумерных электронов от освещения при низких температурах. Исследованию механизмов рассеяния и устойчивой фотопроводимости в полученных структурах будет посвящена отдельная работа.

На рис. 1 представлены температурные зависимости подвижности и концентрации электронов в структуре $In_{0.88}Ga_{0.12}As_{0.23}P_{0.77}/In_{0.53}Ga_{0.47}As$ со спейсером и буферным слоем. При понижении тем-

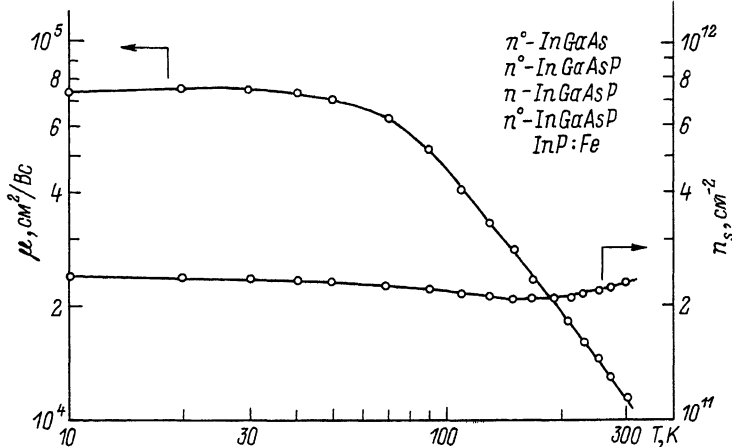


Рис. 1. Температурные зависимости концентрации и подвижности электронов в структуре $In_{0.88}Ga_{0.12}As_{0.23}P_{0.77} / In_{0.53}Ga_{0.47}As$ с буферным слоем и спейсером. На вставке - схематическое изображение структуры.

пературы от комнатной подвижность экспоненциально возрастает, что характерно для рассеяния на LO - фонах [7]; при $T < 50$ K подвижность от температуры практически не зависит. Концентрация электронов в структуре почти не изменяется во всем диапазоне температур. Освещение белым светом при низких температурах не приводило к изменению параметров структуры. Величина подвижности при комнатной температуре ($12300 \text{ см}^2/\text{Вс}$) находится на уровне или несколько превышает лучшие результаты, полученные на структурах $InGaAs / InP$, выращенных ГФЭ [2, 3]. Низкотемпературная подвижность в отсутствие освещения $\mu(4.2\text{K}) = 7.3 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{Вс}$, по-видимому, является наибольшей среди структур, выращенных ЖФЭ. Величина $1.03 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{Вс}$, о которой сообщается в [5], получена после освещения структуры $GaAs$ светодиодом.

Результаты магнитотранспортных измерений в сильных магнитных полях при 4.2 K представлены на рис. 2. Горизонтальные плато квантового эффекта Холла и соответствующие им участки нулевого сопротивления, а также совпадение двумерной концентрации, полученной из анализа осцилляций Шубникова-де Гааза, с результатом холловских измерений в слабых полях говорит об отсутствии параллельной проводимости в полученной структуре.

Таким образом, методом ЖФЭ впервые получены гетероструктуры $In_{0.88}Ga_{0.12}As_{0.23}P_{0.77} / In_{0.53}Ga_{0.47}As$ с двумерным электронным газом. Очень высокая подвижность электронов при комнатной температуре, а также отсутствие зависимости транспортных характе-

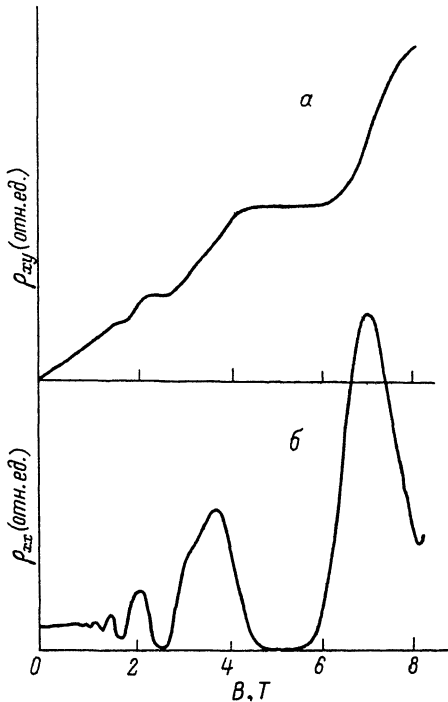


Рис. 2. Квантовый эффект Холла (а) и осцилляции Шубникова-де Гааза (б) двумерного электронного газа в структуре, изображенной на вставке рис. 1.

ристик от освещения при низких температурах весьма привлекательно с точки зрения перспектив применения подобных структур в полевых транзисторах с высокой подвижностью электронов.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность П.С. Копьеву и Н.М. Шмидт за полезные обсуждения, а также Ж.И. Алферову за интерес к работе.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Комено J., Такикава M., Ozeki M. // *Electron. Lett.* 1983. V. 19. N 13. P. 473-474.
- [2] Zhu L.D., Sulewski P.E., Chan K.T. et al. // *J. Appl. Phys.* 1985. V. 58. N 8. P. 3145-3149.
- [3] Thijs P.J.A., Lagemaat J.M., Woltjer R. // *Electron. Lett.* 1988. V. 24. N 4. P. 226-227.
- [4] Воробьева В.В., Егорова М.В., Крещук А.М. и др. // *Письма в ЖТФ.* 1989. Т. 15. В. 11. С. 73-77.

- [5] Воробьева В.В., Егорова М.В., Крешук А.М. и др. I Всес. конф. по физическим основам твердотельной электроники, Л., 1989. Тез. докл. Т.В. С. 80-81.
- [6] Баграев Н.Т., Власенко Л.С., Гореленок А.Т. и др. // ФТП. 1984. Т. 18. В. 1. С. 83-84.
- [7] Wei H.P., Tsui D.C., Razeghi M. // Appl. Phys. Lett. 1984. V. 45. N 6. P. 666-668.

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

Поступило в Редакцию
5 февраля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 8

26 апреля 1990 г.

06.2; 09

© 1990

СНЯТИЕ ВЫРОЖДЕНИЯ В P- и П-ОБЛАСТЯХ ТУННЕЛЬНОГО ДИОДА ВНЕШНИМ СВЧ-СИГНАЛОМ

Д.А. У с а н о в, Б.Н. К о р о т и н,
В.Е. О р л о в, А.В. С к р и п а л ь

Как известно, N -образный вид вольт-амперной характеристики (ВАХ) туннельного диода связан с тем, что р-п-переход в нем образуется в результате контакта двух вырожденных полупроводников.

В настоящем сообщении приведены результаты экспериментального исследования изменения вида ВАХ туннельного диода при воздействии на него внешнего СВЧ-сигнала. В экспериментах использовались серийно выпускаемые туннельные диоды. Было установлено, что с увеличением амплитуды внешнего СВЧ-сигнала наблюдалось постепенное уменьшение наклона ВАХ, в том числе ее падающего участка, затем полное исчезновение области отрицательного наклона. При дальнейшем увеличении мощности внешнего СВЧ-сигнала ВАХ туннельного диода становилась подобной характеристике полупроводникового диода с переходом между невырожденными полупроводниками, что можно понимать как снятие вырождения в полупроводниках, образующих р-п-переход. Вольт-амперные характеристики туннельного диода при отсутствии и при подаче на него внешнего СВЧ-сигнала приведены на рис. 1. В рассмотренном случае такой вид ВАХ наблюдался при подведении к диоду внешнего сигнала с частотой 10 ГГц и мощностью 2 мВт. В случае использования диода в качестве активного элемента СВЧ-генератора, работающего с частотой собственных колебаний 1.2 ГГц, следствием увеличения мощности подводимого внешне-