

06.2; 12

© 1992

ЭЛЕКТРОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДУЛЯЦИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ ГЕТЕРОПЕРЕХОДНЫХ СТРУКТУР $AlGaAs / GaAs$, ВЫРАЩЕННЫХ МЕТОДОМ МОСГИДРИДНОЙ ЭПИТАКСИИ

Г.А. А х м е д о в, А.С. В е д е н е е в,
В.А. Г о р б ы л е в, А.Г. Ж д а н,
И.Д. З а л е в с к и й, Ш.С. Х а л и л о в,
А.А. Ч е л н ы й

Первые модуляционно-легиРОВанные гетероэпитаксиальные (МЛГ) структуры $AlGaAs / GaAs$, используемые для создания полевых транзисторов с высокой подвижностью электронов, выращивались молекулярно-лучевой эпитаксией (МЛЭ) [1]. Рекордные значения подвижности электронов, наблюдаемые в таких структурах, связывались с низким уровнем остаточных (фоновых) примесей в $GaAs$ и резкостью гетероперехода [2]. Основными недостатками МЛЭ являются низкая производительность и относительно высокая стоимость установок МЛЭ.

В последние годы для выращивания МЛГ структур большое распространение получила МОС-гидридная эпитаксия [2, гл. 18]. МЛГ структуры, полученные этим методом, имеют относительно низкую концентрацию глубоких, так называемых, ДХ-центров и гладкую, свободную от усов и овальных дефектов, поверхность.

В данном письме сообщается об условиях выращивания МОС-гидридной эпитаксией МЛГ структур $AlGaAs / GaAs$ и о результатах измерений подвижности и концентрации электронов на гетерогранице и электропроводности шунтирующего ее слоя.

Структуры $AlGaAs / GaAs$ выращивались на установке МОС-гидридной эпитаксии горизонтального типа при пониженном давлении $p=65$ мм рт. ст. с эффективной площадью загрузки ≤ 100 см². Конструкция графитового пьедестала и выбор газодинамических условий роста позволяли выращивать в одном процессе 6 структур диаметром 40 мм. В качестве источников металлов использовались триэтилгаллий (ТЭГ) и триметилалюминий (ТМА), термостатируемые при температуре 17 °С с точностью ± 0.1 °С. Источником мышьяка служил арсин-концентрат. Водород, прошедший диффузионную очистку через палладиевый фильтр, использовался как газоноситель. Применение дополнительных локальных очистителей позволило снизить температуру росы для водорода от -85 до -111 °С и для арсина от -30 до -95 °С. Расход разбавляющего водорода 23 л/мин. Скорость роста $GaAs$ составляла 260 Å/мин. Газовая система установки коммутирует потоки газов-реагентов за время ≈ 0.1 с, что

позволяет выращивать структуры с резкостью переходов не хуже 1-2 моноатомных слоев.

В качестве подложки использовались пластины $GaAs$ марки АГЧП-2 и АГЧП-10, ориентированные в плоскости (100) с отклонением 2° в направлении [110]. Концентрация (n) и подвижность (μ) носителей заряда в выращенных на них специально нелегированных слоях $GaAs$, найденная из измерений эффекта Холла, составляет $n = 7 \cdot 10^{14}$ и $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ и $\mu = 7300$ и $92000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ при 300 и 77 К соответственно.

Исследованные МЛГ структуры состояли из нелегированного слоя $GaAs$, спейсера $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$, легированного слоя $n^+-Al_{0.3}Ga_{0.7}As : Si$ ($N_{Si} = 1.5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$) и контактного слоя $n^+-GaAs : Si$ ($N_{Si} = 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$) толщинами 10000, 90, 520, 400 Å соответственно. Непосредственно перед ростом МЛГ структуры, с целью исключения влияния подложки, выращивался буферный слой в виде сверхрешетки $GaAs$ (50 Å)/ $Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ (50 Å) суммарной толщиной 0,1 мкм (10 периодов). На поверхности МЛГ структур с использованием стандартной техники фотолитографии изготавливались мезоструктуры в форме моста Холла (конфигурация «двойной крест» [3] длиной 1000 и шириной 100 мкм). Токковые и потенциальные контакты формировались сплавлением In в потоке водорода при $T = 430^\circ\text{C}$ в течение 3 мин.

На рис. 1 представлены температурные зависимости холловской подвижности (μ_H) и концентрации (n_H) электронов. С понижением температуры от $T = 300$ до 77 К μ_H монотонно увеличивается, а n_H плавно уменьшается, что типично для МЛГ структур [2]. Величины μ_H и n_H характеризуют структуры в целом, тогда как для диагностики структур и оптимизации режима эпитаксии более информативными являются подвижность и концентрация электронов в двумерном канале на гетерогранице (μ_c, n_c) и электропроводность шунтирующего канала слоя (σ_s). В работе [4] предложен метод определения этих величин по температурной зависимости μ_H и n_H . Поскольку электропроводность шунтирующего слоя и концентрация электронов в канале в условиях вырождения практически не изменяются с температурой, то величина $(\mu_H n_H^{1/2})$, построенная в функции от $(\mu_H n_H)$ по температурной зависимости μ_H и n_H , является прямой линией с тангенсом угла наклона равным $1/n_c^{1/2}$, сдвинутой по оси абсцисс на величину σ_s / q . Соответствующая зависимость, построенная по экспериментальным данным рис. 1, представлена на рис. 2; видно, что она линейна, т.е. концентрация электронов в канале действительно не изменяется с температурой. По наклону зависимости $(\mu_H n_H^{1/2}) - (\mu_H n_H)$ находим $n_c = 8 \cdot 10 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$, а по ее пересечению с осью абсцисс — электропроводность шунтирующего слоя $\sigma_s = 2 \cdot 0 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1}/\square$. Учитывая, что электропроводность канала на гетерогранице $\sigma_c = q \mu_c n_c - \sigma_s$ и используя найденные значения n_c и σ_s , по температурной зависимости $\sigma(T) = q \mu_c n_c$ определяем $\mu_c(T)$ (кривая 3 на рис. 1). Из сравнения кривых

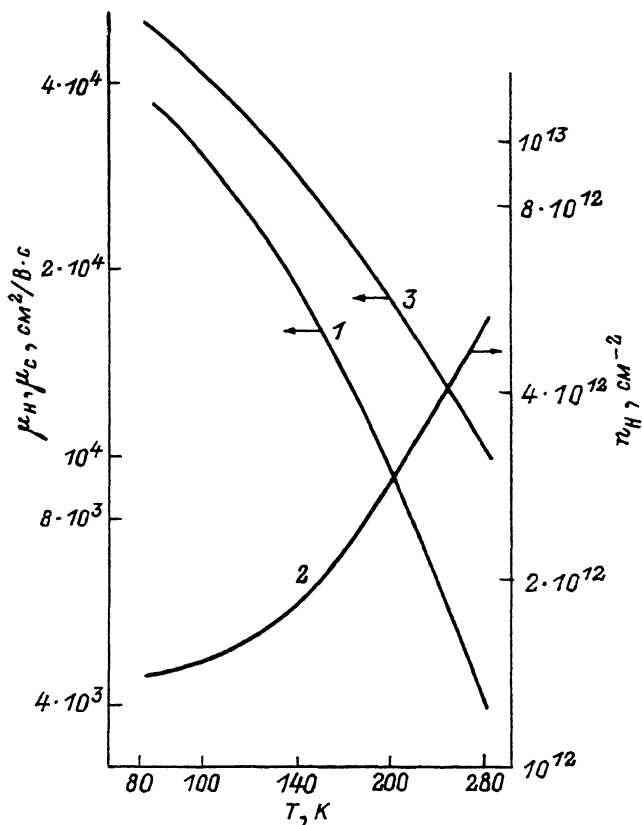


Рис. 1. Температурная зависимость холловской подвижности и концентрации электронов в МЛГ структуре $AlGaAs/GaAs$; 1 - эффективная холловская подвижность μ_H , 2 - эффективная холловская концентрация n_H , 3 - подвижность электронов на гетерогранице μ_c .

1 и 3 явствуют, что шунтирование канала контактным слоем и, возможно, неполностью обедненным слоем $n^+-Al_{0.3}Ga_{0.7}As$ толщиной 520 Å, приводит к уменьшению в 1.5-2 раза эффективной подвижности (μ_H) по отношению к реальной подвижности электронов на гетерогранице (μ_c).

Таким образом, методом МОС-гидридной эпитаксии выращены МЛГ структуры $AlGaAs/GaAs$. Из анализа экспериментальных данных по эффекту Холла определены парциальный вклад канала на гетерогранице и шунтирующего слоя в температурные зависимости эффективной подвижности электронов μ_H и суммарной электропроводности σ . Установлено, что по концентрации $n_c = 8.1 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ и подвижности $\mu_c = (1 \cdot 10^4 \text{ и } 5 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с, при } 300 \text{ и } 77 \text{ соответственно})$ электронов на гетерогранице данные структуры не

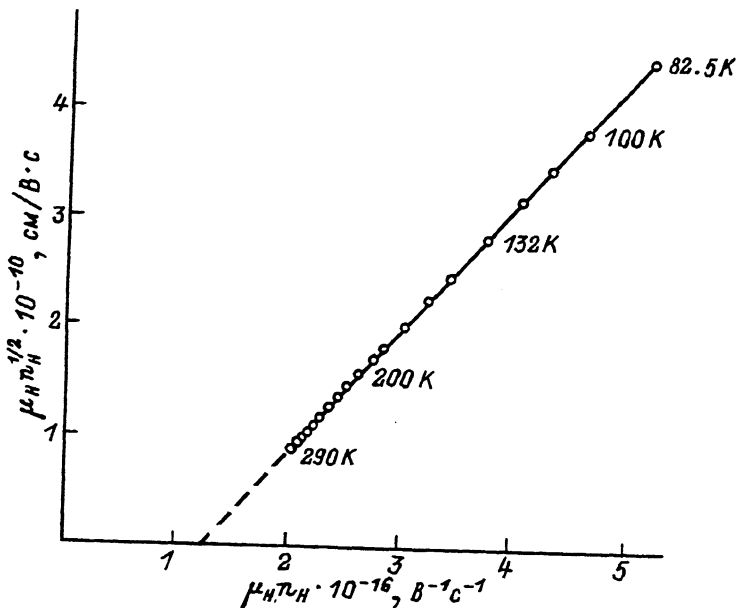


Рис. 2. Зависимость $(\mu_n \mu_p^{1/2}) - (\mu_n \mu_p)$, построенная по экспериментальным данным рис. 1.

уступают *AlGaAs / GaAs* МЛГ структурам, полученным методом МЛЭ, и следовательно, они могут быть использованы для изготовления полевых транзисторов с высокой подвижностью электронов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Dingle R., Stormer H., Gos-sard A.C., Wiegmann W. // *Appl. Phys. Lett.* 1978. V. 33. P. 665-667.
- [2] Молекулярно лучевая эпитаксия и гетероструктуры. / Под ред. Л. Ченга и К. Плога (перевод с английского под ред. Ж.И. Алферова и Ю.В. Шмарцева). М.: Мир, 1989. С. 584.
- [3] К у ч и с Е.В. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования, М.: 1990, 264 с.
- [4] А х м е д о в Г.А., В е д е н е е в А.С., Ж д а н А.Г., Х а л и л о в Ш.С. // *Поверхность*, 1993. В.1 (в печати).
А х м е д о в Г.А., Б е л о у с о в П.С., В е д е н е е в А.С., Ж д а н А.Г., М и х а й л о в В.А., Х а л и л о в Ш.С. // *Электронная техника, Сер. 1 СВЧ-техника*. 1992, в. 2 (446). С. 35-39.

Поступило в Редакцию
29 июля 1992 г.