

05

©1993 г.

ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫЕ Au-*n*-GaP СТРУКТУРЫ НА Si ПОДЛОЖКАХ: ПОЛУЧЕНИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

А.В.Бобров, В.В.Евстропов, Ю.В.Жиляев,
М.Г.Мынбаева, Н.Назаров

Получение фосфидгаллиевых слоев и приборных структур на Si подложках является одной из задач при совмещении полупроводников A^3B^5 и кремния. Имеются сообщения о получении *p-n*-структур из GaP на Si подложках [1-4] различными методами газофазной эпитаксии: диффузией цинка в эпитаксиальный слой *n*-GaP, который получен хлоридно-гидридной эпитаксией на подложках Si [1] и выращиванием последовательно *n*- и *p*-слоев GaP на *n*-Si подложках открытым хлоридным способом [2-4].

Представляет интерес также создание других типов структур на основе фосфида гиллия на кремниевой подложке, например, металл-полупроводник (*m-S*-структур). Действительно, замена подложки GaP на Si, кроме удешевления структуры, заметно уменьшает ее последовательное сопротивление, особенно при низких (77 К, жидкий азот) температурах, что уже показано для *p-n*-структур из GaP на Si подложках [4]. Сравнительно малое последовательное сопротивление в структурах из GaP на Si подложках, расширяя температурный диапазон, дает возможность исследовать механизм протекания тока при азотных температурах путем непосредственного измерения $I-U_j$ характеристики (U_j — напряжение на слое объемного заряда *m-S*-структуры). В обычных (без Si подложки) *m*(Au)-*S*(GaP)-структурах такие исследования проводились до 200 К [6,7].

В настоящей работе сообщается о создании структур *m*(Au)-*S*(*n*-GaP) на Si подложках и о предварительных результатах исследования их электрических свойств.

1. Объектами исследования служили структуры Au-*n*-GaP/*n*-Si (основной вариант) и структуры Au-*n*-GaP (контрольный вариант), полученные вакуумным термическим распылением золота на эпитаксиальный слой *n*-GaP на Si подложке и на пластину *n*-GaP. При этом необходимо отметить, что полупрозрачная пленка Au наносилась одновременно на *n*-GaP/*n*-Si структуру и на пластину *n*-GaP, причем в процессе нанесения пленки Au подложки нагревались до температуры $\sim 250^\circ \text{C}$. Толщина полупрозрачной пленки Au составляла $\sim 100 - 150 \text{ \AA}$.

Для создания структур Au-*n*-GaP/*n*-Si использованы эпитаксиальные слои *n*-GaP на *n*-Si подложках, полученные методом хлоридной газотранспортной эпитаксии [5]. В процессе эпитаксии слои *n*-GaP легировались теллуром и серой до концентраций электронов $n \simeq 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и имели толщину $\sim 7 \text{ мкм}$.

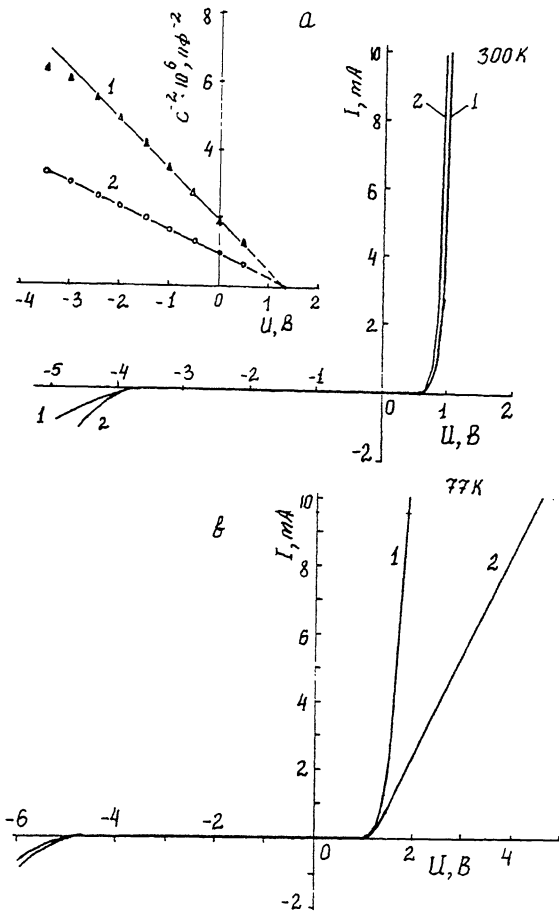


Рис. 1. Характеристики ток-напряжение для основной (1) и контрольной (2) структур при плотностях тока $i \gtrsim 10^{-2}$ А/см². Т, К: а — 300, в — 77. Площадь барьерного контакте основной и контрольной структур — 5 мм². На вставке (а) — $C^{-2}-U$ характеристики.

Подложками для получения структур $n\text{-GaP}/n\text{-Si}$ служили полированные пластины $n\text{-Si-KЭФ-001}$ толщиной ~ 400 мкм, ориентированные в плоскости (100) с разориентацией 4 и 6° в направлении [110].

Для получения контрольных $\text{Au-}n\text{-GaP}$ структур использованы полированные пластины $n\text{-GaP}$, легированные теллуrom до концентраций носителей $n \simeq (1-3) \cdot 10^{17}$ см⁻³, толщиной ~ 400 мкм и ориентированные в плоскости (100) с разориентацией 3-4° в направлении [110].

Площадь барьерного (Au) контакта в исследованных основных и контрольных структурах составляла $S \simeq (5-7) \cdot 10^{-2}$ см². Омические контакты к подложкам $n\text{-GaP}$ и $n\text{-Si}$ создавались вжиганием

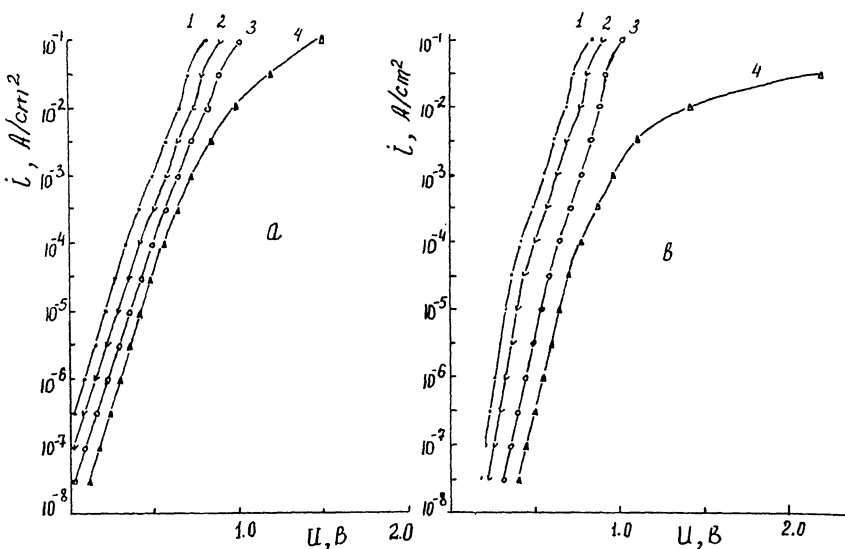


Рис. 2. Характеристики прямой ток-напряжение для основной (а) и контрольной (в) структур при различных температурах. а) T, K : 1 — 300, 2 — 235, 3 — 140, 4 — 77; в) T, K : 1 — 300, 2 — 230, 3 — 155, 4 — 77.

сплава $In+2\%Te$ в атмосфере очищенного водорода при температуре $580-600^\circ C$.

Зависимость емкости (C) от напряжения (U) для основных и контрольных структур — обратная квадратичная, $C^{-2} \sim U$ (рис. 1, а, вставка). Емкостное напряжение отсечки структуры $Au-n-GaP/n-Si \sim 1.4$ В. Ширина слоя объемного заряда $0.6-0.8$ мкм, концентрация электронов в эпитаксиальных слоях $n-GaP$ $n \simeq (0.8-1.0) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. У контрольных структур $Au-n-GaP$ напряжение отсечки и ширина слоя объемного заряда такие же.

2. $I-U$ характеристики в области влияния последовательного сопротивления, $i \gtrsim 10^{-2} \text{ А/см}^2$

Созданные структуры $m(Au)-S(n-GaP)$ на Si подложках отличаются от обычных (контрольных) более низким последовательным сопротивлением, что особенно заметно проявляется при азотных температурах. Это видно, в частности, из сравнения $I-U$ характеристик основной и контрольной структур при температурах 77 и 300 К и плотностях прямого тока $i \gtrsim 10^{-2} \text{ А/см}^2$ (рис. 1, а, в и рис. 2, а, в).

Общий вид характеристики ток (I) — напряжение U структур $Au-n-GaP/n-Si$ и $Au-n-GaP$ при плотностях тока $i \gtrsim 10^{-2} \text{ А/см}^2$ и при двух температурах 300 и 77 К показан на рис. 1, а, в. Видно, что при прямых смещениях сопротивление, $R = U/I$, в области быстрого роста тока, основной структуры при 77 К значительно меньше, чем контрольной, тогда как при комнатной температуре

Последовательное сопротивление основных и контрольных структур при 300 и 77 К и при плотностях тока 4 А/см²

| Номер структуры | Тип структуры | Последовательное сопротивление, R, Ом | | $K = \frac{R(77 \text{ К})}{R(300 \text{ К})}$ |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------------|------|--|
| | | 300 К | 77 К | |
| 1 | Основная — Au-n-GaP/n-Si | 4 | 25 | 6.2 |
| 2 | —“_”_ | 3.5 | 25 | 7.0 |
| 3 | —“_”_ | 3 | 18 | 6.0 |
| 4 | Контрольная — Au-n-GaP | 6 | 220 | 36.6 |
| 5 | —“_”_ | 5 | 150 | 30.0 |

они отличаются незначительно. Этот результат полностью соответствует данным для *p-n*-структуры из GaP на Si подложках [4].

Значения последовательного сопротивления для трех основных и двух контрольных структур при 300 и 77 К, а также кратность увеличения последовательного сопротивления $K = R(77 \text{ К})/R(300 \text{ К})$ при охлаждении от комнатной до температуры жидкого азота приведены в таблице. Из таблицы видно, что K для основных структур на порядок меньше, чем для контрольных структур, что вызвано заменой большей пассивной части (подложки GaP) на Si подложку. Такое значительное уменьшение последовательного сопротивления было ранее достигнуто для *p-n*-структуры из GaP в результате замены GaP подложки на Si [4].

3. $I-U$ характеристики в области малых прямых токов $10^{-7}-10^{-2}$ А/см²

$I-U$ характеристика в области малых прямых токов $10^{-7}-10^{-2}$ А/см² в диапазоне температур 77-300 К имеет признаки туннельно-избыточного тока: изломы на $I-U$ характеристике и малый температурный коэффициент напряжения $\sim 10^{-3}$ В/град (рис. 2).

Представляя приближенно $I-U$ характеристику некоторой усредняющей экспонентой, $i = i_0 \exp(qu/\epsilon)$, получим, что i_0 возрастает всего на два порядка (от $3 \cdot 10^{-9}$ до $3 \cdot 10^{-7}$ А/см²) при возрастании температуры от 77 до 300 К, причем $\epsilon = 60$ мэВ и практически не зависит от температуры. Слабая температурная зависимость i_0 и независимость ϵ от температуры указывают на туннельный механизм прямого тока.

Поскольку слой объемного заряда широкий (~ 0.6 мкм) по сравнению с глубиной подбарьерного туннелирования ~ 0.01 мкм, следует предположить, что в структурах Au-n-GaP на Si подложках реализуется многоступенчатое туннелирование, как и в *p-n*-структурах на GaP на Si подложках [4], причем предполагается, что многоступенчатое туннелирование идет по системе энергетических уровней в запрещенной зоне, которые обусловлены дислокациями, т.е. механизм тока — туннельно-избыточный.

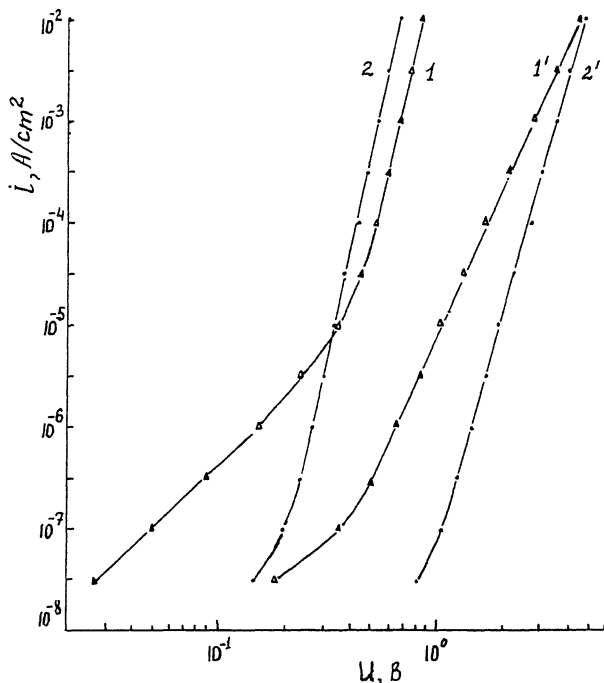


Рис. 3. Характеристики ток-напряжение для основной (1, 1') и контрольной (2, 2') структур при 300 К. 1, 2 — прямые токи, (1', 2') — обратные токи.

В контрольных структурах свойства $I-U$ характеристики в области малых токов, $i \lesssim 10^{-3}$ А/см², в основном такие же (рис. 2, в) и механизм протекания тока также туннельно-избыточный, т.е. в отличие от [6,7] не соответствует идеальной модели термоэмиссионного тока.

Обратный темновой ток

Обратный темновой ток в структурах Au-n-GaP/n-Si (рис. 3) при малых токах ($10^{-7}-10^{-2}$ А/см²) имеет степенную зависимость от напряжения с показателем степени $n = 5-7$ при 300 К, что характерно для механизма туннельно-избыточного тока.

Представляя эту степенную зависимость в безразмерной форме, $i = i_0(qU/\varepsilon)^n$, которая приспособлена для сопоставления с приближенно экспоненциальной зависимостью прямого тока, получим те же самые параметры $\varepsilon = 60$ мэВ и $i_0 \approx 5 \cdot 10^{-7}$ А/см², что и для прямого тока. Следовательно, при малых токах прямая и обратная $I-U$ характеристики, имея разные функциональные зависимости (экспоненциальную и степенную), задаются одними и теми же параметрами ε и i_0 . Это означает, по-видимому, одну и ту же природу прямого и обратного туннельно-избыточного тока. Такой же результат был получен для анизотипных гетероструктур n-GaP/p-Si и p-GaP/n-Si [8].

Для контрольной структуры Au-*n*-GaP обратный темновой ток имеет в основном такие же особенности, как для основной.

Выводы

1. На основе эпитаксиальных слоев GaP, выращенных на Si подложках методом газотранспортной хлоридной эпитаксии, созданы *m-S* структуры вакуумным термическим напылением золота.

2. Эти поверхностно-барьерные структуры Au-*n*-GaP/*n*-Si по сравнению с обычными структурами Au-*n*-GaP (без Si подложки) имеют уменьшенное последовательное сопротивление: при температуре жидкого азота на порядок, при комнатной температуре в 1.5–2 раза.

3. Механизм протекания прямого и обратного тока — туннельно-избыточный и, по-видимому, обусловлен дислокациями в эпитаксиальном слое фосфида гиллия.

Список литературы

- [1] Mori H., Ogasawara M., Yamamoto M., Tachikawa M. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. N 16. P. 1245–1247.
- [2] Евстропов В.В., Жиляев Ю.В., Назаров Н., Сергеев Д.В., Федоров Л.М. // ФТП. 1993. Т. 27. В. 4. С. 668–673.
- [3] Евстропов В.В., Жиляев Ю.В., Назаров Н., Сергеев Д.В., Федоров Л.М. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 3. С. 28–32.
- [4] Евстропов В.В., Жиляев Ю.В., Назаров Н., Сергеев Д.В., Федоров Л.М., Шерняков Ю.М. // ФТП. 1993. Т. 27. В. 8.
- [5] Жиляев Ю.В., Криволапчук В.В., Назаров Н., Никитина И.П., Полетаев Н.К., Сергеев Д.В., Травников В.В., Федоров Л.М. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 7. С. 1303–1305.
- [6] Царенков Б.В., Гольдберг Ю.А., Изергин Л.Н., Поссе Е.А., Равич В.Н., Рафиев Т.Ю., Сильвестрова Н.Ф. // ФТП. 1972. Т. 6. В. 7. С. 710–714.
- [7] Царенков Б.В., Гольдберг Ю.А., Поссе Е.А. // ФТП. 1973. Т. 7. В. 12. С. 2326–2334.
- [8] Евстропов В.В., Жиляев Ю.В., Назаров Н., Сергеев Д.В., Федоров Л.М. // ЖТФ. 1993. Т. 63. (в печати).

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе РАН
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
29 апреля 1993 г.