

06.3; 07; 12

© 1993

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ
GaP р-п-СТРУКТУР НА *Si* ПОДЛОЖКАХВ.В. Евстропов, Ю.В. Жильев,
Н. Назаров, Д.В. Сергеев,
Л.М. Федоров

Растущий интерес к структурам из фосфида галлия на кремниевых подложках в основном обусловлен возможностью совмещения в таких структурах достоинств фосфида галлия (его электрических и электролюминесцентных свойств) и высококачественных кремниевых пластин большого размера.

Фосфид-галлиевые структуры на кремниевых подложках создавались различными методами эпитаксии – молекулярно-лучевой [1, 2], металлоорганической [3, 4], хлоридно-гидридной [5] и хлоридной [6–8]. В работах [1–4, 6] сообщалось о создании эпитаксиальных слоев *GaP* и об изучении их морфологии поверхности, а в [5, 8] – о создании светоизлучающих *GaP* р-п-структур на *Si* подложках.

В настоящей работе впервые сообщается о создании фоточувствительных *GaP* р-п-структур на *Si* подложках и о фотоэлектрических свойствах этих структур.

Объектами исследования служили *GaP* р-п-структуры на *Si* подложках (основные) и р-*GaP*/п-*GaP* структуры (контрольные), полученные методом газофазной эпитаксии в открытой хлоридной системе *Ga(GaP) - PCl₃ - H₂* [7].

Для получения основной р-п-*GaP*/п-*Si* структуры сначала на *Si* подложке выращивался гетероэпитаксиальный слой п-*GaP*, а затем на него наращивался слой р-*GaP*. Толщина первичного эпитаксиального слоя п-*GaP* составляла ~6 мкм. В процессе эпитаксии первичные слои п-*GaP* легировались теллуром и серой до концентрации электронов $n \approx (1-3) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Эпитаксиальный слой р-*GaP* выращивался одновременно на п-*GaP*/п-*Si* структуре (основной вариант) и на п-*GaP* подложке (контрольный вариант). Выращенный слой р-*GaP* легировался цинком до концентрации дырок $p = (0.5-1) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и имел толщину (2–3) мкм.

Кремниевыми подложками, предназначенными для получения основных р-п-*GaP*/п-*Si* структур, были двухсторонне полированные пластины *Si* – КЭФ – 001 толщиной ~400 мкм, ориентированные в плоскости (100) с разориентацией 4–6° в направлении [110].

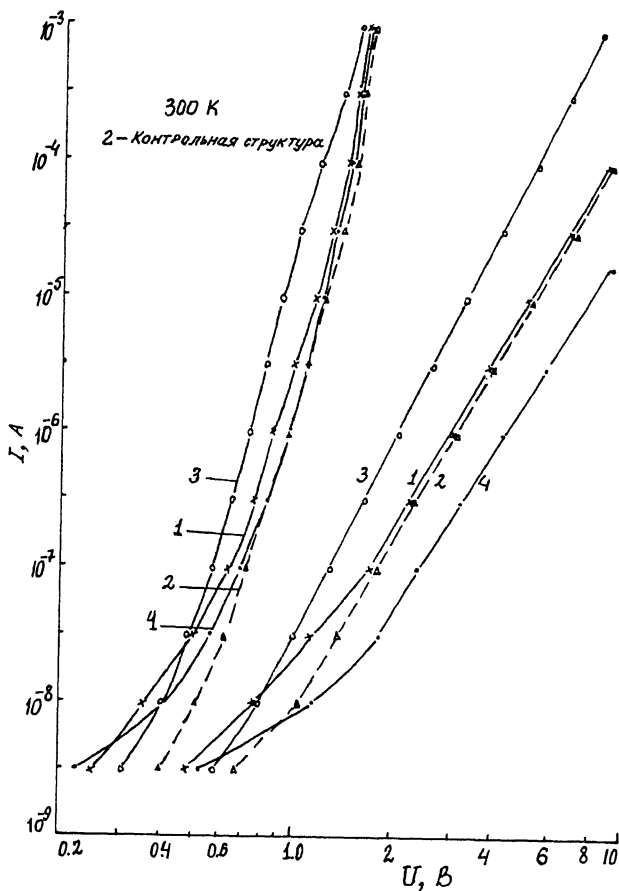


Рис. 1. Зависимость обратного тока от напряжения в предпробойной области для трех основных р-п-*GaP*/п-*Si* и контрольной р-*GaP*/п-*GaP* структур (нижний набор линий). Для сравнения приведен и прямой ток (верхний набор линий), 300 К.

Фосфид-галлиевыми подложками, предназначенными для создания контрольных *GaP* р-п-структур, были пластины п-*GaP*, легированные теллуром либо оловом до концентрации $n = (2-5) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ толщиной $\sim 400 \text{ мкм}$, ориентированные в плоскости (100) с разориентацией $3-4^\circ$ в направлении [110].

Площади полученных р-п-*GaP*/п-*Si* и р-*GaP*/п-*GaP* структур составляли $S = (2-3) \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$.

Омические контакты создавались вплавлением в атмосфере очищенного водорода при температуре $550-600^\circ \text{C}$, причем для р-эпитаксиальных слоев использовался сплав $\text{In} + 2\% \text{Zn}$, для п-*Si* и п-*GaP* подложек - $\text{In} + 2\% \text{Te} + 1\% \text{Ni}$.

Характеристика емкость (C) – напряжение (U) (300 К).

Зависимость $C^{-\gamma} - U$ р-п-*GaP*/п-*Si* структур, измеренная с помощью измерителя емкости Е 7-12 на частоте 1 МГц, обратнo-квадратичная, $\gamma=2$. В исследованных структурах р-п-переход резкий, с концентрацией $\sim 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и шириной слоя объемного заряда $\sim 0.5 \text{ мкм}$, определенных по $C^{-2} - U$ характеристике.

Зависимость $C^{-2} - U$ для контрольных структур практически не отличается от основных.

Характеристика ток (I) – напряжение (U) (300 К).

Зависимость прямого тока от напряжения линейна при больших плотностях тока (6-15) А/см², токовое напряжение отсечки $U_{\text{отс}} = 1.85-1.9 \text{ В}$, дифференциальное сопротивление (4-6) Ом. $I - U$ характеристика контрольных структур практически не отличается от основных.

Если при малых прямых токах ($10^{-7}-10^{-3}$) А/см² $I - U$ характеристику представить некоторой усредненной экспонентой $I = I_0 \cdot \left[\exp \frac{qU}{\varepsilon} - 1 \right]$, то $I_0 = 10^{-9} \text{ А/см}^2$; $\varepsilon = 100 \text{ мэВ}$.

Обратный темновой ток в предпробойной области (при малых токах $10^{-6}-10^{-2} \text{ А/см}^2$) имеет степенную зависимость от напряжения с показателем степени $n=4-4.5$ при 300 К (рис. 1), что характерно для механизма туннельно избыточного тока. Представляя эту степенную зависимость в безразмерной форме

$I = I_0 \left(\frac{qU}{\varepsilon} \right)^n$, которая приспособлена для сопоставления с экспонентой прямого тока, и взяв $\varepsilon = 100 \text{ мэВ}$, получим $I_0 = 10^{-9} \text{ А/см}^2$, т.е. такую же величину, как у прямого тока. Следовательно, при малых токах прямую и обратную $I - U$ характеристики можно задать одними и теми же параметрами ε и I_0 .

Следует отметить, что единый (для прямого и обратного токов) параметр I_0 косвенно связан с напряжением пробоя U_B . Увеличению I_0 на порядок соответствует уменьшение U_B на 2-3 В.

Спектры фоточувствительности основных р-п-*GaP*/п-*Si* и контрольной р-*GaP*/п-*GaP* структур при 300 К измерены при освещении со стороны р-*GaP* (рис. 2, а). Как видно из рис. 2, а спектры фоточувствительности основных и контрольной структур отличаются незначительно. Максимум спектра фоточувствительности исследованных различных р-п-*GaP*/п-*Si* структур по сравнению с р-*GaP*/п-*GaP* структурой (значение энергии фотона в максимуме спектра фоточувствительности основной структуры 2.65 эВ) смещен в коротковолновую (30 мэВ) и длинноволновую (50 мэВ) области спектра. В основных структурах при значениях энергии падающих фотонов $h\nu < E_{g \text{ GaP}}$ не наблюдается фототок, что указывает на отсутствие фотоэффекта в *Si* подложке (отсутствие влияния *Si* подложки на спектральные фотоэлектрические свойства *GaP*).

Небольшой разброс в максимуме спектра фоточувствительности исследованных р-п-*GaP*/п-*Si* структур, по-видимому, обусловлен

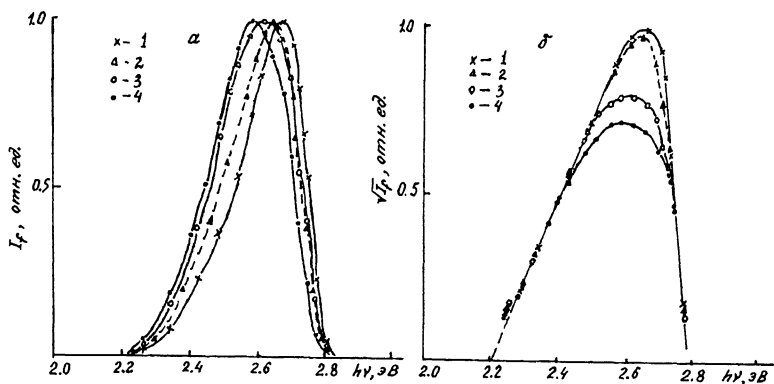


Рис. 2. а – спектры фоточувствительности трех основных $p\text{-GaP}/p\text{-Si}$ (сплошные линии) и контрольной $p\text{-GaP}/p\text{-GaP}$ (пунктирная линия) структур при 300 К, б – квадратичная зависимость фототока от энергии фотонов для основных $p\text{-GaP}/p\text{-Si}$ и контрольной $p\text{-GaP}/p\text{-GaP}$ структур при 300 К.

неоднородностью в толщине эпитаксиальных слоев GaP , возникающей при их получении.

Как известно, для непрямозонных полупроводников зависимость коэффициента поглощения от энергии фотонов – квадратичная. Поскольку на начальном участке фототок пропорционален коэффициенту поглощения, то на этом участке зависимость $\sqrt{I_f}$ от $h\nu$ должна быть линейной для GaP .

Как показывает зависимость $\sqrt{I_f}$ от $h\nu$ (рис. 2, б), спектральная отсечка $U_{\text{отс}}$ у основных и контрольной структур практически одинаковая и равна $U_{\text{отс}} = 2.20\text{--}2.21$ эВ, что указывает на отсутствие влияния фотоэффекта в кремниевых подложках на спектральные фотоэлектрические свойства GaP $p\text{-}n$ -структур.

Небольшое отличие спектральной отсечки от ширины запрещенной зоны GaP (2.26 эВ), по-видимому, вызвано наличием хвоста плотности состояния у краев запрещенной зоны в GaP из-за чего, вследствие правила Урбаха, фактическая зависимость $\sqrt{I_f} - h\nu$ слегка отклоняется от линейной, тем самым уменьшая отсечку по сравнению с E_g .

Таким образом, впервые открытым хлоридным способом газофазной эпитаксии созданы фоточувствительные $p\text{-GaP}/p\text{-Si}$ структуры и измерены их фотоэлектрические свойства. Показано, что спектр фоточувствительности $p\text{-GaP}/p\text{-Si}$ структур практически не отличается от спектра обычной GaP $p\text{-}n$ -структуры.

- [1] G o n d a S., M a t s u s h i m a Y.,
M u k a i S., M a k i t a Y., I g a r a -
s h i O. // Jap. J. Appl. Phys. 1978. V. 17.
N 6. P. 1043-1048.
- [2] K a w a n a m i H., I s h i h a r a S., N a -
g a i K., H a y a s h i Y. // Jap. J. Appl. Phys.
1986. V. 25. N 5. P. 4L419-L420.
- [3] P o g g e H.B., K e m l a g e B.M., B r o a -
d i e R.W. // J. Crystal. Growth. 1977. V. 37.
P. 13-22.
- [4] K o h a m a Y., K a d o t a Y., O h m a -
s h i Y. // Jap. J. Appl. Phys. 1990. V. 29.
N 2. P. L229-L232.
- [5] H u b e r H., W i n s t e l G.H. // Siemens
Forsch. Entwicke Bericht. 1973. V. 2. N 3. P. 171-
174.
- [6] Ж и л я е в Ю.В., К р и в о л а п ч у к В.В., Н а з а -
р о в Н., Н и к и т и н а И.П., П о л е г а е в Н.К.,
С е р г е е в Д.В., Т р а в н и к о в В.В., Ф е д о -
р о в Л.М. // ФТП. 1990. Т. 24. В. 7. С. 1303-
1305.
- [7] Е в с т р о п о в В.В., Ж и л я е в Ю.В., Н а з а -
р о в Н., С е р г е е в Д.В., Ф е д о р о в Л.М. //
ФТП. 1993. Т. 27. В. 3 (в печати).
- [8] M o r i H., O g a s a w a r a M., Y a m a -
m o t o M., T a c h i k a w a M. // Appl.
Phys. Lett. 1987. V. 51. N 16. P. 1245-
1247.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
14 января 1993 г.