

06.2;06.3

©1993

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПОЛЕВОЙ ФОТОТРАНЗИСТОР НА ОСНОВЕ GaAs

*И.А.Жебулёв, В.И.Корольков, В.Г.Никитин,
Н.Ю.Орлов, Т.С.Табаров, М.А.Убайдуллаев*

По мере развития технологических процессов выращивания и формирования приборных структур требуемой геометрии все большее внимание уделяется разработке и изучению арсенид-галлиевых полевых транзисторов вертикальной геометрии [1-3]. Вертикальные полевые транзисторы (ВПТ), известные в литературе как транзисторы со статической индукцией (SIT), на основе GaAs благодаря высокому быстродействию и крутизне весьма привлекательны как в микро- и оптоэлектронике, так и в силовой электронике.

Известны два типа ВПТ, отличающихся расположением затворных областей. Транзисторы с открытым затвором широко используются при изготовлении ВПТ на основе Si [4]. По-видимому, в настоящее время из-за неблагоприятных свойств поверхности GaAs предпочтительней является структура ВПТ со скрытым затвором, хотя в литературе описаны ВПТ первого типа, в которых в качестве затвора используются барьеры Шоттки [1]. Необходимо заметить, что технология изготовления на основе GaAs ВПТ со скрытым затвором несколько сложнее. Однако, как было показано в работах [5-6] в случае нормально закрытого транзистора роль напряжения на затворе может успешно выполнять внешний свет. При этом изучение электрических и усилительных свойств такой двухэлектродной структуры дает обширную информацию о характере протекающих процессов. Кроме того, в ряде областей практического использования ВПТ, когда для повышения рабочих напряжений применяется последовательное включение, использование внешнего света существенно упрощает схему управления. Как показали расчеты, при таком способе управления можно сохранить высокое быстродействие [7], что открывает возможность использования ВПТ в качестве оптоэлектронного ключа.

В данной работе впервые приводятся результаты исследования фотоэлектрических и импульсных характеристик высоковольтных GaAs ВПТ с "оторванной" базой. Структуры исследуемых ВПТ были получены методом жидкофаз-

ной эпитаксии путем селективного выращивания затворных p -областей шириной 5 мкм с шагом 2 мкм на предварительно изготовленных $n^+ - n^0$ подложках. Толщина n^0 — области составляла 30–40 мкм, а концентрация $n^0 \approx 10^{14} \text{ см}^{-3}$. После формирования затворных областей выращивался эпитаксиальный слой специально нелегированного GaAs толщиной 10–15 мкм. Используя технику фотолитографии и химическое травление, были изготовлены ВПТ со сплошным омическим контактом со стороны n^+ — подложки диаметром 300 мкм и верхним контактом диаметром 50 мкм, со стороны которого и вводился свет.

Изготовленные таким образом структуры изучались как фототранзисторы, т.е. в режиме с “оторванной” базой. Темновые ВАХ рассматриваемых ВПТ были асимметричны, что связано с разными толщинами n^0 — областей. Характер зависимостей $I_{ds} = f(U_{ds})$ указывает на то, что при нулевом напряжении на затворе транзисторы находились в закрытом состоянии. Обычно при $U_{ds} = 300 - 500 \text{ В}$ темновой ток не превышал 10 мкА. Перекрытие ОПЗ соседних $p^+ - n^0$ переходов уже при нулевом смещении, по-видимому, обусловлено неравномерным распределением примеси в n^0 -области.

На спектральной характеристике ВПТ имелся острый пик на $\lambda = 0.87 \text{ мкм}$, обусловленный поглощением света в ОПЗ и затяжка в коротковолновую область, простирающаяся до 0.3–0.4 мкм. Причем, с ростом приложенного напряжения U_{ds} чувствительность в коротковолновой области возрастала.

На рис. 1, *a* и *b* приведены световые характеристики исследуемых ВПТ при различных уровнях освещенности. В области малых уровней освещенности (рис. 1, *a*) из-за сильного перекрытия каналов коэффициент усиления G был меньше 1 ($G \approx 0.04 - 0.10$) вплоть до мощностей падающего света $P \leq 10 \text{ мВт}$. По мере увеличения P коэффициент усиления G возрастал и достигал значений 20–30 ($P > 100 - 200 \text{ мВт}$). В области высоких уровней освещенности выходные ВАХ приведены на рис. 1, *b*. Как видно из рисунка, при $P \approx 200 \text{ мВт}$ сопротивление ВПТ не превышало $30 \text{ Ом} \cdot \text{см}^{-2}$, а плотность тока достигала $j \approx 2 \cdot 10^3 \text{ А/см}^2$. Сравнительно низкое сопротивление и высокое значение отношения V_b/V_{on} (V_b — блокируемое напряжение, V_{on} — напряжение в открытом состоянии) позволяет использовать данную структуру в качестве эффективного оптоэлектронного ключа. В этом случае одной из важнейших характеристик является быстродействие.

В качестве мощного импульсного источника света использовался гетеролазер, питаемый генератором на осно-

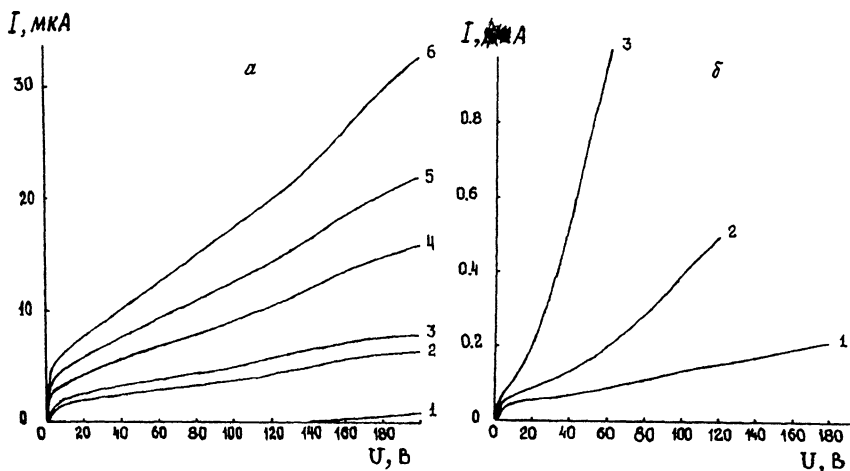


Рис. 1. Статические темновые и световые вольт-амперные характеристики ВПТ; а) малые уровни освещенности (мВт): 1 — темновая, 2 — 0.14, 3 — 0.2, 4 — 0.53, 5 — 0.63, 6 — 1.0; б) высокие уровни освещенности (мВт): 1 — 50, 2 — 100, 3 — 200.

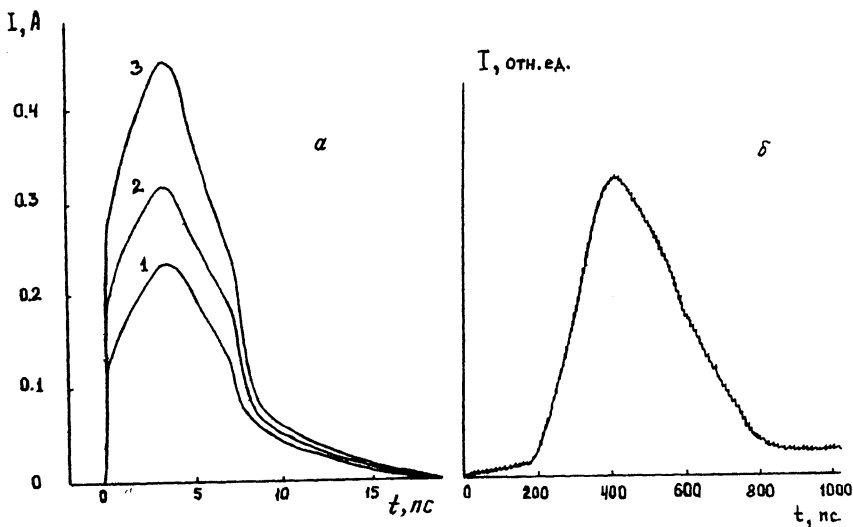


Рис. 2. Динамические характеристики ВПТ при засветке гетеролазерами ($\lambda = 0.87$ мкм) различной мощности и длительности импульсов ($R_n = 50$ Ом); а) зависимость I_ϕ от уровня освещенности P (Вт): 1 — 0.07, 2 — 0.085, 3 — 0.10; б) импульсы фототока при освещении лазерными импульсами длительностью на полуширине 12 нс.

ве сверхбыстродействующего фотонно-инжекционного тристора [8]. На рис. 2, а приведены импульсы фототока ВПТ при различных уровнях освещенности при $f = 100$ кГц. При увеличении падающей мощности и приложенного напряжения между стоком и истоком фронт нарастания импульса фототока уменьшался. Так как при $U_{ds} = 150$ В и $P \approx 100$ мВт, фронт нарастания импульса фототока составлял 500-600 пс, а время спада 3-4 нс, что соответствовало форме импульса света [9]. Существенно более короткие импульсы фототока были получены при освещении ВПТ пикосекундным (длительность импульса света 12 пс) полупроводниковым лазером ($\lambda = 0.87$ мкм) (рис. 2, б). При этом фронт нарастания (t_n) импульса фототока составлял 200 пс, а фронт спада ($t_{сп}$) — 400 пс. Полученные значения t_n и $t_{сп}$ свидетельствуют, что рассматриваемые ВПТ могут использоваться в качестве оптоэлектронных ключей, для запуска которых требуются существенно меньшие оптические мощности, чем для традиционных на основе полужолирующих материалов.

В заключение авторы выражают свою искреннюю признательность Ж.И.Алферову за интерес и внимание к работе, В.Д.Куксенкову за помощь в проведении исследований импульсных характеристик, а также А.В.Рожкову и А.А.Яковенко за плодотворное обсуждение результатов исследований.

Список литературы

- [1] Campbell P.M., Garwacki W., Sears A.R., Menditto P., Baliga B.J. // IEEE Electron. Dev. Lett. 1985. V. EDL-6. N 6. P. 304-306.
- [2] Алферов Ж.И., Корольков В.И., Рахимов Н., Табаров Т.С., Явич Б.С. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. N 3. С. 183-185.
- [3] Hadizad P., Hur J.H., Zhao H., Kaviani K., Gundersen M.A., Fetterman H.R. // IEEE Electron Dev. Lett. 1993. V. 14. N 6.
- [4] Hishizawa J., Terasaki T., Shibata J. // IEEE Electron Dev. 1975. V. ED-22. N 4. P. 185-197.
- [5] Богданович М.С., Корольков В.И., Рахимов Н., Табаров Т.С. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 11. В. 2. С. 89-93.
- [6] Богданович М.С., Волков Л.А., Данильченко Б.Г., Корольков В.И., Рахимов Н.Р., Табаров Т.С., Явич Б.С. // ФТП. 1985. Т. 19. В. 10. С. 1731-1735.

- [7] Абашкина С.А., Корольков В.И., Римшанс Я.С., Табаров Т.С. // ФТП. 1993. Т. 27. В. 6. С. 966-971.
- [8] Алферов Ж.И., Ефанов В.М., Задиранов Ю.М., Кардо-Сысоев А.Ф., Корольков В.И., Пономарев С.И., Рожков А.В. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 1. С. 1281-1285.
- [9] Корольков В.И., Орлов Н.Ю., Рожков А.В., Султанов А.М. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 15. С. 38-40.

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

Поступило в Редакцию
9 июля 1993 г.
