

06.2;06.3;07

©1995

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР С ВНУТРЕННИМ ОПТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

И.А.Жебулев, В.И.Корольков, Т.С.Табаров, М.А.Убайдуллаев

Транзисторы со статической индукцией (СИТ), или вертикальные полевые транзисторы (ВПТ), предложены Нишизавой [1] в качестве нового класса короткоканальных полевых транзисторов, обладающих триодоподобными характеристиками. Благодаря своим уникальным свойствам ВПТ нашли широкое применение в микроэлектронике и силовой технике. В последние годы в ряде работ [2-5] было показано, что ВПТ в двухэлектродном исполнении с "плавающим" затвором и полностью перекрытыми областями пространственного заряда соседних p -областей обладают превосходными свойствами при использовании их в качестве быстродействующих фотодетекторов с внутренним усилением и мощных оптоэлектронных ключей. Высокая фоточувствительность ВПТ, а также 100%-й внутренний квантовый выход излучательной рекомбинации позволяют по-новому подойти к конструированию ВПТ при использовании GaAs.

Известно, что благодаря более высокой подвижности по сравнению с Si арсенид галлия — весьма привлекательный материал для разработки ВПТ [5]. В последнее время предпринимаются многочисленные попытки создания ВПТ на основе GaAs [7-8]. Однако из-за отсутствия собственного окисла, подобного SiO_2 в Si, высокой скорости поверхностной рекомбинации технология, развитая для ВПТ на основе кремния, неприменима для создания арсенид-галлиевых приборов и является существенно более сложной. Поскольку, как уже отмечалось, ВПТ, работающие в режиме обогащения (нормально закрытые), обладают высокой фоточувствительностью, можно ожидать, что, когда в самой структуре входной электрический сигнал преобразуется в световой, также будет наблюдаться эффективное управление проводимостью каналов.

Схематическое изображение нового типа ВПТ, рассматриваемого в данной работе, дано на рис. 1. В отличие от традиционных ВПТ, здесь добавлена p^+ -область, которая вместе с n -областью истока образует цепь управления. По сути дела, цепь управления является светодиодом, который служит для преобразования входного тока управле-

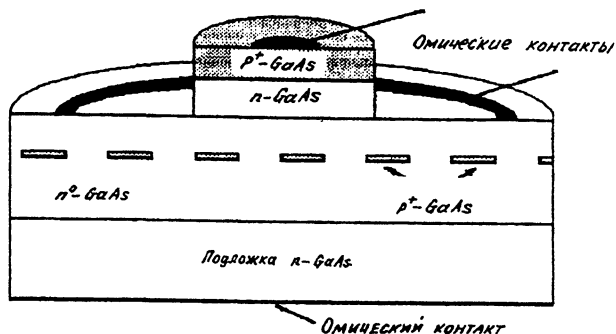


Рис. 1. Схематическое изображение ВПТ с внутренним оптическим управлением.

ния в свет. При протекании тока управления в пропускном направлении часть возникающего рекомбинационного излучения поглощается в барьерной области каналов, создавая электронно-дырочные пары. В результате разделения электронно-дырочных пар происходит модуляция каналов и ток между истоком и стоком возрастает. Таким образом, можно ожидать, что описываемый ВПТ с внутренним оптическим управлением обладает входными характеристиками биполярного транзистора, а выходными — вертикального полевого. Очевидно, что усилительные свойства такого транзистора определяются эффективностью светодиода, длиной волны излучения и геометрией прибора.

Структуры ВПТ были получены методом жидкофазной эпитаксии. На n^+ -подложке GaAs последовательно выращивались слой нелегированного n^0 -GaAs ($n^0 \sim 5 \times 10^{14} - 10^{15} \text{ см}^{-3}$), на котором селективно выращивались p^+ -затворные области в виде полосок шириной 5 мкм и шагом от 10 до 20 мкм, и далее слой n^0 -GaAs с концентрацией, увеличивающейся к поверхности, и p^+ -слой, легированный Ge.

Как было показано нами ранее [5], структуры подобного типа в зависимости от толщины n^0 -области могут выдерживать напряжения между стоком и истоком 500–600 В.

Используя стандартную технику фотолитографии, были изготовлены ВПТ общей площадью $S = 0.64 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$, с «мертвой» площадью $S_p = 0.57 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$ и площадью светодиода управления $S_{упр} = 0.07 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$.

Типичная выходная характеристика, т. е. ток истока как функция не напряжения на затворе, а тока управления при различных напряжениях сток-исток $U_{си}$, показана на рис. 2. При этом входная вольт-амперная характеристика — это

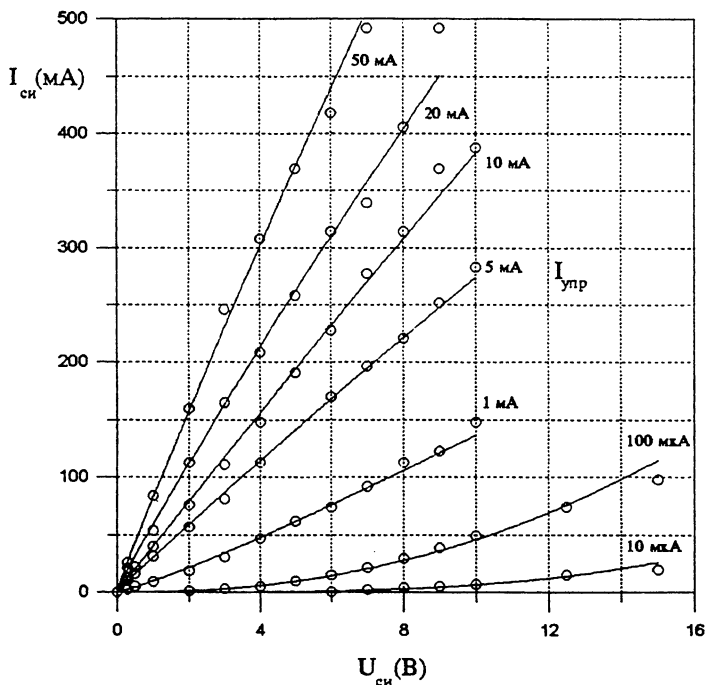


Рис. 2. Зависимость тока истока $I_{си}$ от напряжения исток-сток $U_{си}$ при различных токах управления $I_{упр}$.

обычная ВАХ арсенид-галлиевого светодиода в пропускном направлении с напряжением отсечки $V_{отс}^i \approx (1.3-1.4)$ В.

Как видно из рисунка, выходные характеристики демонстрируют триодоподобную зависимость, которая характерна для СИТ.

Отметим, что сопротивление транзистора во включенном состоянии (аналогично работе биполярного транзистора в режиме насыщения) $R_{он} \approx (10-50)$ мОм \cdot см². При изменении полярности напряжения между истоком и стоком общий вид выходных характеристик сохраняется, но ухудшается эффективность управления.

На рис. 3, а, б приведены зависимости $I_{си} = f(I_{упр})$ при различных значениях $U_{си}$. Фактически это зависимость интегрального коэффициента усиления от тока в схеме с общим истоком, так как ток стока пропорционален коэффициенту усиления B .

Несмотря на многоступенчатый характер преобразования входного сигнала, описываемые вертикальные полевые транзисторы обладали сравнительно большим интегральным коэффициентом усиления, который превышал 10^3 . Столь большие B наблюдались при токах управления по-

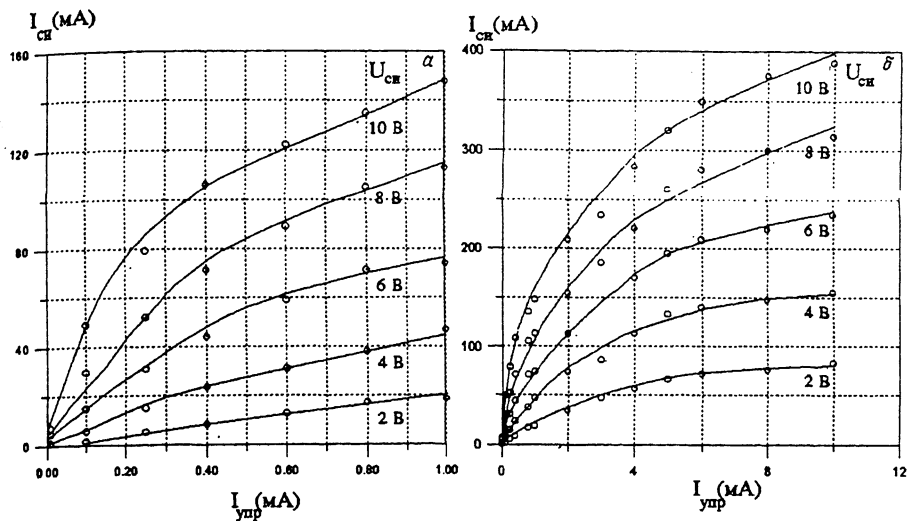


Рис. 3. Зависимость тока истока $I_{сн}$ при различных напряжениях сток-исток $U_{сн}$ от тока управления $I_{упр}$: а — при малых ($I_{упр} < 1$ мА), б — при больших ($I_{упр} > 1$ мА) значениях токов управления.

рядка $10^{-3} - 10^{-4}$ А. С ростом тока управления коэффициент усиления падал, что, по-видимому, связано с характером зависимости напряжения на затворе от интенсивности падающего света. Из рис. 3 видна сильная зависимость коэффициента усиления от напряжения $U_{сн}$. Очевидно, что при малых $U_{сн}$ не все созданные светом электронно-дырочные пары попадают в барьерные области канала. Сопротивление $R_{он}$ оказывается выше расчетного геометрического, что, вероятно, связано с неполной модуляцией периферийных каналов, улучшить которую можно подбором отношения $S/S_{упр}$. Однако, несмотря на неоптимальную структуру транзистора, полученные результаты являются обнадеживающими. Кроме того, описываемая структура при работе в двухэлектродном режиме с оторванным истоком обладает высокой фоточувствительностью и S-образной вольт-амперной характеристикой.

В заключение авторы выражают искреннюю признательность Ж.И. Алфёрову за интерес и внимание к работе.

Список литературы

- [1] Nishizawa J., Terasaki T., Shibata J. // IEEE Trans. Electron Devices. 1975. V. ED-22. P. 185-197.
- [2] Nishizawa J., Nonaka K. // J. Appl. Phys. 1985. V. 57 (10). P. 4783-4797.
- [3] Богданович М.С., Волков Л.А., Данильченко В.Г., Корольков В.И., Ратимов Н.Р., Табаров Т.С., Явич Б.С. // ФТП. 1985. Т. 19. № 10. С. 1731-1734.

- [4] *Hadizad P., Hur J., Zhao H., Kaviani K., Gundersen M.A., Fetterman H.* // IEEE Electron Device Lett. 1993. V. 14(4). P. 193–196.
- [5] *Жебулев И.А., Корольков В.И., Никитин В.Г., Орлов Н.Ю., Табаров Т.С., Убайдуллаев М.А.* // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 15. С. 39–43.
- [6] *Hadizad P., Hur J., Zhao H., Gundersen M.* // J. Appl. Phys. 1992. V. 71(7). P. 3586–3592.
- [7] *Campbell P.M., Garwacki W., Sears A., Menditto P., Baliga B.* // IEEE Electron Device Lett. V. EDL-6. N 6. P. 304–306.
- [8] *Алфёров Ж.И., Корольков В.И., Рахимов Н.Р., Табаров Т.С., Явич Б.С.* // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 3. С. 183–186.

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

Поступило в Редакцию
13 марта 1995 г.
