

ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР С $p-n$ -ПЕРЕХОДОМ В КАЧЕСТВЕ ЗАТВОРА НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $GaAs_{1-x-y}Sb_xP_y$

Вуль А. Я., Вуль С. П., Сайдашев И. И., Петросян П. Г.

В статье излагаются результаты экспериментального исследования возможности создания полевого транзистора с $p-n$ -переходом в качестве затвора на основе эпитаксиальных структур твердого раствора галлий—мышьяк—сурьма. Изготовленные транзисторы имели напряжение отсечки 3–8 В, крутизну 1.0–1.5 мА/В и абсолютную фоточувствительность до 800 А/Вт.

Одним из полупроводниковых твердых растворов, пригодных для создания фотоприемников на спектральный диапазон вблизи одного микрона, является твердый раствор в системе галлий—мышьяк—сурьма. Ранее сообщалось об изготовлении на его основе селективных фотодиодов и фоторезисторов [1, 2].

В данной работе излагаются результаты экспериментального исследования возможности создания полевого транзистора с $p-n$ -переходом в качестве затвора на основе эпитаксиальных структур твердого раствора $GaAs_{1-x}Sb_x$. Полевые транзисторы изготовлялись из структур $p^+-GaAs-n-GaAs_{1-x-y}Sb_xP_y-n^+-GaAs_{1-x}Sb_x$, полученных методом жидкостной эпитаксии аналогично [1, 2]. Геометрия транзисторов, изготовленных с помощью стандартных процессов фотолитографии, показана на рис. 1.

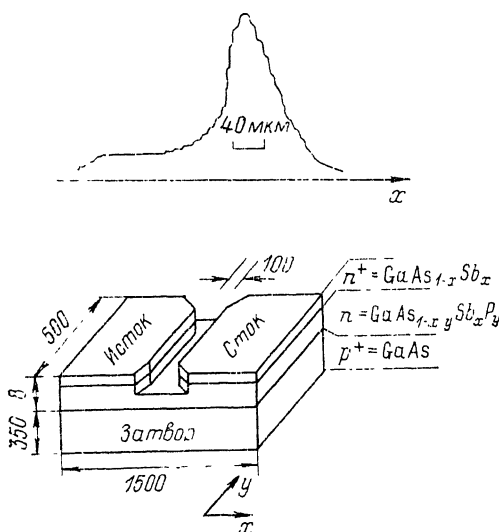


Рис. 1. Структура полевого транзистора.

Сверху показана величина координатной фоточувствительности, измеренная световым зондом диаметром около 10 мкм. Все размеры даны в микронах.

Отметим, что канал транзистора представляет собой слой варизонного полупроводника, в котором ширина запрещенной зоны E_g изменяется по толщине затвора (от подложки p^+-GaAs) к поверхности слоя. Средняя величина градиента E_g составляла, как и в [1], примерно 100 эВ/см.

Статические характеристики полевого транзистора

На рис. 2 показаны выходные $I_{св} = f(U_{св})$ статические характеристики транзистора, т. е. зависимость тока I_c от напряжения $U_{св}$ между стоком и истоком при разных значениях напряжения на затворе $U_{зв}$. На начальном участке стоковой вольт-амперной характеристики (ВАХ) наблюдается слабый нелинейный рост тока стока при увеличении напряжения на стоке. Нелинейность ха-

характеристики на этом участке обусловлена расширением области объемного заряда $p-n$ -перехода и соответственно сужением проводящего канала при увеличении тока стока. Участок ВАХ, где ток стока почти перестает расти при увеличении $U_{зп}$, соответствует насыщению канала. Подача обратного напряжения на затвор относительно истока приводит к расширению области объемного заряда $p-n$ -перехода и к сужению канала. Поэтому статические характеристики смещаются в область меньших токов стока (см. переход от кривой 1 к кривой 3). На том же рисунке для сравнения показаны ВАХ, рассчитанные в приближении постоянной подвижности носителей тока [3]:

$$I_c = I(3U_{сн}/U_p - 2[(U_{сн} + U_{зп} + \varphi_0^{3/2} - (U_{зп} + \varphi_0)^{3/2}]/U_p^{3/2}), \quad (1)$$

где $I_p = z\mu e^2 N_d a^3 / 6EL$ — ток отсечки канала; $U_p = eN_d a / 2E$ — напряжение отсечки канала; φ_0 — контактная разность потенциалов $p-n$ -перехода; L, z, a — длина, ширина и глубина канала (рис. 1); μ — подвижность носителей заряда

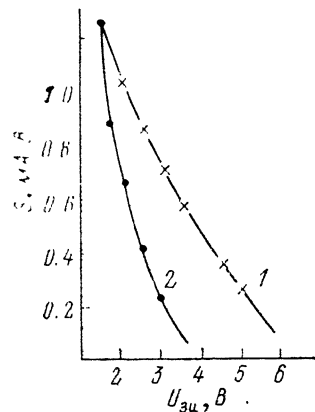
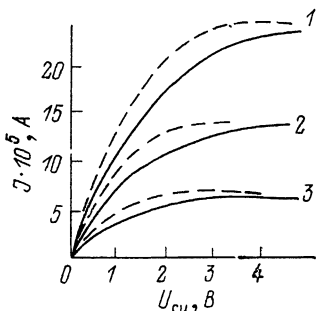


Рис. 2. Экспериментальные и расчетные (штрихи) стокосвые ВАХ при различных напряжениях на затворе.

$U_{зп}$, В: 1 — 0.1, 2 — 1.1, 3 — 1.8.

Рис. 3. Зависимость крутизны ВАХ полевого транзистора от напряжения на затворе при двух температурах.

T , К: 1 — 293, 2 — 77.

($\mu = 2500-3000$ см²·В·с) [4]; N_d — концентрация носителей заряда в канале, величина которой определялась из вольт-фарадной характеристики $p-n$ -перехода [$N_d = (5-7) \cdot 10^{15}$ см⁻³].

Видно, что соотношение (1) довольно хорошо описывает ВАХ $I_c = (U_{сн})$. Причиной небольшого отклонения экспериментальных ВАХ от расчетных, по-видимому, является полевая зависимость подвижности носителей тока, что при больших значениях поля приводит к насыщению дрейфовой скорости [3].

Свойства полевого транзистора как усилителя характеризуются крутизной характеристики $S = dI_c / dU_{зп}$, зависимость которой от $U_{зп}$ представлена на рис. 3 для температур $T = 293, 77$ К. Входное сопротивление транзистора составило $R_{вх} = 10^7-10^8$ см при $U_{зп} = 1-8$ В, ток утечки затвора при $U_{зп} = 8$ В не превышал $I_{зп} < 10^{-8}$ А.

Полученные значения крутизны S , так же как и величины выходного сопротивления $R_{вых} = (2+5) \cdot 10^5$ Ом изготовленного транзистора в рабочей области напряжений и токов (в режиме насыщения), близки к значениям, наблюдаемым в полевых транзисторах с $p-n$ -переходом на основе арсенида галлия [5].

Фотоэлектрические характеристики полевого транзистора

Поскольку канал транзистора представляет собой варизонный полупроводник, в зависимости от направления освещения диапазон спектральной чувствительности различен (рис. 4). При освещении со стороны затвора (p^+-GaAs) длинноволновая граница чувствительности определяется минимальной шириной запрещенной зоны фоточувствительного слоя $GaAs_{1-x-y}Sb_xP_y$, т. е. глуби-

ной канала, коротковолновая — поглощением излучения в арсениде галлия. При освещении со стороны канала диапазон спектральной чувствительности определяется шириной запрещенной зоны и скоростью поверхностной рекомбинации на поверхности слоя $\text{GaAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{P}_y$, т. е. охватывает более коротковолновую область (рис. 4).

Особенностью спектральной зависимости такого транзистора с каналом из варизонного полупроводника является возможность управления диапазоном чувствительности напряжением на затворе (рис. 4): расширение области пространственного заряда W p - n -перехода затвора с увеличением напряжения приводит к расширению диапазона чувствительности.

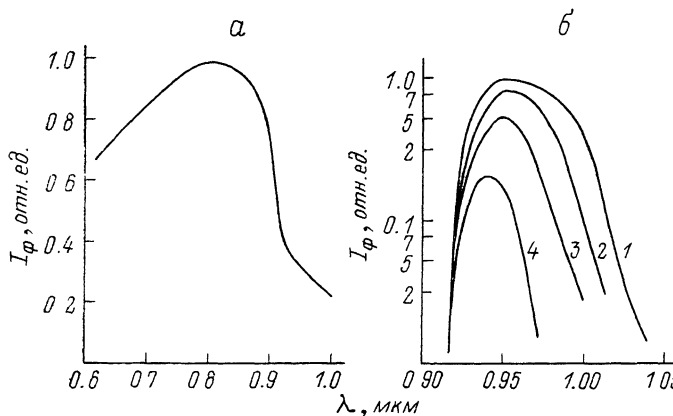


Рис. 4. Спектральные зависимости фоточувствительности полевого транзистора при освещении со стороны канавки (а) и при освещении со стороны p^+ - GaAs (б) при различных напряжениях на затворе.

$U_{зи}$, В: 1 — 160, 2 — 110, 3 — 80, 4 — 50; λ — длина волны.

Известно, что фоточувствительность полевого транзистора превышает чувствительность фотодиода в SR_s раз, где R_s — сопротивление в цепи затвора. Измерение абсолютной величины токовой чувствительности проводилось на длине волны максимальной чувствительности транзистора при освещении центральной части канала импульсами длительностью 1 мс. Мощность излучения определялась фотодиодом, калиброванным на той же длине волны. При этом величина чувствительности оказалась равной 800 А/Вт.

Таким образом, изготовлен полевой транзистор с p - n -переходом в виде управляющего затвора на основе твердых растворов $\text{GaAs}_{1-x-y}\text{Sb}_x\text{P}_y$. Напряжение отсечки 3—8 В, крутизна 1—1.5 мА/В. Транзисторы обладали большим внутренним усилением и абсолютной фоточувствительностью до $S_i=800$ А/Вт.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Вуль А. Я., Кидалов С. В., Сайдашев И. И. // Фотоприемники и фотопреобразователи. М., 1986. С. 105—130.
- [2] Вуль А. Я., Вуль С. П., Кидалов С. В., Шмарцев Ю. В. // Письма ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 12. С. 717—720.
- [3] Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов. М., 1973. 656 с.
- [4] Вуль А. Я., Петросян П. Г., Вуль С. П. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 7. С. 1227—1233.
- [5] Горюнова Н. Н. Полупроводниковые приборы: транзисторы. М., 1982. 904 с.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Санкт-Петербург

Получена 12.05.1991
Принята к печати 17.05.1991