

ФОТОТРАНЗИСТОР СОСТАВНОЙ НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

А.В. Каримов, Д.М. Ёдгорова, О.А. Абдулхаев, Б.М. Каманов, Ф.А. Гиясова

Физико-технический институт НПО "Физика-Солнца" АН РУз (Ташкент)

Поступила в редакцию 29.03.2012

Экспериментально установлено, что в составном полевом транзисторе, где сток первого транзистора соединен со стоком второго транзистора, а исток присоединен к затвору с последовательно соединенным резистором, при освещении канала стокового транзистора ток инжекции через переход затвора увеличивается за счет генерированных фотоносителей, что и приводит к увеличению тока стока. В случае возбуждения затворного транзистора фотогенерированные в $p-n$ -переходе затвора неосновные носители приводят к падению напряжения на резисторе. В результате осуществляется добавка напряжения к затвору стокового транзистора, что приводит к уменьшению тока стока. Такой составной полевой транзистор может быть использован в оптических переключателях.

Ключевые слова: фототранзистор составной, фотоэлектрические характеристики в режиме прямого смещения затвора, фотогенерированные носители, передаточные характеристик.

Експериментально встановлено, що в складеному польовому транзисторі, де стік першого транзистора з'єднаний зі стоком другого транзистора, а джерело приєднане до затвору з послідовно з'єднаним резистором, при освітленні каналу стокового транзистора струм інжекції через перехід затвора збільшується за рахунок генерованих фотоносіїв, що й призводить до збільшення струму стоку. У випадку порушення затворного транзистора фотогенеровані в $p-n$ -переході затвору неосновні носії призводять до спадання напруги на резисторі. У результаті здійснюється додання напруги до затвору стокового транзистора, що призводить до зменшення струму стоку. Такий складений польовий транзистор може бути використаний в оптичних перемикачах.

Ключові слова: фототранзистор складний, фотоелектричні характеристики в режимі прямого зсуву затвора, фотогенеровані носії, передатні характеристик.

Experimentally is established that in the compound field-effect transistor, where the drain of the first transistor is connected to the drain of the second transistor, a source is connected to the gate with a resistor which is connected in series, in light of the transistor channel injection current through the gate junction increases due to the generated photocarriers, which leads to an increase in drain current. In the case of excitation of the gate transistor photogenerated in the $p-n$ -junction minority carriers leads to a voltage drop across the resistor. In the result a voltage is added to the gate of the transistor in the drain, which reduces the drain current. Such a compound field-effect transistor can be used in optical switches.

Keywords: compound phototransistor, photoelectric characteristics, in mode of direct gate bias, photogenerated carriers, the transfer characteristics.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с возрастающей потребностью в передаче и приеме большого объема информации через линии связи возникает необходимость в фотоприемных и предварительных входных каскадах качественно преобразующих полезные сигналы. Благодаря ряду преимуществ полевого транзистора по сравнению с биполярными транзисторами по части темновых токов, и отсутствия емкостного тока они начинают применяться во входных каскадах микро и оптоэлектронных устройств. В этом аспекте представляют интерес также по-

левые фототранзисторы, которые обладая низкими темновыми токами и внутренним фотоэлектрическим усилением по сравнению с фотоэлементами и другими фотоприемниками, не шунтируют входное сопротивление входного каскада усилителя. Выходное сопротивление фотополевого транзистора с входным сопротивлением является наиболее согласованным. Имеются также сведения о том, что путем создания составного транзистора улучшают их усилительные свойства. В одном из вариантов сток первого транзистора соединен со стоком второго транзистора, а ис-

ток соединен к затвору [1]. Первый транзистор работает при обычном обратном смещении, а второй в режиме прямого смещения. Поэтому для сохранения низких токов первый транзистор должен работать в микрорежиме. При таком включении транзисторов превышение прямого тока через прямосмещаемый переход второго транзистора может привести к выходу его из строя. Кроме того сведения об исследовании составного транзистора в качестве фототранзистора в литературе отсутствуют.

В настоящей работе приводятся результаты исследования фотоэлектрических характеристик составного полевого транзистора с управляющим *p-n*-переходом на базе кремниевое полевого транзистора.

СОСТАВНОЙ ПОЛЕВОЙ ФОТОТРАНЗИСТОР

В исследуемом составном транзисторе для предотвращения выхода из строя прямосмещаемого транзистора к затворам соединены резисторы, величина которых равна сопротивлению запираемого затвора. Схема включения составного транзистора для проведения исследований приведена на рис. 1.

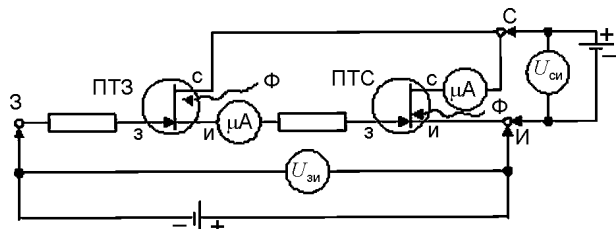


Рис. 1. Схема составного транзистора на полевых транзисторах.

Откуда видно, что для измерения тока стока к выводу стока включен миллиамперметр, а ток затвора снимается с последовательно соединенных переходов затворов. Соответственно, так сказать, затворный транзистор находится в микрорежиме, то есть его ток стока равен току затвора стокового транзистора. При этом стоковый транзистор работает в режиме прямого смещения. Как стоковый, так и затворный транзисторы имеют максимальный ток стока 1,8 мА и напряжение отсечки ~1,0 В. Контактная разность потенциалов определенная из прямой ветви вольтамперной характеристики перехода затвор-исток, как

показано на рис. 2 составляет 0,64 В. Токи до 0,58 вольт имеют низкие значения, то есть на переход затвор-исток можно подавать прямое напряжение до 0,5 В. В режиме прямого смещения затвора за счет инжекции неосновных носителей заряда в канал увеличивается ток стока, приводя к усилению по току с коэффициентом [2]

$$\beta = \frac{2n(kT/q)I_{си.макс}}{(U_k + U_{отс})I_{зи}}$$

где n – коэффициент неидеальности *p-n*-перехода затвора; U_k – контактная разность потенциалов *p-n*-перехода.

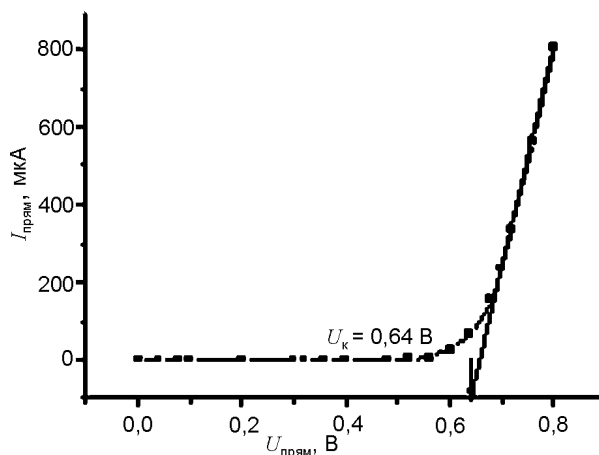


Рис. 2. Прямая вольтамперная характеристика перехода затвор канал № 3ИН4-1.

Произведение коэффициента усиления по току на крутизну затворного транзистора дает суммарную крутизну составного транзистора. При составном включении в темноте от запирающего напряжения токи стока стокового и затворного транзисторов уменьшаются, рис. 3. Характерным является то, что стоковый транзистор полностью не запирается, а канал затворного транзистора полностью закрывается. Ток стока затворного транзистора определяется током затвора стокового транзистора. При этом на начальном участке ток ограничивается до достижения 0,5 В и далее наблюдается рост тока стока. Такое поведение стоковой характеристики обусловлено наступлением инжекции носителей при приближении величины напряжения к контактной разности потенциалов перехода затвора, то есть, где начинается подъём прямого тока перехода затвора и с этого момента происходит рост тока стока. Крутизна передаточной

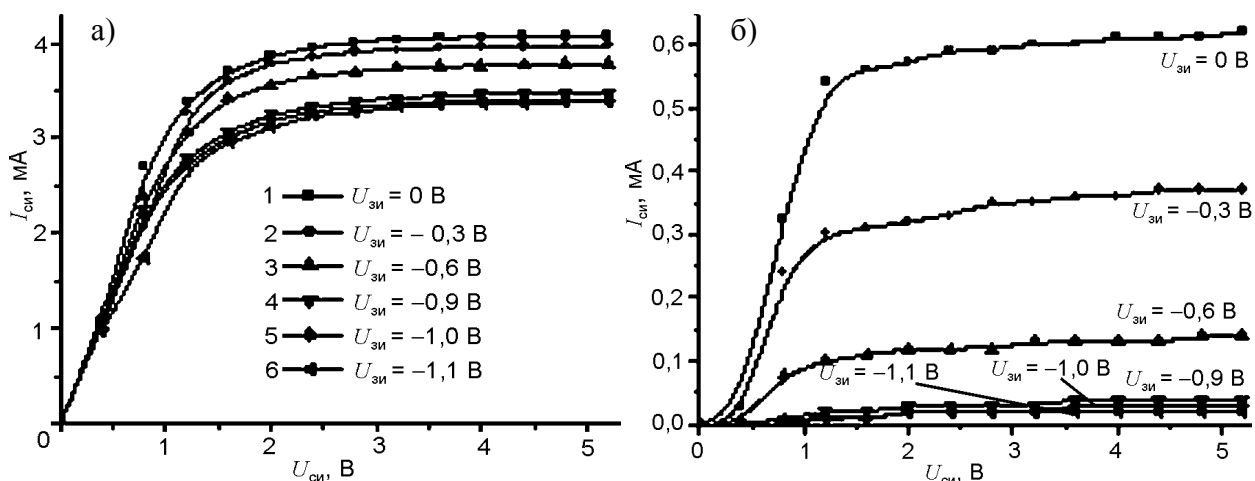


Рис. 3. Стоковые характеристики стокового ПТС (а) и (б) затворного ПТЗ транзисторов составного полевого транзистора.

характеристики у стокового транзистора составляет $0,36 \text{ мА/В}$, а у затворного $0,77 \text{ мкА/В}$.

Как видно из рис. 3 в темноте от запирающего напряжения токи стока обоих транзисторов уменьшаются.

По своему назначению данный составной транзистор может выполнять функцию фотоприемника, а также усилителя электрических сигналов синусоидального, пилообразного или прямоугольного.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В данном режиме включения как фотоприемник оптического сигнала полезный сигнал будет сниматься со стокового транзистора. Исследования показали, что в режиме запирающего канала напряжением $U_{\text{зи}} = -10 \text{ В}$, при возбуждении световым сигналом канала стокового транзистора ток, протекающий по каналу,

увеличивается, рис. 4а. При этом канал затворного транзистора находится в темноте.

При освещении канала затворного транзистора ток стока стокового транзистора уменьшается, рис. 4б. В обоих случаях обратный ток затворного транзистора составляет $5 - 8 \text{ нА}$, то есть не оказывает влияния на величину тока стока.

Наблюдаемое поведение световых характеристик составного полевого транзистора можно объяснить следующим механизмом.

Так, при освещении канала стокового транзистора ток инжекции через переход затвора увеличивается за счет генерированных фотоносителей, что и приводит к увеличению тока стока.

При возбуждении затворного транзистора фотогенерированные в $p-n$ -переходе затвора неосновные носители приводят к увеличению падения напряжения на резисторе. В результате осуществляется добавка напряже-

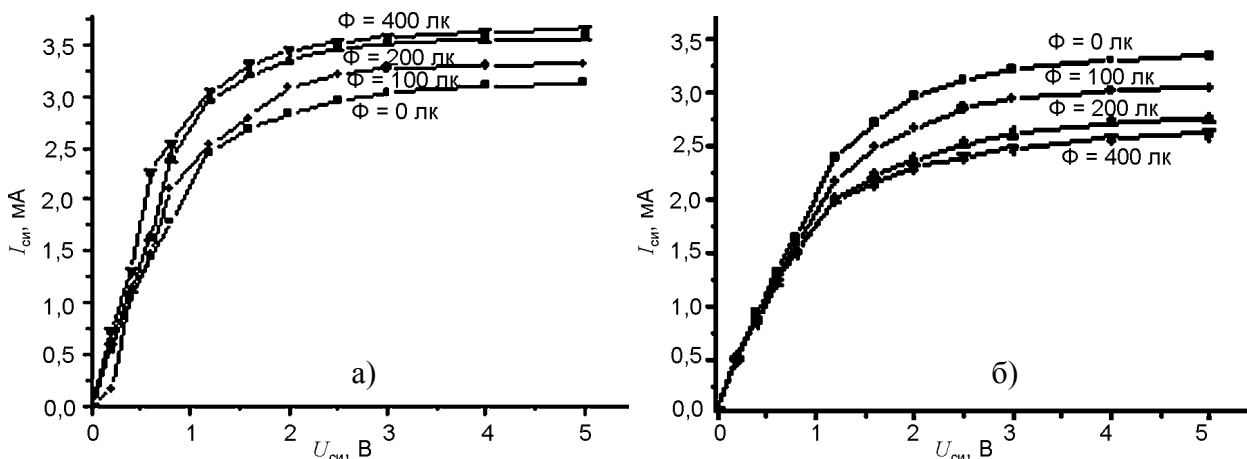


Рис. 4. Световые характеристики составного полевого транзистора при освещении стокового (а) и (б) затворного транзисторов при запирающем напряжении $U_{\text{зи}} = -1,0 \text{ В}$.

ния к затвору стокового транзистора и его за-
пираение, что приводит к уменьшению тока
стока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В составном транзисторе сток первого тран-
зистора соединен со стоком второго транзис-
тора, а исток соединен к затвору. Наличие
двух каналов позволяет использовать его в
качестве фотоприемника с усилением. При
поочередном возбуждении каналов реали-
зуется два механизма фоточувствительности:
фотогенерационный и фотоинжекционный.
Первый транзистор работает при обычном
обратном смещении, а второй в режиме пря-
мого смещения. Поэтому для сохранения ни-
зких токов первый транзистор должен рабо-
тать в микрорежиме. При таком включении
транзисторов превышение прямого тока
через прямо смещаемый переход второго
транзистора может привести к выходу его из
строга. Для предотвращения выхода из строя
стокового транзистора и увеличения фото-
чувствительности составного транзистора
предлагается к затворам соединить резис-
торы.

Таким образом, при подсветке канала сто-
кового транзистора ток стока увеличивается,
а при освещении канала затворного транзис-

тора ток стока уменьшается. Такое поведение
тока стока представляет интерес для создания
быстродействующих оптических переключате-
лей, то есть путем попеременного возбуж-
дения каналов излучением можно осуществ-
ить быстрое переключение тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Игумнов Д.В., Громов И.С. Эксплуатацион-
ные параметры и особенности применения
полевых транзисторов. – М.: Радио и связь,
1981. – С. 46-49.
2. Матсон Э.А., Русак И.М. К вопросу усили-
тельных свойств полевых транзисторов с пря-
мосмещенным затвором при малых токах//
Радиотехника и электроника. – 1978. – Т. 23,
№ 32. – С. 424-427

LITERATURA

1. Igumnov D.V., Gromov I.S. Ekspluatacionnye
parametry i osobennosti primeneniya pole-
vyh tranzistorov. – M.: Radio i svyaz, 1981. –
S. 46-49.
2. Matson E.A., Rusak I.M. K voprosu usilitelnyh
svoystv polevyh tranzistorov s pryamosme-
schennym zatvorom pri malyh tokah//Radio-
tehnika i elektronika. – 1978. – T. 23, № 32. –
S. 424-427.