

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

## ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДАТЧИКА НА ПОЛЕВОМ ТРАНЗИСТОРЕ

Тураев А.А.

Бухарский государственный университет,  
г. Бухара, Узбекистан

В настоящее время внимание исследователей обратилось к нетривиальным режимам включения полевого и биполярного транзисторов. Оказалось, что в случае создания варианта двухстокового транзистора, у него усиливаются свойства чувствительности к деформациям [1-3]. Исполнение или же включение полевого транзистора в виде двухтранзисторной ячейки с последовательно соединенными каналами обеспечивает усиление постоянного и переменного сигналов с высоким коэффициентом [2-4]. Для придания чувствительности к внешним воздействиям полемому транзистору предлагается включить его в режиме запирания канала напряжением сток-затвор, а напряжение отсечки выбрать в качестве измерительного параметра [5].

В настоящем разделе приведены особенности полевого транзистора в режиме запирания канала напряжением сток-затвор в качестве многофункционального датчика, особенно, как приемника солнечного излучения.

**Исследуемый полевой транзистор.** Многофункциональный датчик изготовлен на основе кремния. Для этого на подложке кремния с толщиной 200 мкм  $p^+$ -типа проводимости с концентрацией носителей  $1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  выращивался эпитаксиальный слой  $n$ -типа проводимости с концентрацией носителей  $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  толщиной  $0.7 \div 1.5$  мкм (оптимальные значения которого приведены в таблице 2). Затем через окна в маске формировали контактные области из напыленного индия и серебра. Расстояние между стоком и истоком, то есть длина канала равнялась  $150 \div 200$  мкм. С тыльной стороны подложки формировали сплошной контакт напылением индия и серебра. Одной из конструктивно-технологических особенностей исследуемого полевого транзистора является доступность канала к внешним воздействиям (рис. 1).

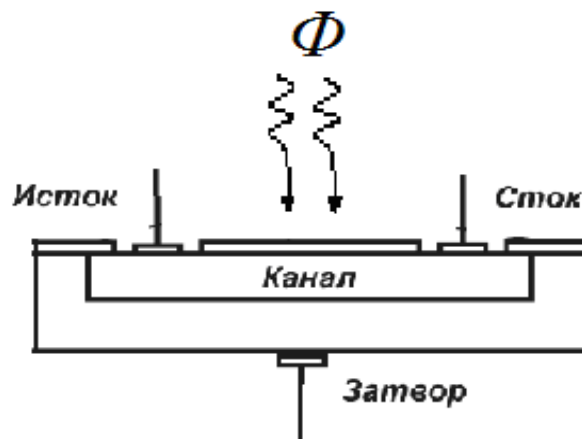


Рис. 1. Исследуемый полевой транзистор

Для обеспечения быстрой реакции на изменяющуюся температуру толщина подложки должна быть выбрана как можно тонкой. То есть не 200 мкм, что у нас имеется, а порядка 100 мкм.

### Основные критерии выбора параметров полевого транзистора для многофункционального датчика

Как показано на фиг. 1 исследуемый полевой транзистор с управляющим  $p$ - $n$ -переходом содержит низкоомную подложку первого типа с нижним электродом затвора, эпитаксиальный (диффузионный) высокоомный слой второго типа со сформированными на ее поверхности

омическими контактными областями стока и истока, между которыми располагается канал (длиной  $L$ ), толщина канала  $a$  в  $\sqrt{2}$  раза больше исходной толщины обедненного слоя  $p^+$ - $n$ -перехода. Эта толщина обеспечивает значение напряжения отсечки канала в два раза большее диффузионного потенциала  $U_{omc} = 2U_D$ . Толщина обедненного слоя  $p^+$ - $n$ -перехода при увеличении температуры или световом воздействии ( $Q, \Phi$ ) уменьшается. Подложка и высокоомный слой могут быть как  $n$ - и  $p$ -типа или наоборот. Датчик может быть изготовлен на основе

германия, кремния, арсенида галлия или на основе любых полупроводников, в которых возможно получение выпрямляющего перехода.

Для получения оптимальной модуляции канала под внешним воздействием, напряжение отсечки выбирается из расчета  $U_{отс} = 2U_D$ . Как приведено в таблице 1, при нулевом смещении имеем толщину объемного заряда равную 0,65 мкм

с контактной разностью потенциалов 0.61 В. Тогда для напряжения отсечки  $0.61 \text{ В} \times 2 = 1.22 \text{ В}$  или для запирающего канал обратного напряжения  $U_{обр}=0.6 \text{ В}$  имеем толщину  $W_{ооэ}$  0.90 мкм. То есть при увеличении напряжения в два раза область объемного заряда увеличивается в  $\sqrt{2}$  раза, что соответствует оптимальной толщине канала.

Таблица 1

**Данные толщины слоя объемного заряда от обратного напряжения**

$U_{обр}, \text{В}$	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,3	1,6
$W_{ооэ}, \text{мкм}$	0,65	0,70	0,74	0,83	0,90	0,97	1,04	1,13	1,22

Выбор толщины канала в пределах  $\sqrt{2}$  толщины слоя объемного заряда p-n-перехода обусловлен тем, что при больших толщинах чувствительность полевого транзистора к внешним воздействиям снизится, а при меньших значениях появляется возможность образования гистерезиса в ходе увеличения и уменьшения напряжения отсечки при внешних воздействиях из-за различия хода расширения и сужения области объемного заряда вызываемого более резким уменьшением концентрации носителей у границы p-n-перехода.

Физическая особенность многофункционального датчика заключается в том, что если в известном термочувствительном полевым транзисторе отрицательный температурный коэффициент зависимости проводимости канала подавляется за счет выбора концентрации носителей вблизи точки перехода температурной чувствительности подвижности от высоких значений к низким [4-6], то в нашем случае наряду с температурной чувствительностью необходимо обеспечить также фоточувствительность, чувствительность к давлению. Эти свойства можно обеспечить включив полевой транзистор в режиме запира

канала напряжением сток-затвор, когда с повышением рабочего напряжения до отсечки канала падение напряжения на переходе исток-затвор линейно возрастает, а затем после отсечки приобретает потенциал равный напряжению отсечки канала. При заданном рабочем напряжении воздействие на канал света или температуры (давления) приводит к изменению потенциала на переходе исток-затвор, который, как было предложено в работе [3-5] идентифицируется как измерительный параметр.

**Исследование зависимости фототока от светового излучения в режиме тока короткого замыкания и отсечки канала**

При подсветке канала в области объемного заряда перехода затвор – канал генерируются электронно-дырочные пары, которые создают фототок на переходе исток-затвор, приводя к уменьшению сопротивления этого перехода, что, в свою очередь, приводит к уменьшению падения напряжения и к соответствующему увеличению тока сток-затвор. Электронная схема измерения зависимости падения напряжения на переходе исток-затвор от внешнего воздействия приведена на рис. 2.

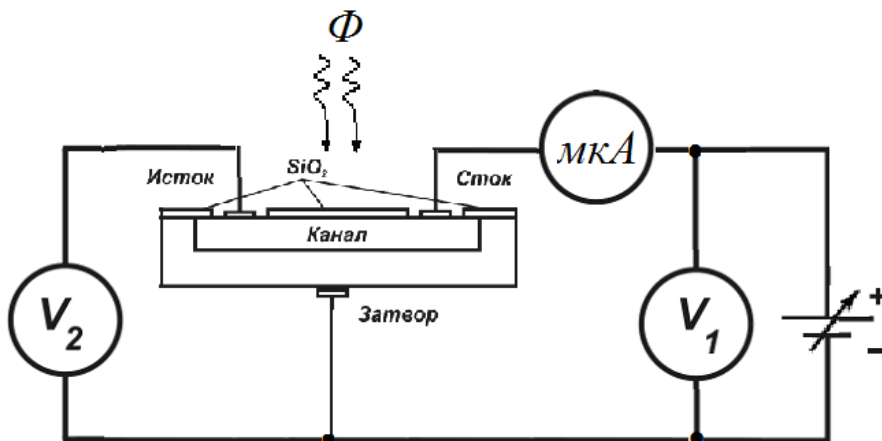


Рис. 2. Схема измерения падения напряжения на переходе исток-затвор в режиме запирания канала напряжением сток-затвор

Как видно из рисунка относительно рабочего напряжения переход затвор-канал, можно сказать, включен в диодном режиме, или при подсветке он действует аналогично фотодиоду. Однако

принципиально он существенно отличается от фотодиода. Так, в предлагаемом рабочем режиме запирания канала напряжение на переходе сток-затвор в два и более раза больше, чем на переходе

исток-затвор. В случае, когда вывод истока замкнут со стоком (диодный режим) он превращается в диод с тонкой базой.

Как приведено на рис.3 в диодном режиме включения обратный ток вплоть до 10 В не

превышает 1 нА, а в прямом направлении начиная с 0.7 В наблюдается резкий рост тока и при напряжении 0.9 В прямой ток достигает 9.75 мА.

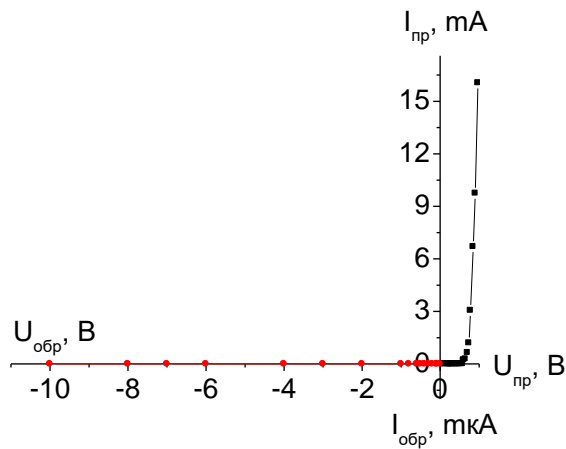


Рис. 3. Вольтамперная характеристика p-n-перехода затвора

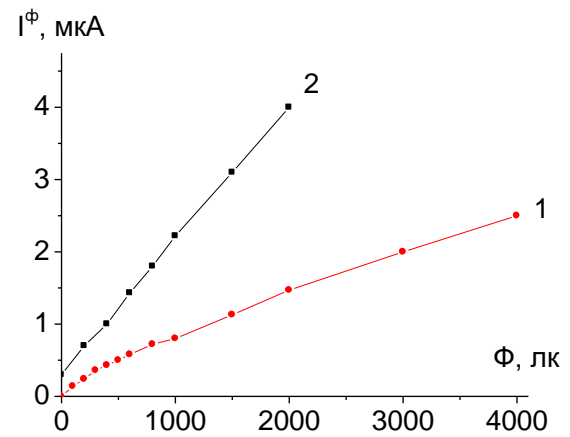


Рис. 4. Зависимости фототока от интенсивности освещения в режиме короткого замыкания и запираии канала напряжением сток-затвор

Соответственно, в режиме запираии канала столь незначительный обратный ток перехода затвор-исток практически не будет оказывать влияния на генерируемый от подсветки канала фототок.

Как показали исследования, в режиме короткого замыкания, когда выводы затвора и истока замкнуты на амперметр с повышением интенсивности освещения канала от галогенной лампы фототок увеличивается близко к линейному, рис.4, кривая 1. При этом в режиме запираии

канала напряжением сток-затвор имеем в два раза больший фототок (кривая 2).

Что касается падения напряжения, то его величина с увеличением интенсивности освещения вначале при малых интенсивностях освещения существенно уменьшается, и далее нелинейно уменьшаясь, зависимость ослабляется. На первом участке чувствительность составляет 0.00025 В/лк, а на участке 1000-2000 лк фоточувствительность на порядок меньше и равна 0.00002 В/лк.

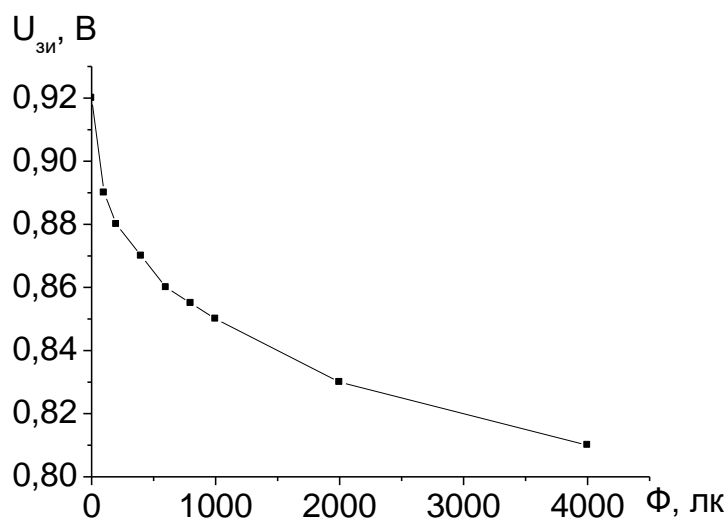


Рис. 5. Зависимости падения напряжения на переходе затвор-исток от освещенности в режиме запираии канала напряжением сток-затвор

Чувствительность падения напряжения на переходе исток-затвор к освещенности обусловлено следующим. Так, освещение канала n-типа квантами с энергией большей ширины запрещенной зоны приводит к генерации неравновесных электронно-дырочных пар, а увеличение интенсивности освещения к уменьшению контактной разности потенциалов р-п-перехода

$$U_{\phi} = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_n}{n + n_{\phi}}, \quad (2.12)$$

где  $n_{\phi}$  – концентрация дырок, генерируемых фотонами при освещении n-области.

В свою очередь фототок, возникающий на переходе исток-затвор, уменьшает его сопротивление, что приводит к уменьшению падающего напряжения по сравнению с темновым.

Таким образом, полевой фототранзистор в режиме отсечки канала можно использовать для измерения интенсивности светового излучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В.М.Андреев, В.Р.Ларионов, И.В.Ловыгин, Д.А.Малевский, М.Я.Масленков, В.Д.Румянцев, М.З.Шварц. Создание комплекса методик и средств для исследования наногетероструктурных солнечных элементов. [http://technoexan.ru/articles/article3\\_photovoltaika.pdf](http://technoexan.ru/articles/article3_photovoltaika.pdf)
2. Федосеев В.И., Колосов М.П. Оптико-электронные приборы ориентации и навигации космических аппаратов: учеб. пособие. — М.: Логос, 2007. — 248 с.: ил.
3. Бабичев Г.Г., Козловский С.И., Романов В.А., Шаран Н.Н. Кремниевые двухстоковые полевые тензотранзисторы. Журнал технической физики, 2000, том 70, вып. 10. С. 45-49.
4. Karimov A.V., Yodgorova D.M., Kamanov B.M., Djuraev D.R., Turayev A.A. Features amplifying properties of a field effect transistor in the circuit with dynamic load // Physical Surface Engineering, 2015. – V. 13, No. 1. – PP. 12-16.
5. Patent RU number the IAP 05120 "Multi-sensor-based field effect transistor" // A.V. Karimov, Yodgorova D.M., Abdulkhaev O.A., Dzhurayev D.R., Turayev A.A. Bull., №11 from 11.30.2015.
6. Karimov A.V., Bakhronov Sh.N. The thermoelectric converter//Technical Physics Letters. 25, 101–102 (1999).
7. Д.Р.Джураев, А.В.Каримов, Д.М.Ёдгорова, О.А.Абдулхаев, А.А.Тураев, Научный журнал "Физика полупроводников и микроэлектроника" 1(01)2019.с.45-47.
8. D.R.Djuraev, A.A.Turayev. Photoelectric sensitivity of multifunctional sensor on the outdoor transistor. Scientific reports of Bukhara State University 3(23)2018. с.7-11.
9. A.V. Karimov, D.R. Djuraev, O.A. Abdulkhaev, A.Z. Rahmatov, D.M. Yodgorova, A.A.Turayev. Tensoproperties of field-effect transistors in channel cutoff mode. International Journal of Engineering Inventions Volume 5, Issue 9 [Oct. 2016] PP: 42-44.
10. O.A.Abdulkhayev, D.R.Dzhurayev, D.M.Yodgorova, A.V.Karimov, A.Z.Rahmatov, A.A.Turayev. Physico-technological aspects multifunctional sensor on field-effect transistor. New Trends of Development Fundamental and Applied Physics: Problems, Achievements and Prospects 10-11 November 2016, Tashkent, Uzbekistan. PP: 231-234.
11. A.V. Karimov, D.R.Djuraev, A.A.Turayev. Investigation temperature sensitivity of the field-effect transistor in channel depletion mode. Journal of Scientific and Engineering Research, 2017, 4(2):1-4.
12. А.А.Тураев. Особенности температурной чувствительности транзисторной структуры в двухполюсном режиме. Colloquium-journal. Architecture Technical science Physics and Mathematics № 3(27) 2019. p.71-75.

#### ОДНА ЗАДАЧА ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ТИПА С ДИВЕРГЕНТНОЙ ГЛАВНОЙ ЧАСТЬЮ

*Маматов Алишер Зулунович*

*доктор технических наук, профессор  
Ташкентского института текстильной  
и лёгкой промышленности, Узбекистан*

*Досанов Муртозокул Саидазимович*

*Преподаватель ГулДУ, Узбекистан*

*Рахмонов Жамиид Турдалиевич*

*Преподаватель ГулДУ, Узбекистан*

*Турдибоев Дилишод Хамидович*

*PhD, старший преподаватель,*

*ГулДУ Узбекистан*

#### ONE PROBLEM OF A PARABOLIC TYPE WITH DIVERGENT MAIN PART

#### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрена одна задача параболического типа с дивергентной главной частью на плоскости, когда граничное условие содержит производную по времени от искомой функции. Построено