

УДК 621.383.52:535.243

ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА ДЛЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДАТЧИКА

Тураев Акмал Атаевич, преподаватель,
Ахтамов Б. Р., преподаватель,
Бухарский государственный университет, Бухара, Узбекистан

Экспериментально показано, что полевой транзистор с нижним плоскостным затвором и открытым каналом в режиме запираания канала напряжением сток-затвор, обладает более чем в два раза большим фототоком или на порядок большей фоточувствительностью в отличие от известных режимов включения. При этом напряжение питания составляет 2...5 В, а рабочие токи меньше 10 мкА, что на три порядка меньше по сравнению с диодным режимом включения.

Ключевые слова: полевой транзистор; режим запираания канала; фототок перехода сток-затвор; рабочие токи.

THE MAIN CRITERIA FOR THE FIELD-EFFECT TRANSISTOR (FET) PARAMETERS FOR A MULTIFUNCTION SENSOR

Turaev Akmal Ataevich, lecturer,
Akhtamov B. R., lecturer,
Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan

It has been shown experimentally that a field-effect transistor with a lower plane shutter and an open channel in the mode of locking the channel with a drain-gate voltage has more than twice the photocurrent or an order of magnitude greater photocompatibility than the known switching regimes. At the same time, the supply voltage is 2 ... 5 V, and the operating currents are less than 10 μ A, which is three orders of magnitude lower than the diode mode of inclusion.

Keywords: field effect transistor, channel lock mode, photocurrent transition drain-gate, operating currents.

Введение. Возрастающий интерес, проявляемый к микромощным [1] полупроводниковым приборам со стороны специалистов в области радиоэлектроники, отображения информации и оптоэлектроники, обусловлен их превосходными характеристиками: малым потреблением энергии, надежностью, большим сроком службы, а также высокой стабильностью их параметров. С этой точки зрения полевые транзисторы, отличающиеся широким набором режимов включения, являются востребованными. В частности, для создания структур с максимальной фоточувствительностью требуются полевые транзисторы с глубиной залегания р-п-пе-

рехода, соизмеримой с глубиной проникновения светового излучения [2]. Кроме того свойства полевого транзистора также могут быть расширены за счет реализации новых режимов включения и выбора измерительного параметра [3].

Настоящая работа посвящена исследованию фотоэлектрических свойств кремниевого полевого транзистора с р-п-переходом в режиме запираания канала напряжением сток-затвор.

Для достижения поставленной цели при проведении исследований как измерительный параметр нами выбран потенциал перехода исток-затвор задающий толщину области объемного заряда между каналом

и затвором. Многие физические процессы, такие как генерация неосновных носителей, изменение емкости и высоты потенциального барьера, связаны с динамикой изменения области объемного заряда.

Экспериментальные образцы

Исследуемый кремниевый полевой транзистор с р-n-переходом, показанный на рис. 1, содержит низкоомную подложку р-типа с нижним электродом затвора и выращенный на его поверхности эпитаксиальный высокоомный слой n-типа, на поверхности которого сформированы омические контактные области стока и истока, а между ними расположен канал. Концентрация носителей в подложке составляет $1,0 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, а в канале $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Толщина канала равна $\sim 1 \text{ мкм}$, а длина 50 мкм . Исследуемые транзисторы имеют типичные для полевого транзистора сублинейные вольтамперные характеристики с максимальным током стока $440 \div 460$ ($400 \div 800$) мкА и напряжение отсечки канала $0,6 \dots 2,0 \text{ В}$.

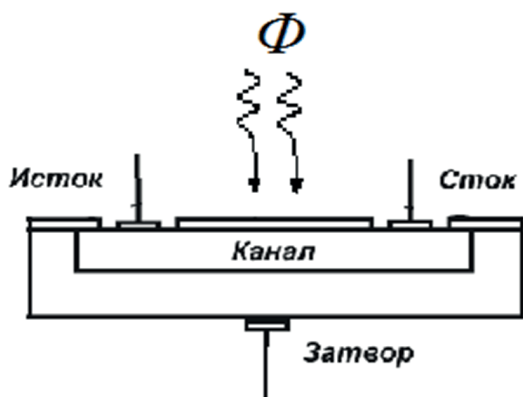


Рис. 1. Геометрия исследуемого полевого транзистора

Методика эксперимента

Электрическая схема включения полевого транзистора для измерения падения напряжения на переходе исток-затвор приведена на рис. 2. Рабочее напряжение с блока питания, к которому подключен первый вольтметр, через микроамперметр подается к переходу сток-затвор. При этом потенциал, создаваемый на пе-

реходе исток-затвор, фиксируется вторым вольтметром. По мере увеличения напряжения на стоке, до достижения отсечки канала, падение напряжения на истоке линейно увеличивается и, с наступлением момента отсечки канала слоем объемного заряда, становится равным напряжению отсечки и далее в рабочем режиме сохраняется на этом уровне. При заданном рабочем напряжении (2 В и 4 В) воздействие на канал какого-либо фактора (давления, света или температуры), приводит к изменению потенциала на переходе исток-затвор, который идентифицируется как измерительный параметр. При этом относительно рабочего напряжения переход затвор-канал, можно сказать, включен в диодном режиме, или при подсветке он действует аналогично фотодиоду. Однако он принципиально 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

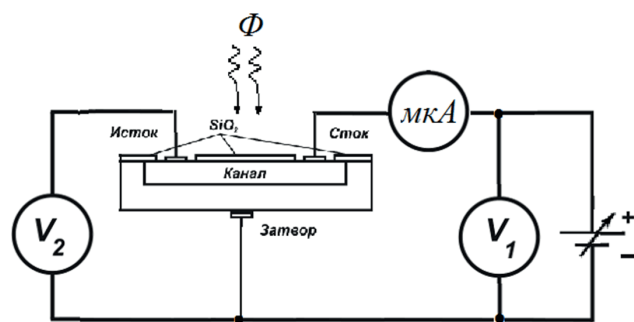


Рис. 2. Схема измерения падения напряжения на переходе исток-затвор в режиме запирания канала напряжением сток-затвор

базой.

В режиме запирания канала напряжением сток-затвор ток стока выходит на насыщение, имея низкие значения (нА), столь незначительное значение рабочего тока практически не будет оказывать влияния на генерируемый от подсветки канала фототок.

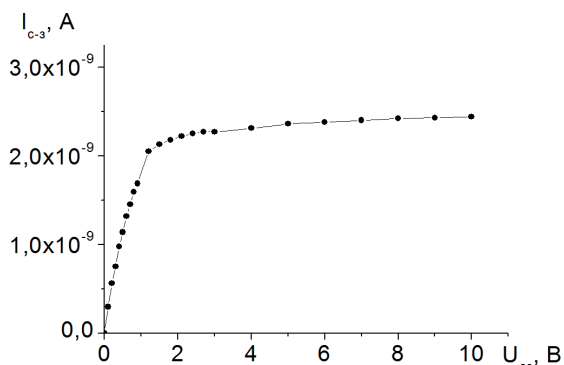


Рис. 3. Зависимости тока стока от напряжения сток-затвор

Основные критерии выбора параметров полевого транзистора для многофункционального датчика

Физическая особенность многофункционального датчика заключается в том, что, если в известном термочувствительном полевом 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], то в нашем случае наряду с температурной чувствительностью необходимо обеспечить также фоточувствительность, чувствительность к давлению. Эти свойства можно обеспечить, включив полевой транзистор в режиме запирающего канала напряжением сток-затвор. 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] идентифицируется как измерительный параметр. Другая конструктивно-технологическая особенность исследуемого полевого транзистора заключается в доступности канала к внешним воздействиям, что позволяет исследовать его чувствительность к световому излучению, давлению и другим воздействиям [5, 6].

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Световое воздействие осуществляли с

помощью 100 ваттной галогенной лампы с максимумом длины волны 0,55 мкм. Освещенность измеряли с помощью люксметра с минимальной шкалой 30 люкс. Исследовались полевые транзисторы с различным напряжением отсечки (рис. 5, кривые 1 и 2).

Переходя к чувствительности полевого транзистора к световому излучению в исследуемом режиме, следует отметить, что падение напряжения, то есть его величина с увеличением интенсивности освещения вначале при малых интенсивностях (до 500 лк) линейно уменьшается с определенным коэффициентом (участок I), и далее снижение напряжения замедляется и значение этого коэффициента уменьшается на полпорядка, рис. 5 (участок II).

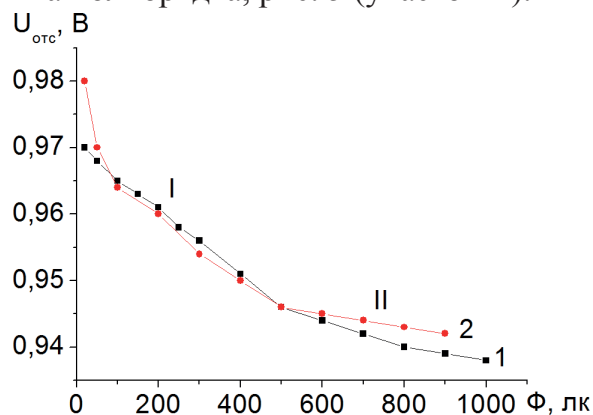


Рис. 4. Зависимости падения напряжения на переходе затвор-исток от освещенности в режиме запирающего канала напряжением сток-затвор: I – 0,000048 мВ/лк = 0,048 мкВ/лк, $U_{отс} = 0,97$ В; II – 0,00001 мВ/лк = 0,01 мкВ/лк, $U_{отс} = 0,98$ В

Такое поведение напряжения отсечки от светового излучения можно объяснить сменой воздействующего светового характера на тепловой. То есть, при малых интенсивностях освещения разогрев структуры незначителен и его вклад на напряжение отсечки незаметен, однако в дальнейшем температура структуры начинает повышаться и процесс снижения напряжения отсечки замедляется, начинает превалировать влияние температуры, от которого напряжение отсечки должно уве-

личиваться (рис. 4), что и наблюдается при больших интенсивностях (свыше 6000 лк).

По физике 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 $R_{зи}^{p-n} = U_{отс} / (I^T + I^Ф)$, что в свою очередь приведет к уменьшению падения напряжения и к соответствующему увеличению тока сток-затвор (за счет увеличения толщины проводящей части канала). Здесь имеем два параметра: напряжение отсечки и фототок на переходе сток-затвор.

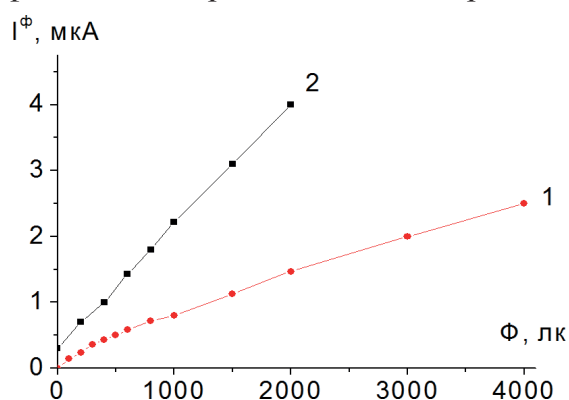


Рис. 5. Зависимости фототока от интенсивности освещения в режиме короткого замыкания (1) и (2) запираии канала напряжением сток-затвор

Как показали исследования, в режиме короткого замыкания, когда выводы затвора и истока закорочены через амперметр с повышением интенсивности освещения

канала от галогенной лампы фототок увеличивается близко к линейному (рис. 5, кривая 1). При этом в режиме запираии канала напряжением сток-затвор имеем в два раза больший фототок (кривая 2) с чувствительностью 0,0018 мкА/лк.

В отличие от напряжения отсечки фототок перехода сток-затвор является более информативным и имеет более чем в два раза большее значение или на порядок больший фототок в отличие от известных режимов включения и стандартных фотодатчиков [7], характеризуя высокую чувствительность полевого транзистора к световому излучению, при этом отличается линейностью характеристики в отличие от тока стока и напряжения отсечки канала.

Заключение

Таким образом, экспериментально показано, что полевой транзистор с нижним плоскостным затвором и открытым каналом в режиме запираии канала напряжением сток-затвор, обладает в два раза большим фототоком или на порядок большей фоточувствительностью в отличие от известных режимов включения и фотодиодных структур. При этом напряжение питания составляет 2...5 В, а рабочие токи меньше 10 мкА, что на три порядка меньше по сравнению с диодным режимом включения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vullers R. J. M., Schaijk Van R., Doms I. et al. Micropower energy harvesting // Solid-State Electronics. – 2009. – V. 53. – P. 684–693.
2. Гаврушко В. В., Ласткин В. А. Широкодиапазонный кремниевый фотодиод // Радиоэлектроника. Вестник Новгородского государственного университета. – 2014. – № 81. – С. 53–55.
3. Patent RUz number the IAP 05120 «Multi-sensor-based field effect transistor» // A. V. Karimov, D. M. Yodgorova, O. A. Abdulkhaev, D. R. Dzhurayev, A. A. Turaev. – Bull. № 11, from 11.30.2015.
4. Karimov A. V., Bakhronov Sh. N. The thermoelectric converter // Technical Physics Letters. – 1999. – № 25. – P. 101–102.
5. Karimov A. V., Djuraev D. R., Abdulhaev O. A., Rahmatov A. Z., Yodgorova D. M., Turaev A. A. Tensо properties of field-effect transistors in channel cutoff mode. International Journal of Engineering Inventions e-ISSN: 2278-7461, p-ISSN: 2319-6491. – 2016. – Volume 5, Issue 9. –

Р. 42–44.

6. Karimov A. V., Yodgorova D. M., Abdulhaev O. A., Kamanov B. M., Turaev A. A. Features of the temperature properties of a field-effect transistor in a current-limiting mode // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. – 2013. – V. 86. – № 1. – P. 248–254.
7. Вартанян С. П. Оптоэлектронные приборы и устройства в полиграфии: Учебное пособие. – М. : Издательство МГУП, 2000. – 187 с.

REFERENCES

1. Vullers R. J. M., Schaijk Van R., Doms I. et al. Micropower energy harvesting // *Solid-State Electronics*. – 2009. – V. 53. – P. 684–693.
2. Gavrushko V. V., Lastkin V. A. Shirokodiapazonnyy kremnievyy fotodiod. // *Radioelektronika. Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta*. – 2014. – № 81. – S. 53–55.
3. Patent RUz number the IAP 05120 «Multi-sensor-based field effect transistor» // A. V. Karimov, D. M. Yodgorova, O. A. Abdulkhaev, D. R. Dzhurayev, A. A. Turaev. – Bull. № 11, from 11.30.2015.
4. Karimov A. V., Bakhronov Sh. N. The thermoelectric converter // *Technical Physics Letters*. – 1999. – № 25. – P. 101–102.
5. Karimov A. V., Djuraev D. R., Abdulhaev O. A., Rahmatov A. Z., Yodgorova D. M., Turaev A. A. Tensio properties of field-effect transistors in channel cutoff mode. *International Journal of Engineering Inventions* e-ISSN: 2278-7461, p-ISSN: 2319-6491. – 2016. – Volume 5, Issue 9. – P. 42–44.
6. Karimov A. V., Yodgorova D. M., Abdulhaev O. A., Kamanov B. M., Turaev A. A. Features of the temperature properties of a field-effect transistor in a current-limiting mode // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. – 2013. – V. 86. – № 1. – R. 248–254.
7. Vartanyan S. P. Optoelektronnye pribory i ustroystva v poligrafii: Uchebnoe posobie. – М. : Izdatel'stvo MGUP, 2000. – 187 s.

Материал поступил в редакцию 03.06.2017

© Тураев А. А., Ахтамов Б. Р., 2017