

**ПРИНЦИПЫ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТРАНЗИСТОРНОЙ
СТРУКТУРЫ К ВНЕШНИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

Д.Р. Джурсаев¹, А.В. Каримов^{2,□}, Д.М. Ёдгорова², О.А. Абдулхаев², А.А. Тураев¹

¹Бухарский государственный университет, г. Бухара, Узбекистан.

²НПО «Физика-Солнце» АН РУз, Ташкент, Узбекистан.

□e-mail: karimov@uzsci.net

Аннотация. В настоящей статье рассматривается многофункциональный датчик на основе полевого транзистора с р-п-переходом. Датчик позволяет регистрировать температуру, интенсивность света, давление с высокой чувствительностью. При этом обеспечение чувствительности структуры к внешним воздействиям, практически решено за счет конструктивных изменений. Благодаря конструктивным решениям, предложенный датчик на основе полевого транзистора значительно превосходит по чувствительности аналогичные диодные структуры.

Ключевые слова: биполярная транзисторная структура, термочувствительность, эмиттерный переход, давление, магнитное поле, кремний

**THE PRINCIPLES OF INCREASING THE SENSITIVITY OF TRANSISTOR
STRUCTURES TO EXTERNAL INFLUENCES**

D.R. Djuraev¹, A.V. Karimov^{2,□}, D.M. Yodgorova², O.A. Abdulkhaev², A.A. Turaev¹

¹Bukhara State University, Bukhara, Uzbekistan.

²SPA "Physics-Sun" of the Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan

□e-mail: karimov@uzsci.net

Abstract. This article discusses a multifunctional sensor based on a field-effect transistor with a p-n-junction. The sensor allows to register temperature, light intensity, pressure with high level of sensitivity. At the same time, ensuring the sensitivity of the structure to external influences is practically solved due to constructive changes. Due to constructive solutions, the proposed sensor based on a field-effect transistor greatly exceeds the similar diode structures in sensitivity.

Key words: bipolar transistor structure, thermal sensitivity, emitter junction, pressure, magnetic field, silicon.

В известной многофункциональной биполярной транзисторной структуре, предложенной автором [1], за измерительный параметр, принят падающий потенциал на р-п-переходе. При этом обеспечение чувствительности структуры к внешним воздействиям практически решено за счет конструктивных изменений. А именно, за счет использования падающего на р-п-переходе биполярного транзистора потенциала обеспечена термочувствительность. Кроме того, для обеспечения чувствительности к деформации введена мембрана, позволяющая осуществлять локальное давление на р-п-переход эмиттера, а для приема оптического сигнала сформировано окно к

эмиттерному переходу. Однако, биполярный транзистор по сравнению с полевым транзистором имеет большие токи утечки и емкости, что ограничивает его рабочие диапазоны. В отличие от него физико-технологические аспекты применения полевого транзистора остаются малоизученными. В связи с этим принципы повышения чувствительности транзисторной структуры к внешним воздействиям путем обоснования выбора полевого транзистора в качестве чувствительного элемента, а также изучение особенностей ключевых параметров полевых имеют большой научно-практический интерес.

Принцип обеспечения многофункциональности структуры полевого транзистора основан на повышении эффективности модуляции канала слоем объемного заряда управляющего р-п-перехода, в котором подбирается толщина модулируемой части канала сравнимой с толщиной области объемного заряда, также в зависимости от режима включения. На этой основе нами был разработан многофункциональный полупроводниковый датчик для преобразования и усиления давления, магнитного поля, радиационного, светового и теплового излучений в электрические сигналы в радио и оптоэлектронных устройствах [2]. Принцип действия многофункционального датчика основан на создании напряжения отсечки на р-п-переходе между затвором и истоком. Для этого к переходу сток-затвор прикладывается рабочее напряжение с величиной, большей напряжения отсечки канала. При этом объемный заряд р-п-перехода охватывает весь канал, а величина напряжения на переходе затвор-исток принимает неизменное значение, равное напряжению отсечки.

Предлагаемый многофункциональный датчик изготовлен на основе кремния. Для этого на подложке кремния р-типа проводимости с толщиной 200 мкм и 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 $1 \div 1.5$ мкм (оптимальные значения которого приведены в таблице 1).

Таблица 1. Расчетные данные U_D и толщины канала a , мкм многофункционального датчика от концентрации носителей

$N_{зат}, \text{ см}^{-3}$	$N_{канал}, \text{ см}^{-3}$	$U_D, \text{ В}$	$W_{оз}, \text{ мкм}$	$a, \text{ толщ. кан, мкм}$
$1,0 \cdot 10^{19}$	$2,0 \cdot 10^{14}$	0,760	2,245	3,165
$1,0 \cdot 10^{19}$	$3,0 \cdot 10^{14}$	0,770	1,845	2,602
$1,0 \cdot 10^{19}$	$4,0 \cdot 10^{14}$	0,778	1,606	2,264
$1,0 \cdot 10^{19}$	$5,0 \cdot 10^{14}$	0,784	1,442	2,033
$1,0 \cdot 10^{19}$	$6,0 \cdot 10^{14}$	0,788	1,320	1,861
$1,0 \cdot 10^{19}$	$7,0 \cdot 10^{14}$	0,792	1,225	1,728
$1,0 \cdot 10^{19}$	$8,0 \cdot 10^{14}$	0,796	1,148	1,620
$1,0 \cdot 10^{19}$	$9,0 \cdot 10^{14}$	0,799	1,085	1,530
$1,0 \cdot 10^{19}$	$1,0 \cdot 10^{15}$	0,802	1,031	1,454
$1,0 \cdot 10^{19}$	$2,0 \cdot 10^{15}$	0,820	0,737	1,039
$1,0 \cdot 10^{19}$	$3,0 \cdot 10^{15}$	0,830	0,606	0,854
$1,0 \cdot 10^{19}$	$4,0 \cdot 10^{15}$	0,838	0,527	0,743
$1,0 \cdot 10^{19}$	$5,0 \cdot 10^{15}$	0,844	0,473	0,667

Затем, через окна в маске, формировали контактные области из напыленного ванадия и серебра. Расстояние между стоком и истоком - длина канала - равнялась $25\div 200$ мкм. С тыльной стороны подложки формировали сплошной контакт напылением ванадия и серебра. В результате были получены приведенные полевые транзисторы. Испытания предложенного многофункционального датчика были проведены на кремниевых полевых транзисторах с толщиной канала ~ 1 мкм и напряжением отсечки $0.5\div 1.0$ вольт.

Таким образом, многофункциональный датчик на основе полевого транзистора с *p-n*-переходом позволяет регистрировать температуру, интенсивность света, давление и по чувствительности превосходит аналогичные диодные структуры.

Литература

1. В. Громов, Электроника. Наука, Технология. Бизнес 18, 5, 96 (2006).
2. Патент РУз № IAP 05120 от 30.11.2015 Бюл. № 11. А.В.Каримов, Д.М.Ёдгорова О.А. Абдулхаев, Д.Р.Джураев, А.А. Тураев.

The text of the article is translated by Editorial of journal of “Semiconductor Physics and Microelectronics”. For more information contact: ispm_uz@mail.ru

In the well-known multifunctional bipolar transistor structure proposed by the author [1], the incident potential at the p-n junction is taken as the measurement parameter. At the same time, ensuring the sensitivity of the structure to external influences is practically solved due to design changes. Namely, due to the use of the potential incident at the p-n junction of the bipolar transistor, thermal sensitivity is ensured. In addition, to ensure sensitivity to deformation, a membrane is introduced that allows local pressure to be applied to the emitter p-n junction, and a window to the emitter junction is formed to receive the optical signal. However, a bipolar transistor, compared with a field effect transistor, has large leakage currents and capacitances, which limits its operating ranges. In contrast, the physical and technological aspects of the use of a field effect transistor remain poorly understood. In this regard, the principles of increasing the sensitivity of the transistor structure to external influences by substantiating the choice of a field effect transistor as a sensitive element, as well as studying the characteristics of key field parameters, are of great scientific and practical interest.

The principle of ensuring the multifunctionality of the field-effect transistor structure is based on increasing the channel modulation efficiency by the space charge layer of the control p-n junction, in which the thickness of the modulated part of the channel is selected that is comparable with the thickness of the space charge region, also depending on the switching mode. On this basis, we have developed a multifunctional semiconductor sensor for converting and amplifying pressure, magnetic field, radiation, light and thermal radiation into electrical signals in radio and optoelectronic devices [2]. The principle of operation of a multifunctional sensor is based on creating a cutoff voltage at the p-n junction between the gate and the source. To do this, an operating voltage with a value greater than the channel cut-off voltage is applied to the drain-gate junction. In this case, the space charge of the p-n junction covers the entire channel, and the voltage value at the gate-source junction takes a constant value equal to the cutoff voltage.

The proposed multifunctional sensor is made on the basis of silicon. For this, an n-type epitaxial layer with a carrier concentration of $2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ with a thickness of $1 \div 1.5 \text{ }\mu\text{m}$ (the optimum values of which are given in Table 1) was grown on a p-type silicon substrate with a thickness of $200 \text{ }\mu\text{m}$ and a carrier concentration of $1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$.

Table 1. *The calculated data U_D and channel thickness a , microns multifunctional sensor for media concentration*

$N_{gate}, \text{ sm}^{-3}$	$N_{channel}, \text{ sm}^{-3}$	U_D, V	$W_{scr}, \text{ mkm}$	$a, \text{ chann. thick., mkm}$
$1,0 \cdot 10^{19}$	$2,0 \cdot 10^{14}$	0,760	2,245	3,165
$1,0 \cdot 10^{19}$	$3,0 \cdot 10^{14}$	0,770	1,845	2,602
$1,0 \cdot 10^{19}$	$4,0 \cdot 10^{14}$	0,778	1,606	2,264
$1,0 \cdot 10^{19}$	$5,0 \cdot 10^{14}$	0,784	1,442	2,033
$1,0 \cdot 10^{19}$	$6,0 \cdot 10^{14}$	0,788	1,320	1,861
$1,0 \cdot 10^{19}$	$7,0 \cdot 10^{14}$	0,792	1,225	1,728
$1,0 \cdot 10^{19}$	$8,0 \cdot 10^{14}$	0,796	1,148	1,620

$1,0 \cdot 10^{19}$	$9,0 \cdot 10^{14}$	0,799	1,085	1,530
$1,0 \cdot 10^{19}$	$1,0 \cdot 10^{15}$	0,802	1,031	1,454
$1,0 \cdot 10^{19}$	$2,0 \cdot 10^{15}$	0,820	0,737	1,039
$1,0 \cdot 10^{19}$	$3,0 \cdot 10^{15}$	0,830	0,606	0,854
$1,0 \cdot 10^{19}$	$4,0 \cdot 10^{15}$	0,838	0,527	0,743
$1,0 \cdot 10^{19}$	$5,0 \cdot 10^{15}$	0,844	0,473	0,667

Then, through the masked windows, contact areas were formed from sprayed vanadium and silver. The distance between the drain and the source — the channel length — was 25–200 μm . A continuous contact was formed on the back side of the substrate by sputtering of vanadium and silver. As a result, the resulting field effect transistors were obtained. Tests of the proposed multifunctional sensor were carried out on silicon field-effect transistors with a channel thickness of $\sim 1 \mu\text{m}$ and a cut-off voltage of $0.5 \div 1.0$ volts.

Thus, a multifunctional sensor based on a field effect transistor with a p-n junction allows temperature, light intensity, pressure, and sensitivity to exceed similar diode structures.