

*Для цитирования:* Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Шангереева Б.А. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ БИПОЛЯРНЫХ СО СТАТИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИЕЙ ТРАНЗИСТОРОВ (БСИТ). Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016; 42(3):83-91. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-83-91

*For citation:* Ismailov T. A., Shakhmaeva A.R., Shangereeva B.A. STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS AFFECTING THE BIPOLAR STATIC INDUCTION TRANSISTOR (BSIT) RESISTANCE Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016; 42(3):83-91. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-83-91

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**  
**ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ**  
**TECHNICAL SCIENCE**  
**POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING**

**УДК 621.382.002**

**DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-83-91**

**Исмаилов Т.А.<sup>1</sup>, Шахмаева А.Р.<sup>2</sup>, Шангереева Б.А.<sup>3</sup>**

<sup>1-3</sup>Дагестанский государственный технический университет,  
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,

<sup>1</sup>e-mail: dstu@dstu.ru; <sup>2</sup>fpk12@mail.ru; <sup>3</sup>e-mail: bijke@mail.ru

**КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ,  
ВЛИЯЮЩИЕ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ БИПОЛЯРНЫХ СО СТАТИЧЕСКОЙ  
ИНДУКЦИЕЙ ТРАНЗИСТОРОВ (БСИТ)**

**Аннотация.** Цель. Целью исследования является определение влияния конструктивных и технологических параметров на сопротивление биполярных со статической индукцией транзисторов. **Методы.** В работе приведен сравнительный анализа преимущества биполярных со статической индукцией транзистора по сравнению с биполярными мощными транзисторами, МОП- транзисторами и биполярными транзисторами с изолированным затвором (БИТЗ). Рассмотрены конструктивно-технологические параметры, влияющие на сопротивление БСИТ -транзистора. **Результат.** В результате экспериментальных исследований на кремниевых подложках были сформированы опытные образцы структуры БСИТ-транзистора, проведены расчетные и экспериментальные работы. Получены графики зависимости сопротивления ячейки транзистора от толщины эпитаксиальной пленки; зависимости сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от эффективной длины затвора при различных значениях концентрации примеси в эпитаксиальной пленке; зависимости сопротивления ячейки транзистора от длины затвора при различных значениях толщины эпитаксиальной пленки; зависимости сопротивления ячейки БСИТ -транзистора от расстояния между маской для р-области и затвором; зависимости произведения сопротивления ячейки на ее площадь от длины затвора. **Вывод.** При увеличении длины затвора ( $l_z$ ) и длины маски для р-области ( $l_p$ ) в структуре транзистора, сопротивление уменьшается и зависимость параметра произведения сопротивления ячейки на ее площадь  $Q$  от длины затвора имеет при этом минимум.

**Ключевые слова:** сопротивление, транзистор, прибор, ячейка, электрические характеристики, параметры

**Tagir A.Ismailov<sup>1</sup>, Aishat R. Shakhmaeva<sup>2</sup>, Bike A. Shangereeva<sup>3</sup>**

Dagestan State Technical University,

70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,

<sup>1</sup>e-mail: dstu@dstu.ru; <sup>2</sup>fpk12@mail.ru; <sup>3</sup>e-mail: bijke@mail.ru

**STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS AFFECTING  
THE BIPOLAR STATIC INDUCTION TRANSISTOR (BSIT) RESISTANCE**

**Abstract.** Aim. The aim of the study is to determine the impact of structural and technological parameters on the resistance of the bipolar static induction transistor. **Methods.** The paper provides a

*comparative analysis of the advantages of bipolar static induction transistor compared to the bipolar power transistors, MOSFETs and insulated-gate bipolar transistor (IGBT). Considered are structural and technological parameters that influence the resistance of BSIT-transistor. **Result.** As a result of experimental study on silicon substrates were formed test prototypes of BSIT transistor structure, are presented calculation and experimental works. Obtained are the resistance dependencies of the transistor cell on the thickness of the epitaxial film; the resistance dependencies of BSIT transistor cell on the effective gate length for different values of the impurity concentration in the epitaxial film; dependencies resistance of the transistor cell on the gate length at different values of the epitaxial film thickness; the resistance dependencies of BSIT transistor cell on the distance between the mask for the p-region and the gate; dependencies on the multiplication the cell resistance by its area on the gate length. **Conclusion.** When increasing the gate length ( $L_k$ ) and the mask length for the p-region ( $l_p$ ) in the transistor structure, the resistance decreases and the dependence of multiplication of the cell resistance by its area  $Q$  on the gate length has this case the minimum.*

**Key words:** resistance, transistor, device, the cell, electrical performance, parameters

**Введение.** К перспективным приборам силовой электроники относятся биполярные со статической индукцией транзисторы (БСИТ). Они являются переключательными элементами для изделий и устройств силовой электроники и в сравнении с их более известными транзисторными прототипами (БМТ, МОП МТ и БТИЗ) превосходят их по основным характеристикам [1-3].

Если рассматривать четыре типа транзисторных ключей: БСИТ, БМТ, МОП МТ и БТИЗ каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. МОП МТ имеют заметное преимущество по техническим показателям перед другими конкурирующими типами мощных полупроводниковых приборов в области низковольтных применений (до 200 В), хотя и уступают им по стоимости. БМТ и БТИЗ сильнее проявляют свои достоинства в высоковольтных применениях (свыше 1000 В), хотя и в ряде устройств средней высоковольтности они также весьма эффективны. БСИТ наиболее предпочтительны в устройствах, требующих применения ключей средней высоковольтности (от 400 до 800 В) [4,5,6,7].

Характеристики БСИТ схожи с характеристиками биполярного транзистора. По сравнению с полевым транзистором БСИТ эффективно работает при параллельном включении и имеет высокое быстродействие, не уступающее полевым транзисторам. БСИТ сочетает все лучшие достоинства биполярных транзисторов и полевых транзисторов при низкой стоимости, что позволяет предположить, что в ближайшие годы эти транзисторы смогут заменить биполярные, практически во всех областях применения с одновременным улучшением технико-экономических показателей РЭА [8].

БСИТ - транзисторы изготавливаются с применением эффективных методов биполярной технологии, хорошо отработанных при производстве мощных транзисторов. Они имеют заметно более низкую стоимость по сравнению как с МОП МТ, так и с БТИЗ. Тем не менее, широкое внедрение БСИТ - транзисторов сдерживается как по субъективным причинам (разработчики доверяют проверенным временем мощным полупроводниковым приборам), так и по объективным - небольшой процент выхода годных БСИТ в процессе их производства и достаточно большой разброс получаемых значений нормируемых параметров у этого типа мощных полупроводниковых приборов [9,10,11,12,13,14].

Разработанные различные типы БСИТ - транзисторов требуют конструктивных доработок, совершенствования технологии для улучшения выходных характеристик прибора для улучшения таких параметров как пробивное напряжение, сопротивление, быстродействие [2-3]. Основными параметрами, влияющими на характеристики исследуемого транзистора, являются пробивное напряжение и сопротивление, которые, в свою очередь, зависят от конструкции прибора и технологии их изготовления [15-16].

**Постановка задачи.** С этой целью были проведены исследования влияния конструктивных и технологических параметров на сопротивление транзистора.

Структура БСИТ -транзистора приведена на рисунке 1.

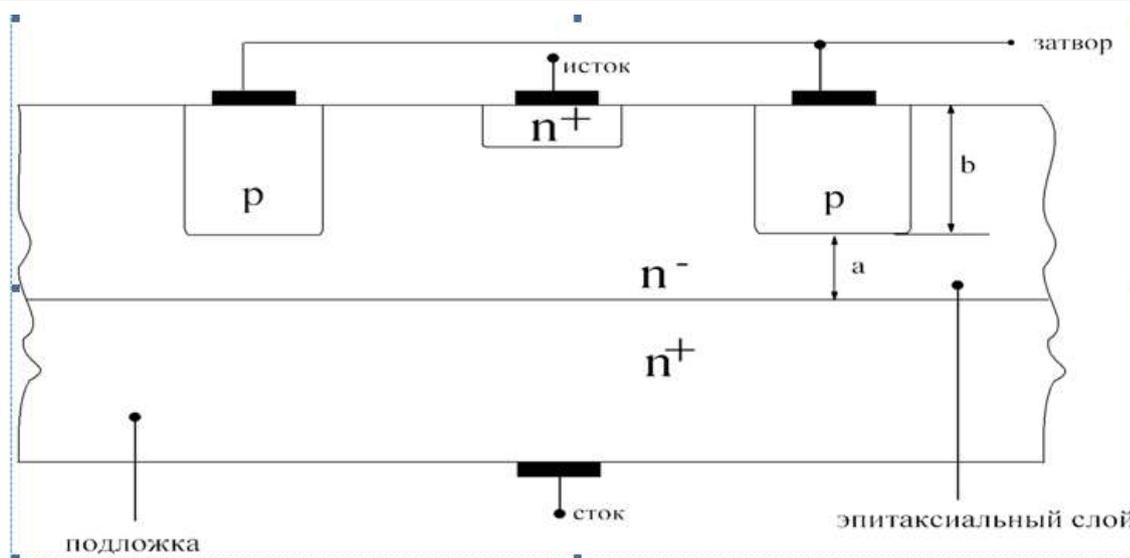


Рисунок 1- Структура БСИТ-транзистора

**Методы исследования.** Если рассмотреть структуру сечения ячейки БСИТ-транзистора вокруг оси, как показано на рисунке 2, то можно выделить основные параметры, которые могут влиять на сопротивление транзистора:  $l_z$  – эффективная длина затвора;  $l_{p+}$  – длина маски для p-области;  $l_p$  – расстояние между маской для p-области и затвором;  $l_{кан}$  – длина канала;  $X_{jp}$  – глубина залегания p области;  $h_{эп}$  – толщина эпитаксиальной пленки;  $h_{под}$  – толщина подложки.

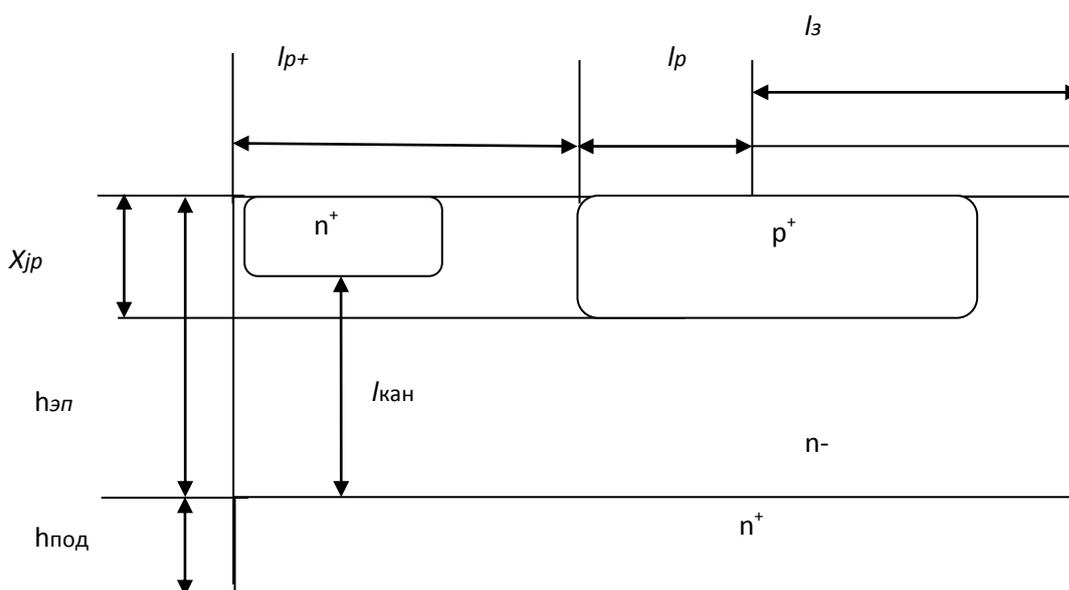


Рисунок 2- Параметры, влияющие на сопротивление транзистора

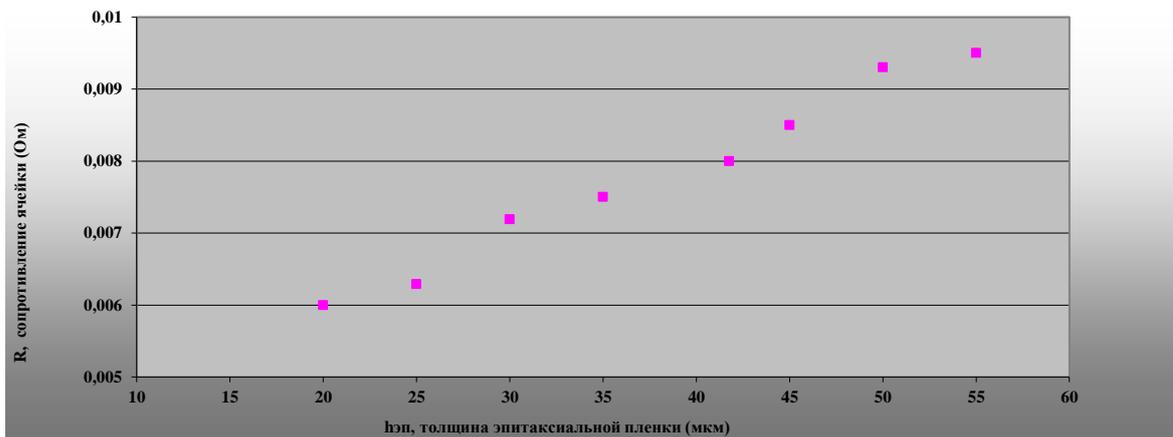
На кремниевых подложках с различной толщиной эпитаксии и концентрацией примесей, с различными конструктивными параметрами были сформированы опытные образцы структуры БСИТ-транзистора; проведены расчетные и экспериментальные работы, в результате которых были получены графики, характеризующие:

1. Зависимость сопротивления ячейки транзистора от толщины эпитаксиальной пленки;
2. Зависимость сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от эффективной длины затвора при различных значениях концентрации примеси ( $N$ ) в эпитаксиальной пленке;

3. Зависимость сопротивления ячейки транзистора от длины затвора при различных значениях толщины эпитаксиальной пленки ( $h_{эн}$ );
4. Зависимость сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от расстояния между маской для  $p$ -области ( $l_{p+}$ ) и затвором;
5. Зависимость произведения сопротивления ячейки на ее площадь от длины затвора.

Зависимость сопротивления ячейки транзистора от толщины эпитаксиальной пленки показана на рисунке 3 (концентрация примеси в пленке  $2,63 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ,  $l_p + l_{p+} = 20 \text{ мкм}$ ).

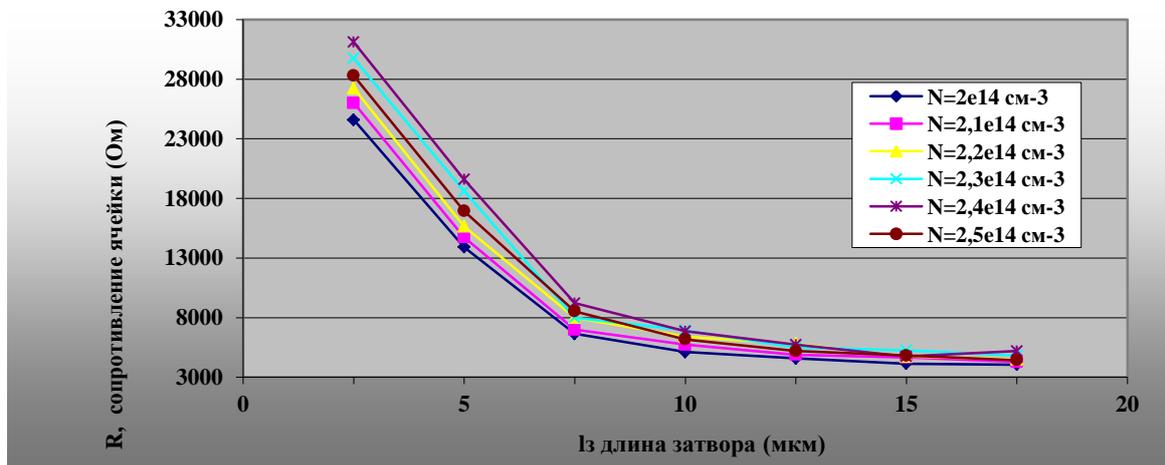
Как видно из рисунка 3, сопротивление прямо пропорционально толщине эпитаксиальной пленки.



**Рисунок 3- Зависимость сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от толщины эпитаксиальной пленки ( $h_{эн}$ )**

Влияние длины затвора ( $l_3$ ), на сопротивление показано на рисунке 4 ( $l_3 = 6 \text{ мкм}$ ,  $l_{p+} = 6,5 \text{ мкм}$ ,  $h_{эн} = 50 \text{ мкм}$ ).

Как видно из рисунка 4, сопротивление ячейки уменьшается с ростом  $l_3$ , так как уменьшается площадь ячейки.



**Рисунок 4- Зависимость сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от длины затвора ( $l_3$ ) при различных значениях концентрации примеси ( $N$ ).**

На рисунке 5 показаны следующие виды зависимостей:

а) зависимость сопротивления ячейки транзистора от длины затвора ( $l_3$ ) при различных значениях толщины эпитаксиальной пленки ( $h_{эн}$ ) и при различных значениях расстояния между маской для  $p$ -области и затвором ( $l_p = 6,0 \text{ мкм}$ ,  $l_{p+} = 6,5 \text{ мкм}$ , при концентрации примеси  $N = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ).

б) зависимость параметра  $Q$  от длины затвора ( $l_3$ ) при различных значениях длины маски для  $p$ -области ( $l_{p+}$ ).

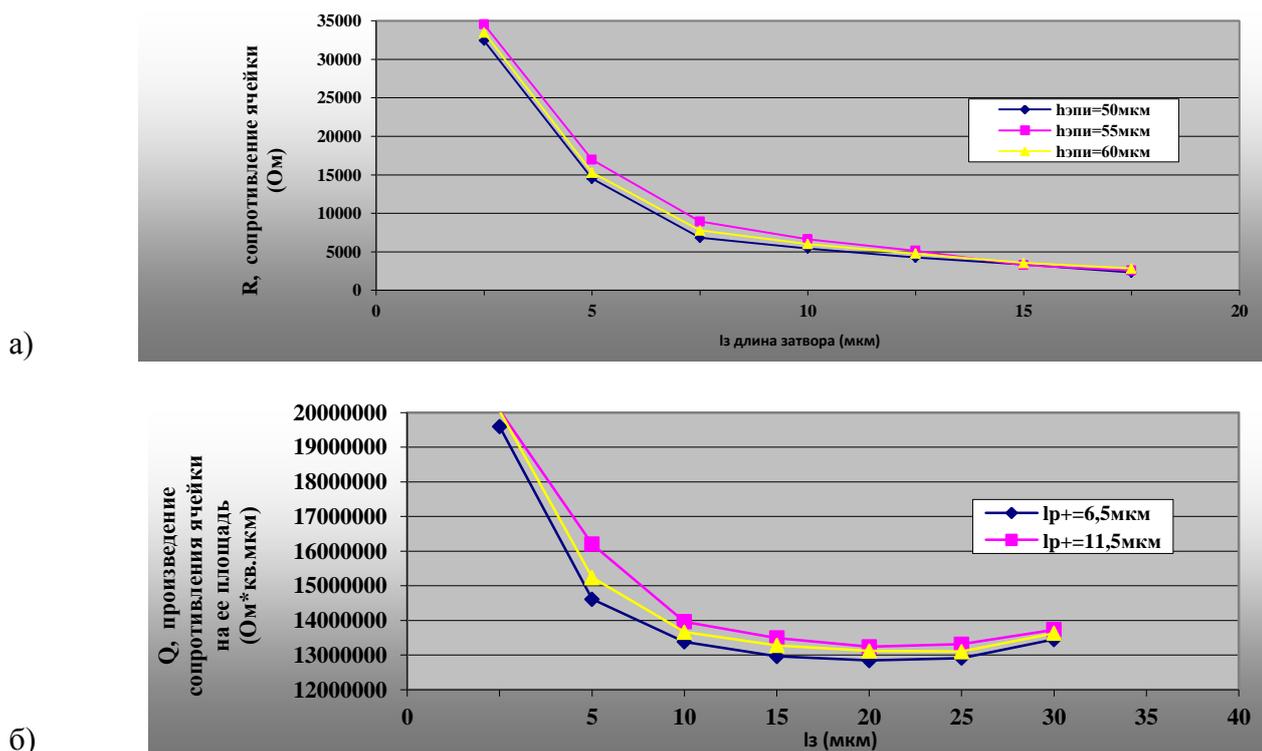


Рисунок 5 - Зависимость сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от: а) длины затвора при различных значениях толщина эпитаксиальной пленки ( $h_{эп}$ ). б) зависимости параметра  $Q$  от длины затвора ( $l_3$ ) при различных значениях длины маски для  $p$ -области ( $l_{p+}$ ).

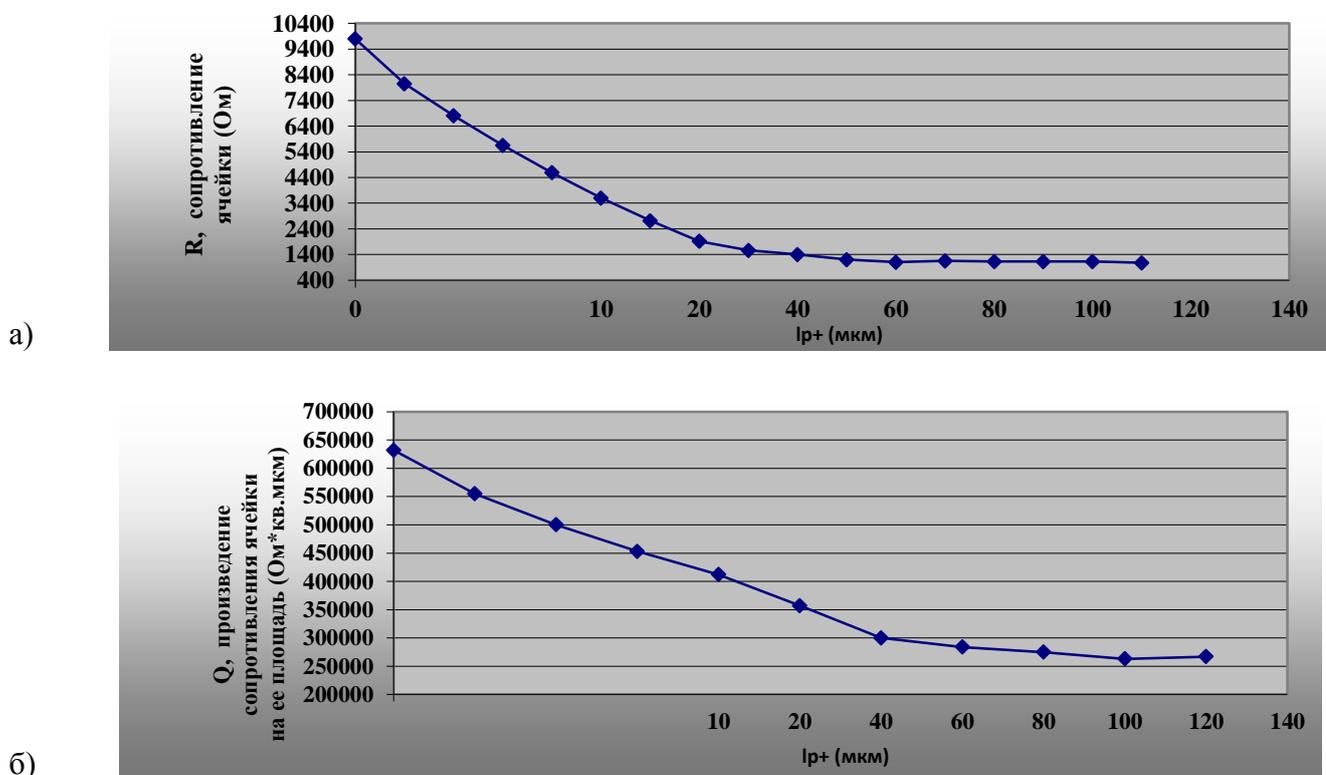


Рисунок 6 - Зависимость сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от  $l_{p+}$ , а) зависимость параметра  $Q$  ячейки БСИТ-транзистора от  $l_{p+}$ ; б) зависимость  $l_{p+}$  от  $Q$  при  $N=2 \cdot 10^{14}$  см<sup>-3</sup>,  $l_p=6$  мкм,  $l_3=12,0$  мкм,  $h_{эп}=50$  мкм)

Одним из параметров, характеризующих мощные транзисторы, является произведение сопротивления на площадь ячейки транзистора:  $Q=R*S$ .

Зависимость параметра  $Q$  от длины затвора ( $l_z$ ) для различных значений длины маски для  $p$ -области ( $l_{p+}$ ) показана на рисунке 6, при концентрации примеси  $N=2*10^{14}$  см<sup>-3</sup>, расстоянии между маской для  $p$ -области и затвором  $l_{p+}=6$  мкм, длиной затвора  $l_z=12,0$  мкм, и толщине эпитаксиальной пленки  $h_{эп}=50$  мкм.

Объяснить данную зависимость можно следующим образом: при малых значениях длины затвора ( $l_z$ ) сопротивление активных областей велико, площадь ячейки мала и поэтому в параметре  $Q$  основной вклад имеет сопротивление. С увеличением длины затвора ( $l_z$ ) увеличивается площадь и уменьшаются сопротивления активных областей, наступает момент, когда  $Q$  имеет минимум. Дальнейшее увеличение длины затвора ( $l_z$ ) приводит к незначительному изменению сопротивления, а площадь ячейки существенно увеличивается и, параметр  $Q$  как произведение сопротивления ячейки на ее площадь растет.

Из рисунка 7 видно, что минимальное значение параметра  $Q$  во всем диапазоне длины затвора наблюдается при значении длины маски для  $p$ -области  $l_{p+}=6,5$  мкм.

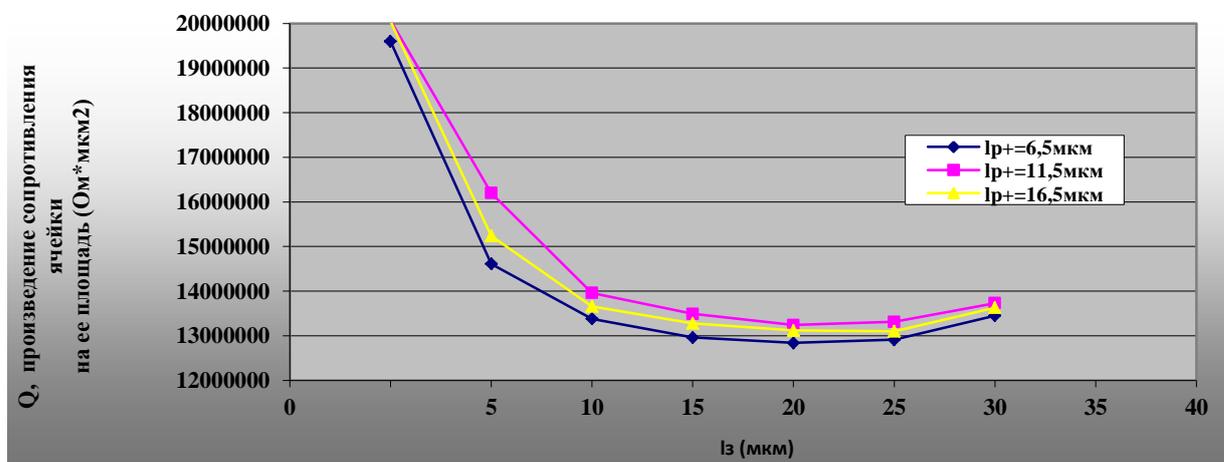


Рисунок 7- Зависимость параметра произведение сопротивления ячейки на ее площадь ( $Q$ ) от длины затвора ( $l_z$ )

**Вывод.** В результате исследования получены зависимости сопротивления ячейки БСИТ-транзистора от ее конструктивно-технологических параметров, исходя из которых можно сделать следующий вывод: при увеличении длины затвора ( $l_z$ ) и длины маски для  $p$ -области ( $l_{p+}$ ) в структуре транзистора, сопротивление уменьшается, а зависимость параметра произведения сопротивления ячейки на ее площадь  $Q$  от длины затвора при этом минимально.

#### Библиографический список:

1. Исмаилов Т.А., Шахмаева А. Транзисторные структуры силовой электроники/ СПб.: Политехника, 2011.-125 с.
2. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Букашев Ф.И., Захарова П.Р. Технология, конструкции, методы моделирования и применение БСИТ-транзисторов/ М.: Академия, 2012.-252 с.
3. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Захарова П.Р. Способ изготовления БСИТ-транзистора с охранными кольцами. Пат. 2013100528/28 Рос. Федерация: МПК H01L 29/70, № 2524145; заявл. 09.01.2013; опубл. 27.07.2014 Бюл. №21.-6с.
4. Лагунович Н.Л., Турцевич А.С., Борздов В.М. Новый технологический маршрут изготовления биполярного транзистора со статической индукцией// МНПК «Современные информационные и электронные технологии». Одесса.-, 2016., С. 150-151.

5. Шахмаева А.Р., Захарова П.Р. Разработка типовой структуры нормально-закрытого БСИТ-транзистора// *Фундаментальная наука и технологии - перспективные разработки: материалы международной научно-практической конференции, 22-23 мая 2013 г.* – М., 2013.-С. 158-160.
6. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Захарова П.Р. Технология напыления наноразмерных слоев четырех металлов (Cr-Ni-Sn-Ag) для формирования стоковой области биполярного со статической индукцией транзистора (БСИТ). *Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы материаловедения и наноматериалов: труды VIII Международной конференции.* - 9-10 июня 2011.- М: Изд-во МИСиС, 2011.-С.815-823.
7. Патент №2524145 Российская Федерация, МПК H01L 29/70. Способ изготовления БСИТ-транзистора с охранными кольцами. /Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Захарова П.Р.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Дагестанский государственный технический университет.- №2013100528/28; заявл. 09.01.2013; опубл. 27.07.2014 Бюл. №21.- бс.
8. Патент №2534439 Российская Федерация, МПК H01L 21/58. Способ формирования контакта к стоковой области полупроводникового прибора. /Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Захарова П.Р.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Дагестанский государственный технический университет.- №2013100562/28; заявл. 09.01.2013; опубл. 27.11.2014. Бюл. №33.-4с.
9. Исмаилов Т.А., Шахмаева А.Р., Захарова П.Р. Технологическое решение по улучшению параметров кристалла биполярного со статической индукцией транзистора. *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки.* - 2011.- Т. 20 - №1- С. 6-10.
10. Шахмаева А.Р., Захарова П.Р. Конструктивно-технологические методы улучшения параметров полупроводниковых приборов. *Вестник Саратовского государственного технического университета.* -2012.-Т.63 - №1- С. 36-40.
11. Wang Y., Feng J., Liu C. et al. Improvements on voltage-resistant performance of bipolar static induction transistor (BSIT) with buried gate structure. *Science in China Series F: Information Sciences*, 2012, 55(4): 962.
12. Napoli E. and Strollo A.G. Static Induction Transistors. *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, 2014, pp.1–6.
13. Meenakshi Mataray et al. Modern Power Semiconductor Devices. (*IJCSIT*) *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 2012, vol.3, no.4, pp. 4571 – 4574.
14. Belkacemla G., Lefebvre S., Joubert P. et al. Distributed and coupled 2D electro-thermal model of power semiconductor devices. *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, 2014, 66, pp. 20-102
15. Jiang Y., Zeng C., Du H. et al. Holding-voltage drift of a silicon-controlled rectifier with different film thicknesses in silicon-on-insulator technology. *Journal of Semiconductors*, 2012, 33 (3): 962.
16. Shaohua Lu and Farid Boussaid. An Inductorless Self-Controlled Rectifier for Piezoelectric Energy Harvesting. *Sensors*, 2015, p.15.

#### References:

1. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R. Transistor structures of power electronics. *St. Petersburg: Politehnika*, 2011, 125p. (In Russian)
2. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R., Balashev F.I., Zakharova, P. R. Technology, design, simulation methods and application of BSIT-transistor. *Moscow: Akademija*, 2012, 252 p. (In Russian)

3. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R., Zakharova, P.R. Method for the fabrication of the BSIT-transistor with guard rings. Pat. 2013100528/28 ROS. Federation:IPC H01L 29/70, No. 2524145; Appl. 09.01.2013; publ. 27.07.2014 Bull., no. 21, 6p. (In Russian)
4. Lahunovich N.L., Turtsevich A.S., Borzdov V.M. New technological route of manufacturing bipolar transistor with a static induction. *MNPK «Sovremennye informacionnye i jelektronnye tehnologii»* [International scientific-practical conference "Modern information and electronic technologies"]. *Odessa*, 2016, pp. 150-151. (In Russian)
5. Shakhmaeva A.R., Zakharova P.R. A model structure is normally closed Development BSIT-transistor. *Fundamental'naja nauka i tehnologii - perspektivnye razrabotki: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 22-23 maja 2013 g. Moscow*: [Fundamental science and technologies - promising developments: proceedings of the international scientific-practical conference], 2013, pp.158-160. (In Russian)
6. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R., Zakharov P.R. The Technology of deposition of nanoscale layers of four metals (chrome, Nickel SN-AG) for forming a drain region of a bipolar transistor with a static induction (BSIT). *Perspektivnye tehnologii, oborudovanie i analiticheskie sistemy materialovedenija i nanomaterialov: trudy VIII Mezhdunarodnoj konferencii* [Advanced technologies, equipment and the analysis of political systems of materials and nanomaterials: proceedings of the VIII international conference. June 9-10, 2011] *Moscow: publishing house of MISIS*, 2011, pp.815-823. (In Russian)
7. Patent No. 2524145 Russian Federation, IPC H01L 29/70. A method of manufacturing BSIT-transistor with guard rings. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R., Zakharov, P.R.; applicant patentable-giver and of the Dagestan State Technical University. No. 2013100528/28; Appl. 09.01.2013; publ. 27.07.2014 Bull. No. 21, 6p. (In Russian)
8. 2534439 Patent No. Russian Federation, IPC H01L 21/58. A method of forming contact to drain region of semiconductor device. Ismailov T. A., Shamaeva A. R., Zakharov, P. R.; applicant PA-entablature and of the Dagestan State Technical University. No. 2013100562/28; Appl. 09.01.2013; publ. 27.11.2014 Bull. No. 33, 4p. (In Russian)
9. Ismailov T.A., Shakhmaeva A.R., Zakharova, P.R. Technological-mechanical solution for improving the parameters of the crystal is bipolar with the way cal induction transistor. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. [Herald of Daghestan State Technical University. Technical science], 2011,vol.20, no.1, pp.6-10. (In Russian)
10. Shakhmaeva A.R., Zakharova P. R. Constructive-technological methods of improvement of parameters of semiconductor devices. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. [Bulletin of Saratov State Technical University]. 2012, vol.63, no.1, pp.36-40. (In Russian)
11. Wang Y., Feng J., Liu C. et al. Improvements on voltage-resistant performance of bipolar static induction transistor (BSIT) with buried gate structure. *Science in China Series F: Information Sciences*, 2012, 55(4): 962.
12. Napoli E. and Strollo A. G. Static Induction Transistors. *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, 2014, pp.1–6.
13. Meenakshi Mataray et al. Modern Power Semiconductor Devices. (*IJCSIT*) *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 2012, vol.3, no.4, pp. 4571 – 4574.
14. Belkacem1a G., Lefebvre1 S., Joubert P. et al. Distributed and coupled 2D electro-thermal model of power semiconductor devices. *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, 2014, 66, pp. 20-102
15. Jiang Y., Zeng C., Du H. et al. Holding-voltage drift of a silicon-controlled rectifier with different film thicknesses in silicon-on-insulator technology. *Journal of Semiconductors*, 2012, 33 (3): 962.
16. Shaohua Lu and Farid Boussaid. An Inductorless Self-Controlled Rectifier for Piezoelectric Energy Harvesting. *Sensors*, 2015, p.15.

**Сведения об авторах.**

**Исмаилов Тагир Абдурашидович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и общей электротехники. Ректор ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», Заслуженный деятель науки РФ.

**Шахмаева Айшат Расуловна** – кандидат технических наук, декан факультета повышения квалификации и переподготовки, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем.

**Шангереева Бийке Алиевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и общей электротехники.

**Authors information.**

**Tagir A. Ismailov** – doctor of technical Sciences, Professor, head of Department of theoretical and General electrical engineering. The rector Dagestan State Technical University, Honored worker of science of the Russian Federation.

**Aishat R. Shakhmaeva** – candidate of technical Sciences, Dean of Faculty training and retraining, Associate Professor of Department of Software computer technology and automated systems.

**Bike A. Shangereeva** – candidate of technical Sciences, associate Professor of Department of theoretical and General electrical engineering.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

**Поступила в редакцию** 10.06.2016.

**Принята в печать** 10.08.2016.

**Conflict of interest**

**Received** 10.06.2016.

**Accepted for publication** 10.08.2016.