

УДК 519.213:006.91

## ИЗДЕЛИЯ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ, ДАТЧИКИ, БИМЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

В.В. БАРАНОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь*

*Поступила в редакцию 25 февраля 2019*

**Аннотация.** Приведены обзорные результаты исследований характеристик диодов Шоттки с улучшенными параметрами, разработанных датчиков контроля жидких сред и принципиальные аспекты, связанные с биорезонансными эффектами.

*Ключевые слова:* диод Шоттки, датчик жидких сред, биорезонансный эффект.

**Abstract.** Diodes Schottky characteristics, sensors of liquid media and principal aspects connected with bioresonans effects are described.

*Keywords:* diode Schottky, sensor of liquid media, bioresonans effect.

**Doklady BGUIR. 2019, Vol. 121, No. 3, pp. 70-75**  
**Schottky diodes, sensors, biomedical technologies**  
**V.V. Baranov**

### Введение

Общая концепция технологии интегрированных в твердотельные структуры пленочных токопроводящих систем (ИПС) для интегральных микросхем и дискретных изделий полупроводниковой силовой электроники предполагает использование многослойных структур, в которых имеются контактные слои (КС), выполненные, например, из многокомпонентных материалов, барьерные слои (БС), токопроводящие слои (ТС) и др. [1].

Основу материала КС диодов Шоттки составляет силицидобразующий металл, выбираемый из группы переходных металлов (Pt, Re, Pd, Ni, Ti, Co и др.), а вводимые в нее ингредиенты должны иметь близкие физико-химические свойства и обладать способностью целенаправленного модифицирования состава, структуры и свойств КС [1]. Кроме этого, использование многокомпонентных материалов позволяет формировать на границе КС – Si переходный слой, обладающий определенными физико-химическими и электрофизическими характеристиками: фазовым составом, структурой, протяженностью, электрофизическими ( $\rho_k$ ,  $\varphi_b$ ). Величины  $\rho_k$  – удельное переходное контактное сопротивление ( $\text{Ом}\cdot\text{см}^2$ ) и  $\varphi_b$  – высота энергетического барьера контакта металл/Si (эВ) определяют основные электрические характеристики твердотельных структур диодов Шоттки, а также мощных ДМОП транзисторов (MOSFET).

Актуальным вопросом также является разработка датчиков контроля жидких сред, среди которых наиболее эффективными являются датчики емкостного типа для различных жидких сред, например, моторных масел.

Также автором за последнее пятилетие проводились работы в направлении развития биомедицинских технологий, основанные на исследовании биорезонансных эффектов и определении индивидуальной характеристической частоты человека (ИХЧ), лежащей в области частот 40–75 ГГц.

## Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

На рис. 1 в качестве примера приведена ячейка мощного вертикального ДМОП транзистора, которых на одном кристалле может насчитываться свыше 800 единиц, а на рис. 2 – оптимальная структура диодов Шоттки с учетом полученных результатов исследования структуры и электрических параметров приборов.

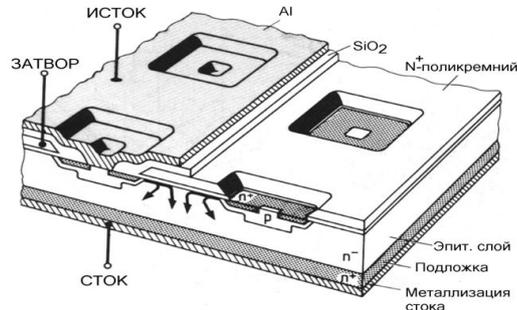


Рис. 1. Ячейка кристалла вертикального ДМОП транзистора

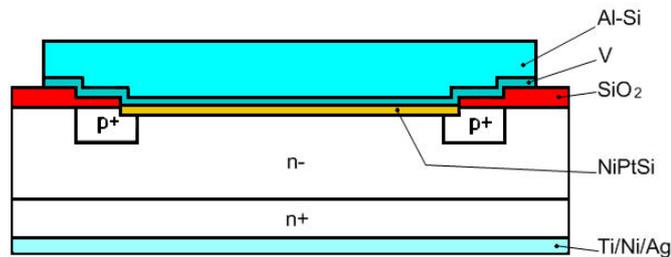


Рис. 2. Диод Шоттки с углублением в эпитаксиальном слое

Для диодов Шоттки принципиальным аспектом структуры является формирование однородной границы раздела металл (силицид) / кремний. В этой связи автором предложен способ формирования таких твердотельных структур, в котором использована двухстадийная термообработка [2]. При этом большое значение имеет качество обработки поверхности пластин кремния [3], а также оптимизация режимов технологических процессов [4]. На рис. 3 приведена микрофотография скола кристалла диода Шоттки на примере КС Si/PtSi [5].

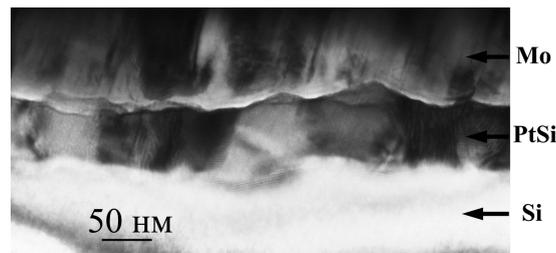


Рис. 3. Микрофотография скола твердотельной структуры диода Шоттки типа PtSi/Si

В качестве контролируемого параметра моторных масел в настоящее время используется величина тангенса угла диэлектрических потерь ( $\operatorname{tg}\delta$ ).

Ранее исследованы зависимости  $\operatorname{tg}\delta$  масла марки M14B2 с использованием конструкции конденсатора с плоскопараллельными никелевыми пластинами [4, 5].

В настоящей работе использованы дополнительно иные разновидности емкостных датчиков (на рис. 4 показаны в центре и справа):

- плоскопараллельный конденсатор, в качестве обкладок которого использовалась сетка с ячейкой  $1 \times 1$  мм. Сетка представляет собой стальной каркас, гальванически покрытый цинком;
- конденсатор с коаксиальными спиралевидными медными обкладками.

Недостаток ранее использованного датчика – анизотропия скорости смены диэлектрической среды (масла) между сплошными обкладками в процессе измерения относительно осей координат обкладок. По осям X, Y смена масла проблем не вызывает,

а по оси Z, перпендикулярной плоскости X-Y, замена масла затруднена. Вследствие повышенного сопротивления протекания масла, повышаются требования к жесткости конструкции датчика, а также возникает временная задержка при считывании показаний. Для снятия затруднений проточности масел по трем пространственным осям X-Y-Z существенные преимущества имеет сетчатый и в большей степени спиралевидный датчики.



Рис. 4. Общий вид разработанных емкостных датчиков

Измерения  $\text{tg}\delta$  проводили с использованием прибора E7-25 производства Республики Беларусь (МНИПИ). Прибор позволяет регистрировать значения  $\text{tg}\delta$  при величине измерительного синусоидального сигнала 700 и 40 мВ, а также величины эквивалентных сопротивлений и емкостей для последовательных и параллельных вариантов их соединения.

В диапазоне частот 25 Гц – 1 кГц значения  $\text{tg}\delta$  находятся в пределах 0,25–0,025 и убывают с ростом частоты обратно пропорционально.

Характерно, что численные значения  $\text{tg}\delta$  для всех использованных конструкций датчиков отличаются друг от друга не более чем на 5 %. Полученные результаты, по мнению автора, связаны со следующим. В общем случае величина заряда, накопленного в конденсаторе, может быть отображена следующим образом:

$$Q = CU = \varepsilon_0 \varepsilon \int E dS. \quad (1)$$

Формальное определение величины тока в цепи отображается таким образом:

$$I = U/R = \sigma \int E dS. \quad (2)$$

Разделив (1) на (2), получим:

$$RC = \varepsilon_0 \varepsilon / \sigma. \quad (3)$$

Произведение RC входит в формулу для определения величины  $\text{tg}\delta$  и, как видно из (3), никак не связано с геометрическими размерами датчиков, а определяется лишь диэлектрической проницаемостью ( $\varepsilon$ ) и электропроводимостью ( $\sigma$ ) масла. Незначительные отличия показаний датчиков связаны с краевыми эффектами, которые в вышеприведенных формулах не учитываются. В качестве рабочей гипотезы принимаем, что моторное масло со сроком эксплуатации 907,2 часа имеет также предельно допустимые параметры [3]. На рис. 5 представлена зависимость  $\text{tg}\delta$  масла марки M14B2 от частоты генератора схемы измерения.

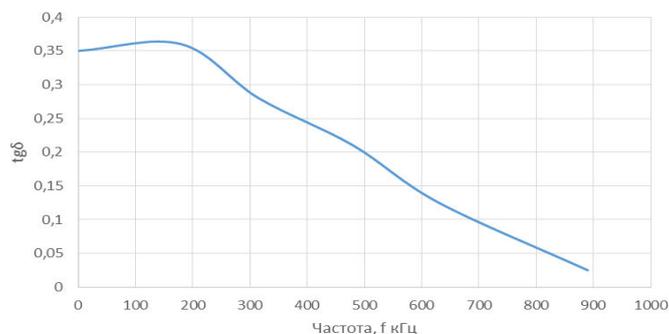


Рис. 5. Зависимость величины диэлектрических потерь в маслах от частоты зондирующего сигнала

Как видно из рис. 5, в диапазоне частот от 25 Гц до 1 кГц значения  $\text{tg}\delta$  для всех проб уменьшаются обратно пропорционально частоте генератора в схеме измерения. Из этих

графиков не следует, но расчеты показывают, что изменение  $\text{tg}\delta$ , в зависимости от срока эксплуатации проб масел, хорошо различимо и имеет разброс более 50 % от максимальных до минимальных значений  $\text{tg}\delta$  в диапазоне частот от 25 Гц до 1 кГц.

Графики для проб свежего масла и со сроком эксплуатации 200 моточасов практически сливаются на частотах свыше 1 кГц. Изменения заметны начиная лишь с третьей пробы масла (320 моточасов – около трети регламентного срока эксплуатации).

На рис. 6 представлена зависимость  $\text{tg}\delta$  от температуры проб моторного масла при частоте измерения с помощью емкостных датчиков 1 кГц.

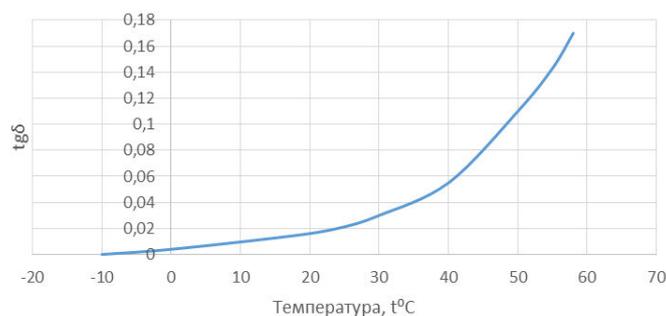


Рис. 6. Зависимость величины  $\text{tg}\delta$  пробы моторного масла от температуры

Из рис. 6 следует: при повышении температуры пробы масла величина  $\text{tg}\delta$  повышается, по оценкам, по экспоненциальному закону, что соответствует общим физическим представлениям о характеристиках жидких диэлектриков [6–8].

Также установлено, что при увеличении времени наработки масла величина  $\text{tg}\delta$  уменьшается по нелинейному закону. В диапазоне времени наработки до 200 часов наблюдается незначительный, в пределах 10 %, рост значения параметра  $\text{tg}\delta$ , вероятно обусловленный испарением адсорбированной влаги. После чего значение  $\text{tg}\delta$  уменьшается по мере наработки моточасов. При наработке в 600 часов значение  $\text{tg}\delta$  уменьшается более чем вдвое по сравнению с исходной величиной, что можно рассматривать, как достаточно информативный параметр [8].

Используя методику вегетативной резонансной терапии (ВРТ), которая основана на использовании явлений резонанса, интерференции, принципа суперпозиции, отвечая на вопросы: «Что?», «Где?», «Причина?» и подбирая терапию, возможно проводить диагностику хронических заболеваний на микроволновом уровне (рис. 7).

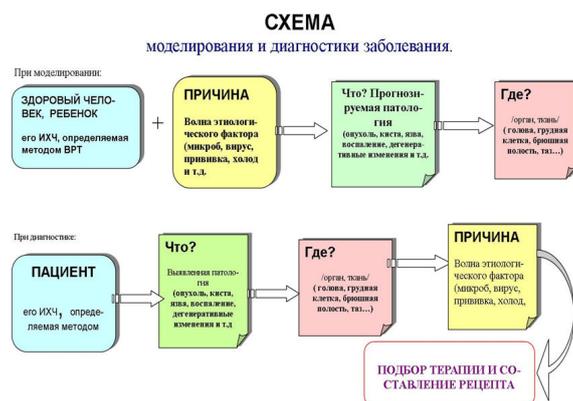


Рис. 7. Схема моделирования и диагностики заболеваний

Терапевтические мероприятия возможны при воздействии на пациента одной из используемых диагностических сред. На практике же лучше использовать парафин, который приобретает требуемые качества после воздействия на него в жидком виде микроволнового излучения соответствующей ИХЧ пациента частоты облучения от генератора СВЧ с рупорной антенной. При этом облучение пробы ведется до полного затвердевания среды [9–14].

Также автором проводились исследования по технологии синтеза пленок эвтектического состава системы GaSb–MnSb и их электрических и магнитных свойств [15].

Показано, что технология синтеза таких пленок имеет высокую воспроизводимость, несмотря на сложный состав материала и необходимость его строгого поддержания для достижения требуемых электрических и магнитных свойств с целью применения в изделиях электронной техники.

### Заключение

Приведены результаты исследований твердотельных структур типа планарных диодов Шоттки, моторных масел и характеристик таких диагностических сред для определения индивидуальной характеристической частоты человека, как дистиллированная вода и парафин, которые являются чувствительными к облучению СВЧ излучением низкой интенсивности (менее  $10^{-3}$  Вт/см<sup>2</sup>), а также схема диагностики хронических заболеваний человека, основанная на использовании указанных диагностических сред, предварительно находящихся в контакте с пациентом либо подвергнутых воздействию микроволнового излучения на определенной частоте.

### Список литературы

1. Баранов В.В. Приборы твердотельной электроники, тестирование, измерения. Биомедицинские диагностические технологии // Докл. БГУИР. 2014. № 2 (80). С. 23–31.
2. Способ изготовления диода Шоттки: пат. № 027357 EU / А.С. Турцевич, Я.А. Соловьев, О.Э. Сарычев, В.В. Баранов; опубл. 31.07.2017.
3. Оборудование и технологии удаления загрязнений с поверхности кремниевых пластин / В.В. Баранов [и др.] // Материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф. «Приборостроение-2017». Минск, 2017. С. 293–295.
4. Статистический анализ и оптимизация параметров технологии изготовления биполярного транзистора с изолированным затвором / В.В. Баранов [и др.] // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2015. № 1. С. 38–43.
5. Интегрированные пленочные системы в твердотельных структурах диодов Шоттки / В.В. Баранов [и др.] // Материалы Междунар. науч.-техн. конф., приуроченной к 50-летию МРТИ–БГУИР. Минск, 18–19 марта 2014. Ч. 2. С. 56–57.
6. Баранов В.В., Петрович В.А., Редько С.В. Частотные характеристики многослойных структур металл/диэлектрик // Материалы Междунар. науч.-техн. конф., приуроченной к 50-летию МРТИ–БГУИР. Минск, 18–19 марта 2014. Ч. 2. С. 30–31.
7. Датчики контроля электрофизических свойств жидких диэлектриков / А.И. Кузьмич [и др.] // Труды XVIII Междунар. науч.-практ. конф. «Современные информационные и электронные технологии». Одесса, 2017. С. 52–53.
8. Диэлектрические характеристики моторных масел для силовых агрегатов, измеряемые емкостными датчиками / И.В. Батурля [и др.] // Докл. БГУИР. 2016. № 3 (97). С. 103–106.
9. Medical diagnostic and therapy methods on the basis of bio-resonance effects / V. Baranov [et al.] // Материалы Междунар. науч.-техн. конф., приуроченной к 50-летию МРТИ–БГУИР. Минск, 18–19 марта 2014. Ч. 2. С. 141–142.
10. Аппаратно-программный комплекс для исследования и определения собственной характеристической частоты органических, неорганических и биологических объектов / В.В. Баранов [и др.] // Сб. материалов IX Междунар. науч.-техн. конф. «Медэлектроника». Минск, 10–11 декабря 2014. С. 156–158.
11. Формирование базы данных хронических заболеваний и исследование характеристик диагностических сред, подвергнутых КВЧ облучению / В.В. Баранов [и др.] // Сб. материалов IX Междунар. науч.-техн. конф. «Медэлектроника». Минск, 10–11 декабря 2014. С. 159–161.
12. Определение характеристик диагностических сред, подвергнутых КВЧ облучению, и способы обработки оптических образов биологических объектов / В.В. Баранов [и др.] // Сб. материалов IX Междунар. науч.-техн. конф. «Медэлектроника». Минск, 10–11 декабря 2014. С. 223–226.
13. Диагностика хронических заболеваний человека на основе биорезонансных эффектов / В.В. Баранов [и др.] // Сб. материалов IX Междунар. науч.-техн. конф. «Медэлектроника». Минск, 10–11 декабря 2014. С. 226–228.
14. Характеристики диагностических сред, используемых для определения индивидуальной характеристической частоты человека / В.В. Баранов [и др.] // Сб. материалов X Междунар. науч.-техн. конф. «Медэлектроника». Минск, 8–9 декабря 2016. С. 70–73.
15. Синтез, электрические и магнитные свойства пленок эвтектического состава системы GaSb–MnSb / С.Ф. Маренкин [и др.] // Докл. БГУИР. 2016. № 5 (99). С. 5–10.

## References

1. Baranov V.V. Pribory tverdotel'noj jelektroniki, testirovanie, izmerenija. Biomedicinskie diagnosticheskie tehnologii // Dokl. BGUIR. 2014. № 2 (80). S. 23–31. (in Russ.)
2. Sposob izgotovlenija dioda Shottki: pat. № 027357 EU / A.S. Turcevich, Ja.A. Solov'ev, O.Je. Sarychev, V.V. Baranov; opubl. 31.07.2017. (in Russ.)
3. Oborudovanie i tehnologii udalenija zagraznenij s poverhnosti kremnievyh plastin / V.V. Baranov [i dr.] // Materialy 10-j Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. «Priborostroenie-2017». Minsk, 2017. S. 293–295. (in Russ.)
4. Statisticheskij analiz i optimizacija parametrov tehnologii izgotovlenija bipoljnarnogo tranzistora s izolirovannym zatvorom / V.V. Baranov [i dr.] // Tehnologija i konstruirovanie v jelektronnoj apparature. 2015. № 1. S. 38–43. (in Russ.)
5. Integrirovannye plenochnye sistemy v tverdotel'nyh strukturah diodov Shottki / V.V. Baranov [i dr.] // Materialy Mezhdunar. nauch.-tehn. konf., priurochennoj k 50-letiju MRTI–BGUIR. Minsk, 18–19 marta 2014. Ch. 2. S. 56–57. (in Russ.)
6. Baranov V.V., Petrovich V.A., Red'ko S.V. Chastotnye karakteristiki mnogoslajnyh struktur metall / dijelektrik // Materialy Mezhdunar. nauch.-tehn. konf., priurochennoj k 50-letiju MRTI–BGUIR. Minsk, 18–19 marta 2014. Ch. 2. S. 30–31. (in Russ.)
7. Datchiki kontrolja jelektrofizicheskikh svojstv zhidkikh dijelektrikov / A.I. Kuz'mich [i dr.] // Trudy XVIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sovremennye informacionnye i jelektronnye tehnologii». Odessa, 2017. S. 52–53. (in Russ.)
8. Diyelektricheskie karakteristiki motornyh masel dlja silovyh agregatov, izmerjaemye emkostnymi datchikami / I.V. Baturlja [i dr.] // Dokl. BGUIR. 2016. № 3 (97). S. 103–106. (in Russ.)
9. Medical diagnostic and therapy methods on the basis of bio-resonance effects / V. Baranov [et al.] // Materialy Mezhdunar. nauch.-tehn. konf., priurochennoj k 50-letiju MRTI–BGUIR. Minsk, 18–19 marta 2014. Ch. 2. S. 141–142.
10. Apparatno-programmnyj kompleks dlja issledovanija i opredelenija sobstvennoj karakteristicheskoy chastoty organicheskikh, neorganicheskikh i biologicheskikh ob'ektov / V.V. Baranov [i dr.] // Sb. materialov IX Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. «Medjelektronika». Minsk, 10–11 dekabnja 2014. S. 156–158. (in Russ.)
11. Formirovanie bazy dannyh hronicheskikh zabojevanij i issledovanie karakteristik diagnosticheskikh sred, podvergnutyh KVCh oblucheniju / V.V. Baranov [i dr.] // Sb. materialov IX Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. «Medjelektronika». Minsk, 10–11 dekabnja 2014. S. 159–161. (in Russ.)
12. Opredelenie karakteristik diagnosticheskikh sred, podvergnutyh KVCh oblucheniju, i sposoby obrabotki opticheskikh obrazov biologicheskikh ob'ektov / V.V. Baranov [i dr.] // Sb. materialov IX Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. «Medjelektronika». Minsk, 10–11 dekabnja 2014. S. 223–226. (in Russ.)
13. Diagnostika hronicheskikh zabojevanij cheloveka na osnove biorezonansnyh jeffektov / V.V. Baranov [i dr.] // Sb. materialov IX Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. «Medjelektronika». Minsk, 10–11 dekabnja 2014. S. 226–228. (in Russ.)
14. Karakteristiki diagnosticheskikh sred, ispol'zuemyh dlja opredelenija individual'noj karakteristicheskoy chastoty cheloveka / V.V. Baranov [i dr.] // Sb. materialov H Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. «Medjelektronika». Minsk, 8–9 dekabnja 2016. S. 70–73. (in Russ.)
15. Sintez, jelektricheskie i magnitnye svojstva plenok jevtekticheskogo sostava sistemy GaSb–MnSb / S.F. Marenkin [i dr.] // Dokl. BGUIR. 2016. № 5 (99). S. 5–10. (in Russ.)

### Сведения об авторе

Баранов В.В., д.т.н., профессор кафедры проектирования информационно-компьютерных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 6  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
тел. +375-17-293-89-40;  
e-mail: vvb@bsuir.by  
Баранов Валентин Владимирович

### Information about the author

Baranov V.V., D.Sci, professor of information-computer systems design department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

### Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovka st., 6,  
Belarusian state university  
of informatics and radioelectronics  
tel. +375-17-293-89-40;  
e-mail: vvb@bsuir.by  
Baranov Valentin Vladimirovich