

**"ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА.  
Серия 3. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА"****Редакционный совет****Главный редактор**

**Красников Г.Я.**, д. т. н.,  
академик РАН

**Члены редакционного совета****Аристов В. В.**,

член-корреспондент РАН

**Асеев А. Л.**, д. ф.-м. н.,

академик РАН

**Бетелин В. Б.**, д. ф.-м. н.,

академик РАН

**Бокарев В. П.**, к. х. н.,

ответственный секретарь

**Бугаев А. С.**, д. ф.-м. н.,

академик РАН

**Быков В. А.**, д. т. н.**Галиев Г. Б.**, д. ф.-м. н.

**Горбачевич А. А.** д. ф.-м. н.,

член-корреспондент РАН

**Горнев Е. С.**, д. т. н.,

зам. главного редактора

**Грибов Б. Г.**, д. х. н.,

член-корреспондент РАН

**Зайцев Н. А.**, д. т. н.**Ким А. К.**, к. т. н.**Критенко М. И.**, к. т. н.**Немудров В. Г.**, д. т. н.**Петричкович Я. Я.**, д. т. н.**Сигов А. С.**, д. ф.-м. н.,

академик РАН

**Стемпковский А. Л.**, д. т. н.,

академик РАН

**Чаплыгин Ю. А.**, д. т. н.,

академик РАН

**Шелепин Н. А.**, д. т. н.,

зам. главного редактора

**Эннс В. И.**, к. т. н.**Адрес редакции**

📍 124460 г. Москва, Зеленоград,

1-й Западный проезд, д. 12, стр. 1

☎ +7 495 229-70-43

✉ journal\_EEM-3@mikron.ru

🌐 www.niime.ru/

zhurnal-mikroelektronika

Журнал издается с 1965 года

**Учредитель**

АО "Научно-исследовательский  
институт молекулярной  
электроники"

**КОЛОНКА РЕДАКТОРА**..... 4**РАЗРАБОТКА И КОНСТРУИРОВАНИЕ****М. А. КОРОЛЕВ, А. В. КОЗЛОВ, А. Ю. КРАСЮКОВ,****С. С. ДЕВЛИКАНОВА**

КНИ полевой датчик Холла с повышенной

магниточувствительностью ..... 5–12

**С. В. ГАВРИЛОВ, Е. С. КАРЕВА, Д. И. РЫЖОВА**

Разработка методов проектирования компактной топологии  
регулярных структур FinFET-транзисторов на основе технологии  
режущих слоев ..... 13–21

**ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИЯ****Г. Я. КРАСНИКОВ, Е. С. ГОРНЕВ, В. М. РОЩИН, В. Б. ЯКОВЛЕВ,****И. Н. ПЕТУХОВ**

Электрохимические процессы в технологии формирования  
матричной структуры выводов микросборок ..... 22–27

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ****А. С. КАЛИНИН, В. В. АТЕПАЛИХИН, В. В. ПОЛЯКОВ, В. А. БЫКОВ**

Метод атомно-силовой микроскопии для неразрушающего  
анализа температурной динамики электромеханических  
свойств наноструктур ..... 28–32

**СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ****Г. Я. КРАСНИКОВ, О. П. ГУЩИН, А. В. ШИШЛЯННИКОВ,****Е. С. ГОРНЕВ, Н. А. ОРЛИКОВСКИЙ, А. А. ТАТАРИНЦЕВ**

Исследование технологических параметров современных  
электронных резисторов ..... 33–52

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ****И. В. МАТЮШКИН, Р. А. СОЛОВЬЕВ**

Модель адаптивного нейрона и его аппаратная реализация  
на ПЛИС ..... 53–61

**"ELECTRONIC ENGINEERING.  
Series 3. MICROELECTRONICS"**

**Editorial Council**

**Chief Editor**

**G.Ya. Krasnikov**, Sc. D.,  
Full Member of the RAS

**The Members  
of Editorial Council**

**Aristov V.V.**, Sc. D.,  
Corresponding Member of the RAS

**Aseev A.L.**, Sc. D.,  
Full Member of the RAS

**Betelin V.B.**, Sc. D.,  
Full Member of the RAS

**Bokarev V.P.**, Ph.D.,  
Responsible Secretary

**Bugaev A.S.**, Sc. D.,  
Full Member of the RAS

**Bykov V.A.**, Sc. D.

**Galiev G.B.**, Sc. D.

**Gorbatsevich A.A.**, Sc. D.,  
Corresponding Member of the RAS

**Gornev E.S.**, Sc. D.,  
Deputy Chief Editor

**Gribov B.G.**, Sc. D.,  
Corresponding Member of the RAS

**Zaitsev N.A.**, Sc. D.

**Kim A.K.**, Ph.D.

**Kritenko M.I.**, Ph.D.

**Nemudrov V.G.**, Sc. D.

**Petrichkovich Ya. Ya.**, Sc. D.

**Sigov A.S.**, Sc. D.,  
Full Member of the RAS

**Stempkovskiy A.L.**, Sc. D.,  
Full Member of the RAS

**Chaplygin Y.A.**, Sc. D.,  
Full Member of the RAS

**Shelepin N.A.**, Sc. D.,  
Deputy Chief Editor

**Enns V.V.**, Ph.D.

**Editorial Staff Address**

📍 1-st Zapadny pr-d 12, str. 1.  
Zelenograd, Moscow,  
124460, Russian Federation

☎ +7 495 229-70-43

✉ journal\_EEM-3@mikron.ru

🌐 www.niime.ru/  
zhurnal-mikroelektronika

The journal is published since 1965

**Founder**

"Molecular Electronics Research  
Institute" Stock Company

**EDITOR'S COLUMN** ..... 4

**DEVELOPMENT AND DESIGNING**

**M.A. KOROLEV, A.V. KOZLOV, A. Yu. KRASUKOV,  
S.S. DEVLIKANOVA**

SOI field-effect Hall sensor with increased magnetosensitivity ..... 5–12

**S.V. GAVRILOV, E.S. KAREVA, D.I. RYZHOVA**

Methods of compact layout design of regular FinFET structures  
based on the technology of cutting layers ..... 13–21

**PROCESSES AND TECHNOLOGY**

**G. Ya. KRASNIKOV, E.S. GORNEV, V.M. ROSHCHIN,  
V.B. YAKOVLEV, I.N. PETUKHOV**

Electrochemical processes for technology of matrix structure of  
contact pins of microassemblies ..... 22–27

**PROCESSING AND MEASURING EQUIPMENT**

**A.S. KALININ, V.V. ATEPALIKHIN, V.V. POLYAKOV, V.A. BYKOV**

Atomic force microscopy mode for nondestructive study of  
temperature dynamics of nanostructures electromechanical  
properties ..... 28–32

**PROPERTIES OF MATERIALS**

**G. Ya. KRASNIKOV, O.P. GUSHIN, A.V. SHISHLYANNIKOV,  
E.S. GORNEV, N.A. ORLIKOVSKIY, A.A. TATARINTSEV**

Investigation of process parameters of modern electronic resists ..... 33–52

**MATHEMATICAL SIMULATION**

**I.V. MATYUSHKIN, R.A. SOLOVIEV**

A model of adaptive neuron and its hardware implementation  
on FPGA ..... 53–61

The journal has included in the number of publications recommended for  
publication of articles by applicants for academic degrees of candidate and  
doctor of Sciences №1969 by the all-Russian attestation Commission (HAC)

## КНИ ПОЛЕВОЙ ДАТЧИК ХОЛЛА С ПОВЫШЕННОЙ МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

Полевые датчики Холла на основе КНИ-структуры (КНИ ПДХ) обладают расширенными функциональными возможностями, но невысокой магниточувствительностью. Поэтому основной задачей статьи является рассмотрение возможности повышения магниточувствительности таких датчиков. В работе представлены результаты исследования магниточувствительных характеристик КНИ ПДХ, полученные с использованием трехмерного приборотехнологического моделирования TCAD. Расчетные холлзатворные характеристики КНИ ПДХ подтверждают ранее предложенную физическую модель датчика, в соответствии с которой при определенных условиях функционирования КНИ ПДХ, возникает область повышенной магниточувствительности – ОПМЧ.

Исследовано влияние концентрации примеси в теле датчика на магниточувствительность в ОПМЧ и показано, что этот параметр КНИ ПДХ при концентрации примеси в рабочем слое  $1016 \text{ cm}^{-3}$  возрастает в три раза. Расширенный динамический диапазон ОПМЧ (более 5 В), определяемый при этой концентрации примеси, позволяет расширить область практического применения датчика, повысить его помехоустойчивость. Представлены также распределения концентрации электронов и плотности тока в теле датчика при различных режимах его функционирования. Полученные расчетные характеристики КНИ ПДХ совпадают с ранее опубликованными параметрами экспериментальных приборов.

**Ключевые слова:** КНИ полевой датчик Холла (КНИ ПДХ), магниточувствительность, режим неполного обеднения и обогащения, концентрация примеси, математическое моделирование, динамический диапазон

### Сведения об авторах:

Королев Михаил Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры интегральной электроники и микросистем, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники", 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1; e-mail: mikor33@rambler.ru

Козлов Антон Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры интегральной электроники и микросистем, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники", 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1; e-mail: anton@dsd.miee.ru

Красюков Антон Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры интегральной электроники и микросистем, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники", 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1; e-mail: a\_kras@org.miet.ru

Девликанова Светлана Сергеевна, аспирант кафедры интегральной электроники и микросистем, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники", 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1; e-mail: petrunina.s@mail.ru

## SOI FIELD-EFFECT HALL SENSOR WITH INCREASED MAGNETOSENSITIVITY

The SOI field-effect Hall sensor (SOI FEHS) has enhanced functionality and low magnetics sensitivity. Therefore the main task of the paper is to consider the possibility of increasing the magnetics sensitivity of such sensors. The paper presents the results of the study of magnetically sensitive electric characteristic of the SOI FEHS obtained using the treedimensional TCAD devicetechnological modeling. The calculated Hall-gate characteristics of the SOI FEHS confirm the analytical model previously proposed in our work. Accordance to the proposed analytical model there is an area of high magnetic sensitivity (AHMS) in certain conditions of the device functioning.

It has been studied the influence of the doping concentration in the body on the magnetics sensitivity. It has been shown that the magnetic sensitivity of the SOI FEHS increases 3 times at a concentration of  $1016 \text{ cm}^{-3}$ . The extended dynamic range of AHMS (more than 5 V), determined at this impurity concentration, allows us to increase the area of the practical application of the sensor, increasing noise immunity. The electron density distribution and the current density distribution in the sensor body are also presented under various modes of its functioning. The obtained SOI FEHS characteristics are in good agreement with the parameters of the experimental device published earlier.

**Keywords:** SOI fieldeffect Hall sensor (SOI FEHS), magnetics sensitivity, the partial depletion mode and the saturation, the doping concentration, the mathematical modelling, the dynamic range

### Data of authors:

Korolev Mikhail Alexandrovich, doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Integrated Electronics and Microsystems, National Research University of Electronic Technology, Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498; e-mail: mikor33@rambler.ru

Kozlov Anton Viktorovich, candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Integrated Electronics and Microsystems, National Research University of Electronic Technology, Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498; e-mail: anton@dsd.miee.ru

Krasyukov Anton Yurevich, candidate of Technical sciences, Associate Professor of the Department of Integrated Electronics and Microsystems, National Research University of Electronic Technology, Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498; e-mail: a\_kras@org.miet.ru

Devlikanova Svetlana Sergeevna, post-graduate student of the Department of Integrated Electronics and Microsystems, National Research University of Electronic Technology, Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498; e-mail: petrunina.s@mail.ru

### РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПАКТНОЙ ТОПОЛОГИИ РЕГУЛЯРНЫХ СТРУКТУР FINFET-ТРАНЗИСТОРОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕЖУЩИХ СЛОЕВ

Данная статья посвящена построению регулярных FinFET-структур на основе технологии режущих слоев и программной реализации алгоритма выбора наиболее компактных из них. В результате было выведено формульное соотношение для определения количества вариантов построения регулярной топологии FinFET-структур на основе технологии режущих слоев, а также разработан алгоритм построения SP-NM-графов для выбора наиболее компактных вариантов топологии регулярных FinFET-структур. Предложенный подход позволяет выбирать наиболее компактные варианты построения топологии цифровых схем, построенных на FinFET-транзисторах.

**Ключевые слова:** комплементарная структура металл-оксид-полупроводник (КМОП), сверхбольшие интегральные схемы (СБИС), транзистор с вертикальным затвором (FinFET), логический синтез, топологический синтез, последовательно-параллельный ориентированный граф без циклов (SP-DAG)

#### Сведения об авторах:

Гаврилов Сергей Витальевич, доктор технических наук, профессор; заведующий отделом САПР, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Институт проблем проектирования в микроэлектронике Российской академии наук", 124365 Москва, Зеленоград, ул. Советская, дом 3; e-mail: sergey\_g@ippm.ru  
 Карева Елена Сергеевна, магистр кафедры проектирования интегральных микросхем, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники", 124498, Москва, Зеленоград, площадь Шокина, дом 1; e-mail: kareva\_e@ippm.ru

Рыжова Дарья Игоревна, кандидат технических наук; научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Институт проблем проектирования в микроэлектронике Российской академии наук", 124365, Москва, Зеленоград, ул. Советская, дом 3; e-mail: ryzhova\_d@ippm.ru

### ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ МАТРИЧНОЙ СТРУКТУРЫ ВЫВОДОВ МИКРОСБОРОК

В статье рассмотрены технологии формирования матричной структуры выводов для монтажа кристаллов интегральных схем. Проведены исследования совместного и послонного электрохимического осаждения контактных структур олово-серебро для высокоплотного монтажа кристаллов интегральных схем с шагом выводов 150 мкм.

**Ключевые слова:** электрохимическое осаждение, контактные структуры, монтаж методом "перевернутого кристалла"

#### Сведения об авторах:

Красников Геннадий Яковлевич, академик Российской академии наук, доктор технических наук, профессор, Акционерное общество "Научно-исследовательский институт молекулярной электроники", 124460, Россия, Москва, Зеленоград, 1-й Западный проезд, д. 12/1, e-mail: gkrasnikov@mikron.ru;

Горнев Евгений Сергеевич, доктор технических наук, профессор, Акционерное Общество "Научно-исследовательский институт молекулярной электроники", 124460, г. Москва, Зеленоград, 1-й Западный проезд, д. 12, стр. 1, e-mail: egornev@mikron.ru

Рошин Владимир Михайлович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники", 124498, Москва, Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, e-mail: fhdek@miee.ru

### METHODS OF COMPACT LAYOUT DESIGN OF REGULAR FINFET STRUCTURES BASED ON THE TECHNOLOGY OF CUTTING LAYERS

This article is devoted to the design of regular FinFET structures based on the technology of cutting layers, and software implementation of the algorithm for selecting the most compact of them. As a result, to determine the number of regular FinFET layout variants based on the technology of cutting layers we derive a formula relation and develop an algorithm of SP-NM graphs construction for selecting the most compact variants of the regular FinFET structures layout. The proposed approach provides the most compact variants of digital circuit layout based on FinFET transistors.

**Keywords:** complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS), very large-scale integrated circuit (VLSI), Fin Field Effect Transistor (FinFET), logical synthesis, physical synthesis, serial-parallel directed acyclic graph (SP-DAG)

#### Data of authors:

Gavrilov Sergey Vitalievich, doctor of engineering, professor; head of department, Institute for design problems in microelectronics of Russian Academy of Science, department of CAD, 3, Sovetskaya Street, Moscow, Zelenograd, 124365, Russian Federation; e-mail: sergey\_g@ippm.ru

Kareva Elena Sergeevna, Master of the National Research University of Electronic Technology; department of integrated circuits design, Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, e-mail: kareva\_e@ippm.ru

Ryzhova Daria Igorevna candidate of engineering, research scientist, Institute for design problems in microelectronics of Russian Academy of Science, department of CAD, 3, Sovetskaya Street, Moscow, Zelenograd, 124365, Russian Federation; e-mail: ryzhova\_d@ippm.ru

### ELECTROCHEMICAL PROCESSES FOR TECHNOLOGY OF MATRIX STRUCTURE OF CONTACT PINS OF MICROASSEMBLIES

In the article technologies of formation of matrix structure of contact pins for mounting of crystals of integrated circuits are considered. Researches of codeposition and layer-by-layer electrochemical deposition of tin-silver contact structures for high-density mounting of integrated circuit crystals with a pitch of the pins 150 μm are conducted.

**Keywords:** electrochemical deposition, contact pins, flip-chip mounting

#### Data of authors:

Krasnikov Gennady Yakovlevich, academician of Russian Academy of Sciences, doctor of Engineering Sciences, Full Professor, "Molecular Electronic Research Institute" Stock Company, d. 12/1, 1st Zapadny proezd Zelenograd, Moscow, Russia, 124460, e-mail: gkrasnikov@mikron.ru

Gornev Evgeniy Sergeevich, doctor of Engineering Sciences, Full Professor, "Molecular Electronic Research Institute" Stock Company, 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 1st Zapadny proezd, d. 12/1, e-mail: egornev@mikron.ru

Roshchin Vladimir Mikhaylovich, doctor of Engineering Sciences, Full Professor, "National Research University of Electronic Technology", Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498, e-mail: fhdek@miee.ru

Yakovlev Viktor Borisovich, Professor of Russian Academy of Sciences, Doctor of PhysicoMathematical Sciences, Professor of "Higher mathematics No. 2" MIET, "National Research University of Electronic Technology", Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498, e-mail: yakovlev@miee.ru

Petukhov Ivan Nikolaevich, senior lecturer, "National Research University of Electronic Technology", Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498, e-mail: OFH.MIET@yandex.ru

Яковлев Виктор Борисович, профессор Российской академии наук, доктор физико-математических наук, профессор кафедры "Высшая математика № 2" МИЭТ, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники", 124498, Москва, Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, e-mail: yakovlev@miee.ru

Петухов Иван Николаевич, старший преподаватель, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники", 124498, Москва, Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, e-mail: OFH.MIET@yandex.ru

### МЕТОД АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО АНАЛИЗА ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОСТРУКТУР

В работе описан принцип работы нового метода атомно-силовой микроскопии для одновременного картирования рельефа поверхности, направления поляризации и количественных механических свойств с нанометровым пространственным разрешением в условиях изменения температуры образца. Метод интегрирован в новый серийно выпускаемый атомно-силовой микроскоп для 200 мм образцов и апробирован на примере измерения молекулярного кристалла в момент фазового перехода второго рода.

**Ключевые слова:** сегнетоэлектрические кристаллы, модуль Юнга, атомно-силовая микроскопия, фазовый переход

#### Сведения об авторах:

Калинин Арсений Сергеевич, Общество с ограниченной ответственностью "НТ-МДТ", Россия, 124460, г. Москва, Зеленоград, проезд № 4922, дом 4, строение 3; e-mail: akalinin@ntmdt-si.com

Атепалихин Валентин Валентинович, Общество с ограниченной ответственностью "НТ-МДТ", Россия, 124460, г. Москва, Зеленоград, проезд № 4922, дом 4, строение 3; e-mail: val@ntmdt-si.com

Поляков Вячеслав Викторович, кандидат технических наук, Общество с ограниченной ответственностью "НТ-МДТ", Россия, 124460, г. Москва, Зеленоград, проезд № 4922, дом 4, строение 3; e-mail: polyakov@ntmdt-si.com

Быков Виктор Александрович, доктор технических наук, Общество с ограниченной ответственностью "НТ-МДТ", Россия, 124460, г. Москва, Зеленоград, проезд № 4922, дом 4, строение 3; e-mail: vbykov@ntmdt-si.com

### МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО НЕЙРОНА И ЕГО АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПЛИС

Предложена модель адаптивного нейрона, объединяющая концепции клеточного автомата и нейронной сети. Указаны родственные решения: нейрон, комбинированный нейрон. Рассмотрен пример адаптивного нейрона, функциональное описание которого учитывает ограничения его структурно-логической реализации на ПЛИС. Детали такой аппаратной реализации также приводятся.

**Ключевые слова:** модель нейрона, нейронные сети, клеточные автоматы, ПЛИС

#### Сведения об авторах:

Матюшкин Игорь Валерьевич, кандидат физико-математических наук; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники", 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, д. 1; Акционерное общество "Научно-исследовательский институт молекулярной электроники", 124460, Россия, Москва, Зеленоград, 1-й Западный проезд, д. 12/1; e-mail: imatushkin@mikron.ru;

Соловьев Роман Александрович, кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем проектирования в микроэлектронике Российской академии наук, 124365 Москва, Зеленоград, ул. Советская, дом 3; e-mail: turbo@iprm.ru

### ATOMIC FORCE MICROSCOPY MODE FOR NONDESTRUCTIVE STUDY OF TEMPERATURE DYNAMICS OF NANOSTRUCTURES ELECTROMECHANICAL PROPERTIES

We present the development of novel atomic force microscopy mode for simultaneous mapping of topography, polarization direction and quantitative electromechanical properties with nanometer-level spatial resolution under variable temperature. The developed mode was implemented to commercially available atomic force microscope for 200 mm samples and applied for molecular crystal study at second-order phase translation.

**Keywords:** ferroelectric crystals, Young's modulus, atomic force microscopy, phase translation

#### Data of authors:

Kalinin Arseniy Sergeevich, NT-MDT Spectrum Instruments, proezd 4922, 4/3 Zelenograd, Moscow 124460, Russia, e-mail: akalinin@ntmdt-si.com

Atepalikhin Valentin Valentinovich, NT-MDT Spectrum Instruments, proezd 4922, 4/3 Zelenograd, Moscow 124460, Russia, e-mail: val@ntmdt-si.com

Polyakov Vyacheslav Viktorovich, candidate of technical Sciences, NT-MDT Spectrum Instruments, proezd 4922, 4/3 Zelenograd, Moscow 124460, Russia, e-mail: polyakov@ntmdt-si.com

Bykov Viktor Aleksandrovich, doctor of technical Sciences, NT-MDT Spectrum Instruments, proezd 4922, 4/3 Zelenograd, Moscow 124460, Russia, e-mail: vbykov@ntmdt-si.com

### A MODEL OF ADAPTIVE NEURON AND ITS HARDWARE IMPLEMENTATION ON FPGA

The proposed here adaptive neuron model combines the concepts of cellular automaton and neural networks. Related solutions are shown: the neuron, the combined neuron. An example of the adaptive neuron is considered that functional description takes into account the restrictions of its structural, logical implementation on FPGA. The details of this hardware implementation are also given.

**Keywords:** model of neuron, artificial neural networks, cellular automata, FPGA

#### Data of authors:

Matushkin Igor Valerevich, candidate of Physico-Mathematical Sciences, "National Research University of Electronic Technology", Bld. 1, Shokin Square, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498, "Molecular Electronic Research Institute" Stock Company, 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 1st Zapadny proezd, d. 12/1, e-mail: imatushkin@mikron.ru;

Solov'yev Roman Aleksandrovich, candidate of technical Sciences, Institute for Design Problems in Microelectronics of Russian Academy of Sciences, 3, Sovetskaya Street, Moscow 124365, Russian Federation; e-mail: turbo@iprm.ru