



# **ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА**

## **СЕРИЯ 3 МИКРОЭЛЕКТРОНИКА**

Научно-технический журнал

Выпуск 4(184) 2021

---

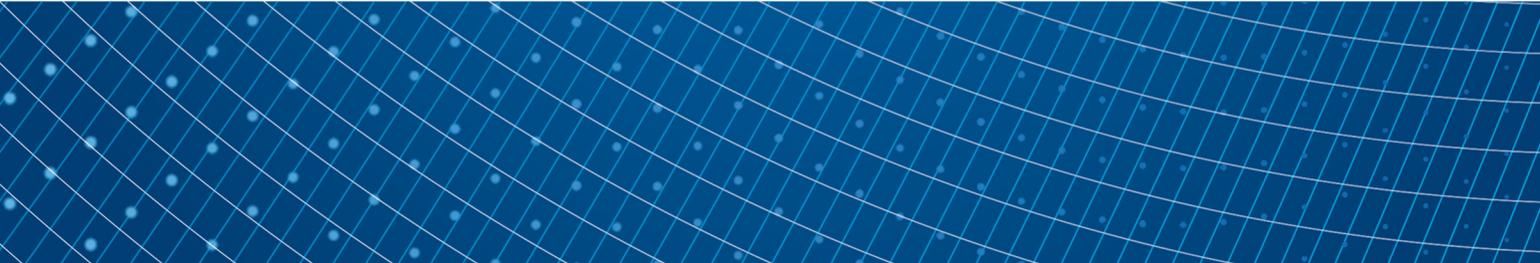
# **ELECTRONIC ENGINEERING**

## **SERIES 3 MICROELECTRONICS**

Scientific & Technical Journal

Выпуск 4(184) 2021

Москва, 2021



**«ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА.****Серия 3.****МИКРОЭЛЕКТРОНИКА»****Редакционный совет****Главный редактор****Красников Геннадий Яковлевич,**  
д. т. н., академик РАН**Члены редакционного совета****Асеев Александр Леонидович,**

д. ф.-м. н., академик РАН

**Vaklanov M. R., Dr. Sc.****Бетелин Владимир Борисович,**

д. ф.-м. н., академик РАН

**Бокарев Валерий Павлович,**

ответственный секретарь, д. т. н.

**Бугаев Александр Степанович,**

д. ф.-м. н., академик РАН

**Быков Виктор Александрович,**

д. т. н.

**Галиев Галиб Бариевич,** д. ф.-м. н.**Горбачевич Александр Алексеевич,**

д. ф.-м. н., академик РАН

**Горнев Евгений Сергеевич,**

зам. главного редактора,

д. т. н., член-корреспондент РАН

**Грибов Борис Георгиевич,** д. х. н.,

член-корреспондент РАН

**Зайцев Николай Алексеевич,**

д. т. н.

**Ким Александр Кирилович,** к. т. н.**Критенко Михаил Иванович,** к. т. н.**Маев Roman Gr., Dr. Sc.****Петричкович Ярослав Ярославович,**

д. т. н.

**Сигов Александр Сергеевич,**

д. ф.-м. н., академик РАН

**Стемпковский Александр****Леонидович,** д. т. н., академик РАН**Чаплыгин Юрий Александрович,**

д. т. н., академик РАН

**Шелепин Николай Алексеевич,**

зам. главного редактора, д. т. н.

**Эннс Виктор Иванович,** к. т. н.**Адрес редакции**✉ Россия, 124460, Москва,  
Зеленоград, улица Академика  
Валиева, дом 6, 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»**Слово редактора** ..... 4**Разработка и конструирование****А.В. Попов, М.С. Темирбулатов, В.И. Эннс**Элементы памяти повышенной надежности для интегральных  
схем космического назначения ..... 6**Е.О. Белоусов, Д.В. Кочетков, А.К. Максимов,****К.М. Моленкамп, А.В. Эннс, В.И. Эннс**Комбинированный аналого-цифровой преобразователь  
расширенного счета для датчиков изображений ..... 16**А.С. Силаев, В.В. Полевиков, Д.П. Шомахмадов,****С.А. Степанов**Современный подход проектирования интегральных микросхем  
высоковольтных источников питания ..... 26**П.А. Паташев, Е.О. Белоусов, Д.В. Кочетков, К.М. Моленкамп,****А.В. Эннс, В.И. Эннс**Температурный датчик с аналоговым выходом, автокоррекцией  
и изменяемым температурным коэффициентом ..... 33**Процессы и технология****Т.А. Радзиевская, Н.Н. Иванов, С.А. Тарасов**Источники потерь оптического излучения и пути их сокращения  
в полимерных оптико-электронных шинах ..... 44**Tamara A. Radzievskaya, Nicolay N. Ivanov, Sergey A. Tarasov**Sources of optical losses and their reduction ways in polymer  
optoelectronic buses ..... 50**Свойства материалов****Г.Я. Красников, В.В. Makeev, П.Ш. Саттаров,****А.А. Степанов, О.М. Орлов**Исследование хранения информации в мемристоре на основе  
нитрида кремния ..... 55**G.Ya. Krasnikov, V.V. Makeev, P.Sh. Sattarov,****A.A. Stepanov, О.М. Orlov**Investigation of information storage in the memristor based  
on silicon nitride ..... 62**Н.А. Кузнецова, Н.В. Малимоненко, М.А. Билданов,****Д.А. Варламов, Б.Г. Грибов**Влияние катализатора термоотверждения в антиотражающем  
покрытии на профиль элементов фоторезиста ..... 69**Математическое моделирование****В.И. Эннс, С.В. Гаврилов, Р.Ж. Чочаев**Разработка математического аппарата для решения задачи  
автоматической настройки программных средств кластеризации  
и размещения пользовательских схем на ПЛИС ..... 72**Аннотации** ..... 80**Аннотации** ..... 80Журнал включен Всероссийской аттестационной комиссией (ВАК)  
в число изданий, рекомендованных для публикации статей  
соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук № 1969

**“ELECTRONIC ENGINEERING.  
Series 3.  
MICROELECTRONICS”**

**Editorial Council  
Chief Editor**

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

**The Members of Editorial Council**

**Aseev A. L.**, Sc. D.,

Full Member of the RAS

**Baklanov M. R.**, Sc. D.,

**Betelin V. B.**, Sc. D., Full

Member of the RAS

**Bokarev V. P.**, Sc. 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.,

Full Member of the RAS

**Gornev E. S.**, Sc. D.,

Corresponding Member

of the RAS, 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.

**Maev Roman Gr.**, 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 Yu. A.**, Sc. D.,

Full Member of the RAS

**Shelepin N. A.**, Sc. D.,

Deputy Chief Editor

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

**Editorial Staff Address**

📍 6/1, Akademika Valieva street,  
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**

**Anton V. Popov, Marat S. Temirbulatov, Victor I. Enns**

High reliability memory elements for space integrated circuits ..... 6

**E.O. Belousov, D.V. Kochetkov, A.K. Maksimov,**

**K.M. Molenkamp, A.V. Enns, V.I. Enns**

Extended counting analog to digital converter for image sensors ..... 16

**A. Silaev, V. Polevikov, D. Shomahmadov, S. Stepanov**

Modern approach to the design of integrated circuits of high-voltage

power supplies ..... 26

**P.A. Patashev, E.O. Belousov, D.V. Kochetkov, K.M. Molenkamp,**

**A.V. Enns, V.I. Enns**

Temperature sensor with analogue output, auto correction and variable

temperature coefficient ..... 33

**Processes and Technology**

**Tamara A. Radzievskaya, Nicolay N. Ivanov, Sergey A. Tarasov**

Sources of optical losses and their reduction ways in polymer

optoelectronic buses ..... 44

**Properties of Materials**

**G.Ya. Krasnikov, V.V. Makeev, P.Sh. Sattarov,**

**A.A. Stepanov, O.M. Orlov**

Investigation of information storage in the memristor based

on silicon nitride ..... 55

**N.A. Kuznetsova, N.V. Malimonenko, M.A. Bildanov,**

**D.A. Varlamov, B.G. Gribov**

Effect of the curing catalyst in the antireflective coating on the profile

of the photoresist elements ..... 69

**Mathematical simulation**

**V.I. Enns, S.V. Gavrilov, R.Zh. Chochaev**

The development of mathematical apparatus for automatic FPGA

clustering and placement configuration for customer designs ..... 72

**Abstracts** ..... 80

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 (НАС)

## УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Перед вами очередной 184-й выпуск научно-технического издания «Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника».

Наш журнал придерживается политики отбора статей, обладающих новизной, актуальностью, ясной структурой, написанных с соблюдением требований научного стиля. В целях обеспечения качества публикаций статьи редактируются, проверяются на оригинальность текста.

В четвёртом номере журнала внимание читателей привлекут тематические материалы, опубликованные под рубриками: «Разработка и конструирование», «Процессы и технология», «Свойства материалов», «Математическое моделирование».

Выпуск журнала представлен восемью статьями, посвященными результатам актуальных научных исследований.

Номер открывается разделом «Разработка и конструирование», в котором представлены четыре оригинальных работы. В первой приведён сравнительный анализ различных модификаций триггеров по временным параметрам и числу транзисторов в схеме и определён триггер с наибольшей предельной частотой. Следующая работа посвящена разработке двухрежимного интегрального аналого-цифрового преобразователя для применения в составе датчика изображения. В третьей работе изложены принципы проектирования трехканального регулятора напряжения и методы повышения точности выходного напряжения. Последняя работа раздела посвящена разработке температурного датчика с аналоговым выходом и точностью измерения температуры 0,2 °С.

В следующем блоке «Процессы и технология» определены основные источники потерь на поглощение и рассеяние оптического излучения в полимерных планарных оптических волноводах оптико-электронной шины печатной платы и приведены способы сокращения этих потерь.

В следующем разделе «Свойства материалов» авторами приведены результаты экспериментальных исследований зависимостей ВАХ тестовых мемри-



сторных структур на основе нитрида кремния при разных температурах и оценка времени хранения информации. Во второй работе раздела исследовано влияние концентрации в антиотражающем покрытии кислотного (п-толуолсульфокислота) и нейтрального (триэтиламмониевая соль додецилбензолсульфокислоты) катализаторов шивки полимерного связующего на профиль элементов фоторезиста.

В заключительном разделе «Математическое моделирование» для проектирования эффективных методов и алгоритмов настройки САПР авторами была разработана теоретико-множественная математическая модель иерархического проекта, определены ключевые параметры базового кристалла, влияющие на полноту и эффективность реализаций пользовательских схем в ПЛИС, формализованы задачи кластеризации и размещения с применением теории графов, математической логики и теории множеств.

Приглашаем всех заинтересованных специалистов к публикации актуальных материалов в нашем журнале!

С уважением,  
главный редактор журнала,  
академик РАН,

Г.Я. Красников

### ЭЛЕМЕНТЫ ПАМЯТИ ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ ДЛЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В статье представлены разные реализации триггеров и их сравнительный анализ по временным параметрам и числу транзисторов в схеме; определена реализация триггера с наибольшей предельной частотой. Данная реализация схемы пригодна для разработки библиотеки элементов с высокой устойчивостью к сбоям, вызванному воздействием тяжелых заряженных частиц на интегральную схему в космосе. Рассмотрено поведение DICE защелки при воздействии на нее тяжелой заряженной частицы. Даны указания по выявлению сбоев в защелке. Приведены практические результаты испытания DICE триггера на ускорителе частиц.

**Ключевые слова:** одиночный сбой, тяжелая заряженная частица (тзч), тройное модульное резервирование (tmr), dice, bus holder.

#### Сведения об авторах:

Попов Антон Вадимович, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», Россия, 124460, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: anpopov@niime.ru

Темирбулатов Марат Салимович, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», Россия, 124460, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: mtemirbulatov@niime.ru

Эннс Виктор Иванович, кандидат технических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», Россия, 124460, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: venns@niime.ru

### КОМБИНИРОВАННЫЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ РАСШИРЕННОГО СЧЁТА ДЛЯ ДАТЧИКОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В статье представлена схема компактного двухрежимного интегрального аналого-цифрового преобразователя для применения в составе датчика изображения. Преобразователь спроектирован по технологии КМДП 180 нм и предназначен для обработки аналогового сигнала со столбца пикселей матрицы датчика; размеры АЦП на кристалле составляют 250 мкм × 12 мкм, потребляемая мощность равна 198 мкВт при напряжении питания 3,3 В. Преобразователь работает последовательно в режиме счётчика и алгоритмическом режиме, выходной код формируется при помощи новой схемы цифровой коррекции.

**Ключевые слова:** КМДП-технология, аналого-цифровые преобразователи, цифровая коррекция кода.

#### Сведения об авторах:

Белусов Егор Олегович, кандидат технических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, д. 6, стр. 1; e-mail: ebelousov@niime.ru

Кочетков Дмитрий Валерьевич, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»; 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, д. 6, стр. 1; e-mail: dkochetkov@niime.ru

Максимов Александр Константинович, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»; 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, д. 6, стр. 1; e-mail: amaksimov@niime.ru

Моленкамп Ксения Михайловна, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»; 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, д. 6, стр. 1; e-mail: kmolenkamp@niime.ru

Эннс Александр Викторович, кандидат технических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, д. 6, стр. 1; e-mail: aenns@niime.ru

Эннс Виктор Иванович, кандидат технических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, д. 6, стр. 1; e-mail: venns@niime.ru

### HIGH RELIABILITY MEMORY ELEMENTS FOR SPACE INTEGRATED CIRCUITS

The article presents different implementations of flip-flops and their comparative analysis in terms of time parameters and the number of transistors in the circuit; the implementation of the flip-flop with the highest limiting frequency is determined. This implementation of the circuit is suitable for the development of a library of elements with high tolerance to failures caused by the influence of heavy ions on an integrated circuit in space. The behavior of the DICE latch under the influence of heavy ions is considered. Instructions for detecting latch failures are provided. The practical results of testing the DICE flip-flop on a particle accelerator are presented.

**Keywords:** soft error, heavy ions, triple modular redundancy (tmr), dice, bus holder.

#### Data of authors:

Popov Anton Vadimovich, "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company, 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, Russia, e-mail: anpopov@niime.ru

Temirbulatov Marat Salimovich, "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company, 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, Russia, e-mail: mtemirbulatov@niime.ru

Enns Victor Ivanovich, Candidate of Science Engineering (Ph.D. in Technology), "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company, 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, Russia, e-mail: venns@niime.ru

### EXTENDED COUNTING ANALOG TO DIGITAL CONVERTER FOR IMAGE SENSORS

The article presents a compact dual-mode integrated analog-to-digital converter for use as part of an image sensor. The converter is designed in 180 nm CMOS-technology and is intended for processing an analog signal from a column of pixels of the sensor matrix; the dimensions of the on-chip ADC are 250 μm × 12 μm, the power consumption is 198 μW at a supply voltage of 3.3 V. The converter operates sequentially in counter and algorithmic modes, the output code is generated using a new digital correction circuit.

**Keywords:** CMOS-technology, analog to digital converters, ADC with digital correction.

#### Data of authors:

Belousov Egor Olegovich, Candidate of Engineering Sciences; "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company; 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1 Akademika Valieva street, e-mail: ebelousov@niime.ru

Kochetkov Dmitry Valeryevich; "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company; 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1 Akademika Valieva street, e-mail: dkochetkov@niime.ru

Maksimov Aleksandr Konstantinovich; "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company; 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1 Akademika Valieva street, e-mail: amaksimov@niime.ru

Molenkamp Ksenia Mikhailovna; "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company; 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1 Akademika Valieva street, e-mail: kmolenkamp@niime.ru

Enns Aleksandr Viktorovich, Candidate of Engineering Sciences; "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company; 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1 Akademika Valieva street, e-mail: aenns@niime.ru

Enns Viktor Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences; "Molecular Electronics Research Institute", Stock Company; 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1 Akademika Valieva street, e-mail: venns@niime.ru

### СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

В статье представлен современный подход и новые принципы проектирования интегральных микросхем высоковольтных источников питания. Приведен маршрут проектирования интегральной микросхемы с учетом нового вида анализа по обеспечению надежности микросхемы от саморазогрева.

**Ключевые слова:** интегральная микросхема, система питания, регулятор напряжения, электротермическое моделирование.

#### Сведения об авторах:

*Силаев Алексей Сергеевич, к.т.н., руководитель ДЦ СБИС АО «ЗНТЦ», 124527, г. Москва, г. Зеленоград, Солнечная аллея, д. 6, АО «ЗНТЦ», e-mail: silaev@zntc.ru*

*Полевиков Валерий Викторович, кандидат технических наук, ведущий инженер ДЦ проектирования СБИС АО «ЗНТЦ», 124527, г. Москва, г. Зеленоград, Солнечная аллея, д. 6, АО «ЗНТЦ», e-mail: polevikov@zntc.ru*

*Степанов Сергей Андреевич, магистр, инженер-конструктор дизайн центра СБИС АО «ЗНТЦ», 124527, г. Москва, г. Зеленоград, Солнечная аллея, д. 6, АО «ЗНТЦ», e-mail: stepanov@zntc.ru*

*Шомахмадов Далер Парвизович, магистр, инженер конструкторского бюро дизайн-центра проектирования СБИС АО «ЗНТЦ», 124527, г. Москва, Зеленоград, Солнечная аллея, д. 6, АО «ЗНТЦ», e-mail: shomahmadov@zntc.ru*

### ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ДАТЧИК С АНАЛОГОВЫМ ВЫХОДОМ, АВТОКОРРЕКЦИЕЙ И ИЗМЕНЯЕМЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ

В статье представлена разработка схемы температурного датчика с аналоговым выходом. Для повышения точностных показателей использованы схемы усилителей с автоматической коррекцией входного смещения, а также предложена новая схема калибровки токов в генераторе напряжений с линейным температурным коэффициентом. Устройство спроектировано по технологии КМОП 180 нм [1, 2]. Датчик формирует аналоговый сигнал с изменяемым температурным коэффициентом 0,517...7,308 мВ/°С. Температурный диапазон работы устройства –40...85 °С. Точность измерения температуры составляет 0,2 °С.

**Ключевые слова:** КМОП технология, температурные датчики, измерительные усилители.

#### Сведения об авторах:

*Паташев Павел Алексеевич, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: ppatashev@niime.ru*

*Белюсов Егор Олегович, кандидат технических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: ebelousov@niime.ru*

*Кочетков Дмитрий Валерьевич, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: dkochetkov@niime.ru*

*Моленкамп Ксения Михайловна, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: kmolenkamp@niime.ru*

*Эннс Александр Викторович, кандидат технических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: aenns@niime.ru*

*Эннс Виктор Иванович, кандидат технических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: venns@niime.ru*

### MODERN APPROACH TO THE DESIGN OF INTEGRATED CIRCUITS OF HIGH-VOLTAGE POWER SUPPLIES

The article presents a modern approach and new design principles for integrated circuits of high-voltage power supplies. The integrated circuit design route is given taking into account a new type of analysis to ensure the reliability of the chip from self-heating.

**Keywords:** integrated circuit, power supply system, voltage regulator, electrothermal modeling.

#### Data of authors:

*Silaev Alexey Sergeevich, PhD, Head of Design Center ICs. JSC ZNTC, Solnechnaya alley, 6, Zelenograd, Moscow, 124527, Russia, e-mail: silaev@zntc.ru*  
*Polevikov Valery Viktorovich, chief engineer of VLSI design center JSC «ZNTC», PhD, Solnechnaya alley, 6, Zelenograd, Moscow, 124527, Russia, e-mail: polevikov@zntc.ru*

*Stepanov Sergey Andreevich, Master of science, Zelenograd Nanotechnology Center, VLSI Design Centre, Design Engineer. Solnechnaya alley, 6, Zelenograd, Moscow, 124527, Russia, e-mail: stepanov@zntc.ru*

*Shomahmadov Daler Parvizovich, Master of Science, Design Engineer, JSC «Zelenograd nanotechnology center», Solnechnaya alley, 6, Zelenograd, Moscow, 124527, Russia, e-mail: shomahmadov@zntc.ru*

### TEMPERATURE SENSOR WITH ANALOGUE OUTPUT, AUTO CORRECTION AND VARIABLE TEMPERATURE COEFFICIENT

The article presents the development of a temperature sensor circuit with an analog output. To improve the accuracy, we used amplifier circuits with automatic correction of the input offset, and also proposed a new calibration scheme for currents in a voltage generator with a linear temperature coefficient. The device is designed using CMOS 180 nm technology [1, 2]. The sensor generates an analog signal with a variable temperature coefficient of 0,517...7,308 mV/°C. The temperature range of the device is –40...85 °C. Temperature measurement accuracy is 0,2 °C.

**Keywords:** CMOS technology, temperature sensors, instrumentation amplifiers.

#### Data of authors:

*Patashev Pavel Alekseevich, «Molecular Electronics Research Institute», Stock Company, 6/1 Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, e-mail: ppatashev@niime.ru*

*Belousov Egor Olegovich, Candidate of Engineering Science, «Molecular Electronics Research Institute», Stock Company, 6/1 Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, e-mail: ebelousov@niime.ru*

*Kochetkov Dmitriy Valeryevich, «Molecular Electronics Research Institute», Stock Company, 6/1 Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, e-mail: dkochetkov@niime.ru*

*Molenkamp Ksenia Mikhailovna, «Molecular Electronics Research Institute», Stock Company, 6/1 Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, e-mail: dkochetkov@niime.ru*

*Enns Aleksandr Viktorovich, Candidate of Engineering Science, «Molecular Electronics Research Institute», Stock Company, 6/1 Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, e-mail: aenns@niime.ru*

*Enns Viktor Ivanovich, Candidate of Engineering Science, «Molecular Electronics Research Institute», Stock Company, 6/1 Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, e-mail: venns@niime.ru*

### ИСТОЧНИКИ ПОТЕРЬ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ПУТИ ИХ СОКРАЩЕНИЯ В ПОЛИМЕРНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ШИНАХ

Определены основные источники потерь на поглощение и рассеяние оптического излучения в полимерных планарных оптических волноводах оптико-электронной шины печатной платы. Предложено фторирование полимерного материала оптических волнопроводов с целью снижения потерь на поглощение. Для сокращения потерь на рассеяние добавлены этапы создания подслоя мастер-штампа, а также дополнительной дегазации полимерной структуры оптических волнопроводов. С целью бездефектного извлечения оптических волнопроводов из мастер-штампа доработан процесс изготовления мастер-штампа с применением разработанного отсекающего УФ-светофильтра.

**Ключевые слова:** полимерный планарный оптический волновод, потери на поглощение и рассеяние оптического излучения, мастер-штамп мягкой литографии, дегазация полимера, отсекающий УФ-светофильтр.

#### Сведения об авторах:

*Радзиевская Тамара Александровна, открытое акционерное общество «Авангард», 195271, Россия, Санкт-Петербург, Кондратьевский пр-т., 72; Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 197376, Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5, e-mail: tamaramanelova239@mail.ru*

*Иванов Николай Николаевич, доктор технических наук;*

*Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича; 193232, Россия, Санкт-Петербург, пр. Большевиков д. 22, корп. 1, e-mail: ivanov.2nik@yandex.ru*

*Тарасов Сергей Анатольевич, доктор технических наук, директор департамента науки, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина), 197376, Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5, e-mail: satarasov@mail.ru*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В МЕМРИСТОРЕ НА ОСНОВЕ НИТРИДА КРЕМНИЯ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований зависимостей ВАХ тестовых мемристорных структур на основе нитрида кремния от времени хранения и электрических режимов. Определена ширина окна памяти, ее зависимость от температуры и напряжения чтения. Исследовано переключение тестовых структур в импульсном режиме при многократном циклировании. Исследованы ВАХ при различных температурах. Проведен расчет времени хранения состояния мемристорной структуры по модели Аррениуса.

**Ключевые слова:** мемристорная структура на основе нитрида, окно памяти, низкоомное состояние, высокоомное состояние, проводящий канал.

#### Сведения об авторах:

*Красников Геннадий Яковлевич, академик РАН, доктор технических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», Россия, 124460, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: gkrasnikov@niime.ru*

*Макеев Виктор Владимирович, кандидат технических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», Россия, 124460, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: vmakeev@niime.ru*

*Саттаров Павел Шамилевич, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», Россия, 124460, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: psattarov@niime.ru*

*Степанов Александр Антонович, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», Россия, 124460, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: alstepanov@niime.ru*

*Орлов Олег Михайлович, кандидат технических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», Россия, 124460, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1*

### SOURCES OF OPTICAL LOSSES AND THEIR REDUCTION WAYS IN POLYMER OPTOELECTRONIC BUSES

The main absorption and scattering losses sources in polymer planar optical waveguides of the optoelectronic bus are determined. The optical waveguides polymer material fluorination is proposed in order to reduce absorption losses. To reduce scattering losses, the fabrication stages of creating a hard mold sublayer, as well as additional degassing of the polymer optical waveguides structure, have been added. In order to perform defect-free extraction of optical waveguides from the hard mold, the hard mold fabrication process has been improved by using the developed cut-off UV-filter.

**Keywords:** polymer planar optical waveguide, absorption and scattering losses, soft lithography hard mold, polymer degassing, cut-off UV-filter.

#### Data of authors:

*Radziewskaya Tamara Alexandrovna, leading process engineer Join-Stock Company «Avangard», 195271, Russia, St. Petersburg, Kondratievskiy pr-t., 72; Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», 197376, Russia, Professora Popova st., 5, e-mail: tamaramanelova239@mail.ru*

*Ivanov Nikolay Nikolaevich, doctor of Technical Sciences, Deputy Director for research of The Institute of Magistracy, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications; 193232, Russia, St. Petersburg, Bolshevikov pr-t., 22/1, e-mail: ivanov.2nik@yandex.ru*

*Tarasov Sergey Anatolievich, Doctor of Technical Sciences, Director of the Science Department, head of Photonics department Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»; 197376, Russia, Professora Popova st., 5, e-mail: satarasov@mail.ru*

### INVESTIGATION OF INFORMATION STORAGE IN THE MEMRISTOR BASED ON SILICON NITRIDE

Experimental research of VAC test memristor structures based on SiN<sub>x</sub> on temperature, storage time, and electrical modes. The width of the memory window, its dependence on temperature and reading voltage is determined. Switching of test structures in the pulse mode with multiple cycling is investigated. The VAC was investigated at various temperatures. The storage time of the memristor structure state is calculated according to the Arrhenius model.

**Keywords:** nitride-based memristor structure, memory window, low-resistance state, high-resistance state, conductive layer.

#### Data of authors:

*Krasnikov Gennady Yakovlevich, Academician of RAS, Dsc, Stock Company «Molekular Electronics Research Institute», 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, Russia, e-mail: gkrasnikov@niime.ru*

*Makeev Viktor Vladimirovich, PhD, Stock Company «Molekular Electronics Research Institute», 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, Russia, e-mail: vmakeev@niime.ru*

*Sattarov Pavel Shamilevich, Stock Company «Molekular Electronics Research Institute», 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, Russia, e-mail: psattarov@niime.ru*

*Stepanov Aleksandr Antonovich, Stock Company «Molekular Electronics Research Institute», 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, Russia, e-mail: alstepanov@niime.ru*

*Orlov Oleg Mikhailovich, PhD, Stock Company «Molekular Electronics Research Institute», 6/1, Akademika Valieva street, Zelenograd, Moscow, 124460, Russia*

**Влияние катализатора термоотверждения в антиотражающем покрытии на профиль элементов фоторезиста**

Исследовано влияние концентрации в антиотражающем покрытии кислотного (p-толуолсульфокислота) и нейтрального (триэтиламмониевая соль додецилбензолсульфокислоты) катализаторов сшивки полимерного связующего на профиль элементов фоторезиста.

**Ключевые слова:** Антиотражающее покрытие, фоторезист, термогенератор кислоты.

**Сведения об авторах:**

Кузнецова Нина Александровна, доктор химических наук,

Научно-исследовательский институт полупродуктов и красителей, 141701, г. Долгопрудный Московской области, Лихачевский проезд, д. 7; e-mail: nina.kuznetsova@niopik.ru

Малимоненко Николай Владимирович, Научно-исследовательский институт полупродуктов и красителей, 141701, г. Долгопрудный Московской области, Лихачевский проезд, д. 7; e-mail: nikolaym@mail.ru

Билданов Марат Амирович, Акционерное общество «Микрон», 124460, г. Москва, г. Зеленоград, улица Академика Валиева, дом 6, стр. 1; e-mail: mbildanov@mikron.ru

Варламов Денис Александрович, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Москва, г. Зеленоград, улица Академика Валиева, дом 6, стр. 1; e-mail: dvarlamov@niime.ru

Грибов Борис Георгиевич, доктор химических наук, профессор, акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Москва, г. Зеленоград, улица Академика Валиева, дом 6, стр. 1

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ И РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ СХЕМ НА ПЛИС**

Стремление повысить эффективность реализации пользовательских проектов привело к появлению гетерогенных специализированных программируемых интегральных схем (ПЛИС) и реконфигурируемых систем на кристалле (СНК). Отличительной особенностью таких интегральных схем (ИС) является наличие в библиотеке базисных подсхем готовых сложно-функциональных блоков наряду со стандартными элементами. Проектирование подобных специализированных конфигурируемых гетерогенных ИС требует сменяемости конструкторских и технологических решений, что приводит к необходимости автоматической настройки программных средств размещения и кластеризации пользовательских схем. Для проектирования эффективных методов и алгоритмов настройки САПР была разработана теоретико-множественная математическая модель иерархического проекта, определены ключевые параметры базового кристалла, влияющие на полноту и эффективность реализаций пользовательских схем в ПЛИС, формализованы задачи кластеризации и размещения с применением теории графов, математической логики и теории множеств.

**Ключевые слова:** размещение, система автоматизированного проектирования, программируемая логическая интегральная схема, ПЛИС, теоретико-множественная модель.

**Сведения об авторах:**

Эннс Виктор Иванович, кандидат технических наук, Акционерное общество Научно-исследовательский институт молекулярной электроники, 124460, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Академика Валиева, д. 6/1; e-mail: venns@niime.ru

Гаврилов Сергей Витальевич, доктор технических наук, профессор, Институт проблем проектирования в микроэлектронике Российской академии наук, 124365, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Советская, д. 3; e-mail: s.g@iprm.ru

Чочаев Рустам Жамболатович, Институт проблем проектирования в микроэлектронике Российской академии наук, 124365, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Советская, д. 3; e-mail: chochaev\_r@iprm.ru

**EFFECT OF THE CURING CATALYST IN THE ANTIREFLECTIVE COATING on the profile of the photoresist elements**

The effect of the concentration in the antireflective coating of acid (p-toluene sulfonic acid) and neutral (triethylammonium salt of dodecylbenzene sulfonic acid) catalysts of polymer binder crosslinking on the profile of photoresist elements was investigated.

**Keywords:** Antireflective coating, photoresist, thermal acid generator.

**Data of authors:**

Kuznetsova Nina Aleksandrovna, Doctor of Chemical Sciences, Research institute of Organic Intermediates and Dyes, 7, Likhachevsky proezd, Moscow region, Dolgoprudny, 141701; e-mail: nina.kuznetsova@niopik.ru

Malimonenko Nikolay Vladimirovich, Research institute of Organic Intermediates and Dyes, 7, Likhachevsky proezd, Moscow region, Dolgoprudny, 141701; e-mail: nikolaym@mail.ru

Bildanov Marat Amirovich, Joint stock company «Mikron», Akademika Valieva street, 12/1, 124460, Zelenograd, Moscow, Russia; e-mail: mbildanov@mikron.ru

Varlamov Denis Alexandrovich, «Molecular Electronics Research Institute», Stock Company, Akademika Valieva street, 6/1, 124460, Zelenograd, Moscow, Russia; e-mail: dvarlamov@niime.ru

Gribov Boris Georgievich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, «Molecular Electronics Research Institute», Stock Company, Akademika Valieva street, 6/1, 124460, Zelenograd, Moscow, Russia

**THE DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL APPARATUS FOR AUTOMATIC FPGA CLUSTERING AND PLACEMENT CONFIGURATION FOR CUSTOMER DESIGNS**

The efforts to improve the efficiency of customer designs implementation have led to the development of specialized heterogeneous programmable integrated circuits (FPGAs) and systems-on-a-chip (SoCs). A unique feature of such integrated circuits (ICs) is that the standard cell library also contains ready-to-use IP cores. The design of specialized configurable heterogeneous ICs requires flexibility of design and technological solutions, and therefore also requires automatic configuration of CAD tools. In order to develop effective methods and algorithms of CAD configuration we develop a set-theoretical mathematical model of the hierarchical project, determine key parameters of the base FPGA chip, formalize clustering and placement problems, using the apparatus of graph theory, mathematical logic and set theory.

**Keywords:** placement, computer-aided design, Field-Programmable Gate Array (FPGA), set-theoretic model.

**Data of authors:**

Enns Victor Ivanovich, Candidate of technical science, «Molecular Electronics Research Institute», Stock Company, 6/1, Akademika Valiyeva Street, Moscow 124460, Russian Federation; e-mail: venns@niime.ru

Gavrilov Sergey Vitaliyevich, Doctor of technical science, professor, Institute for Design Problems in Microelectronics of Russian Academy of Sciences, 3, Sovetskaya Street, Moscow 124365, Russian Federation; e-mail: s.g@iprm.ru

Chochev Rustam Zhambolatovich, Institute for Design Problems in Microelectronics of Russian Academy of Sciences, 3, Sovetskaya Street, Moscow 124365, Russian Federation; e-mail: chochaev\_r@iprm.ru