

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

СЕРИЯ 3 МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Научно-технический журнал

Выпуск 4(192) 2023

ELECTRONIC ENGINEERING

SERIES 3 MICROELECTRONICS

Scientific & Technical Journal

Issue 4(192) 2023

Москва, 2023

«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

Baklanov 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

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

д. т. н.

Рощупкин Дмитрий Валентинович,

д. ф.-м. н., член-корреспондент РАН

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, д. 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

УчредительАО «Научно-исследовательский
институт молекулярной
электроники»**Слово редактора** 4**Разработка и конструирование****Е.О. Белоусов, Д.В. Кочетков, К.М. Моленкамп,****П.А. Паташев, А.В. Эннс**Быстродействующий полупараллельный аналого-цифровой
преобразователь с цифровой коррекцией 5**В.П. Крылов, В.Ш. Рахимов**Оценка статистической разрешающей способности средств
контроля электронной компонентной базы 13**V.P. Krylov, V.Sh. Rakhimov**Evaluation of statistical resolution of electronic component base
control means 20**В.В. Лосев, А.В. Кондратенко, П.С. Сорвачев, А.М. Кулиш**Проектирование МИС малощумящего усилителя X-диапазона
частот на основе технологического процесса 0,5 мкм
GaAs pHEMT 27**V.V. Losev, A.V. Kondratenko, P.S. Sorvachev, A.M. Kulish**Design of X-band MMIC low-noise amplifier in GaAs-based 0.5 um
pHEMT technology 36**Процессы и технология****Д.С. Шипицин, А.С. Надин, С.В. Милютин, В.Ю. Девятков**

Тестовая структура в слоях BEOL для проверки LPE в PDK 44

Свойства материалов**А.В. Тимаков, В.И. Шевяков**Исследование влияния примеси рения на механические свойства
тонких пленок вольфрама металлизации высокотемпературных
кремневых ИС 51**Математическое моделирование****А.С. Тишин**Отношение сигнал-шум как критерий определения уровня
информационной безопасности интегральных схем 55**Аннотации** 61

**“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.

Gorbatshevich A. A., Sc. D.,
Full Member of the RAS

Gornev E. S., Sc. D.,
Corresponding Member
of the RAS, Deputy Chief Editor

Kim A. K., Ph. D.

Kritenko M. I., Ph. D.

Maev Roman Gr., Sc. D.

Petrichkovich Ya. Ya., Sc. D.,

Roshchupkin D.V., Sc. D.

Corresponding Member of the RAS

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., Sc. 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

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

High speed semiflash analog-to-digital converter with digital
correction 5

V.P. Krylov, V.Sh. Rakhimov

Evaluation of statistical resolution of electronic component base
control means 13, 20

V.V. Losev, A.V. Kondratenko, P.S. Sorvachev, A.M. Kulish

Design of X-band MMIC low-noise amplifier in GaAs-based 0.5 um
pHEMT technology 27, 36

Processes and technology

D.S. Shipitsin, A.S. Nadin, S.V. Milyutin, V.Y. Devyatkov

Test structure in BEOL layers for checking LPE in PDF 44

Properties of materials

A.V. Timakov, V.I. Shevyakov

Investigation of the rhenium impurity influence on the mechanical
properties of thin tungsten films metallization of high-temperature
silicon ICS 51

Mathematical simulation

A.S. Tishin

Signal-to-noise ratio as ICS information security level criteria 55

Abstracts 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 № 2906 by the Higher attestation
Commission (НАС)

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Перед вами очередной 192-й выпуск научно-технического издания «Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника».

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

Выпуск журнала представлен шестью оригинальными статьями, посвященными результатам актуальных научных исследований.

Номер открывается разделом «Разработка и конструирование», в первой статье которого представлена схема двухступенчатого быстродействующего интегрального аналого-цифрового преобразователя, выполненного по полупараллельной архитектуре с временным перемежением. Во второй работе предлагаются расчетные соотношения и методика экспресс-оценки статистической разрешающей способности средств контроля электронной компонентной базы, приведены результаты экспериментальной апробации методики. В заключительной статье данного блока представлен процесс проектирования монолитной интегральной схемы (МИС) МШУ X-диапазона частот (8–12 ГГц).

В следующем разделе «Процессы и технология» приводится описание метода проверки LPE (Layout Parasitic Extraction) в слоях BEOL (Back End Of Line) при разработке технологических файлов PDK (Process Design Kit) с помощью специальной тестовой эмуляционной структуры межсоединений.

Раздел «Свойства материалов» представлен статьей, которая посвящена исследованию влияния



примеси рения на механические и проводящие свойства тонких пленок вольфрама, получены результаты исследования адгезивных свойств пленок, проведено исследование уровня механических напряжений, получены пленки, соответствующие требованиям отраслевых стандартов.

В заключительном блоке «Математическое моделирование» приведена методика косвенной оценки уровня информационной безопасности аппаратной реализации криптографического алгоритма через отношение сигнал-шум зафиксированной утечки по побочным каналам.

Приглашаем всех заинтересованных читателей к сотрудничеству!

*С уважением,
главный редактор журнала,
академик РАН*

Г.Я. Красников

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ПОЛУПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ЦИФРОВОЙ КОРРЕКЦИЕЙ

В статье представлена схема двухступенчатого быстродействующего интегрального аналого-цифрового преобразователя, выполненного по полупараллельной архитектуре с временным перемежением. Предложенный АЦП состоит всего из 34 компараторов, что позволяет значительно уменьшить потребляемую мощность по сравнению с обычным параллельным АЦП. В ходе двухступенчатого преобразования применяется метод цифровой коррекции с избыточностью для устранения пропусков кода на границах диапазонов преобразований. Преобразователь спроектирован по технологии КНИ 180 нм, потребляемая мощность составляет 267,3 мВт при напряжении питания 3,3 В, эффективная разрядность составляет 7,7 бит при частоте выборки 250 МГц.

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

Сведения об авторах:

Белюсов Егор Олегович, кандидат технических наук;

АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»; 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: ebelousov@niime.ru

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

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

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

Эннс Александр Викторович, кандидат технических наук;

АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»; 124460, Россия, Москва, Зеленоград, улица Академика Валиева, 6/1, e-mail: aenns@niime.ru

ОЦЕНКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

Предлагаются расчетные соотношения и методика экспресс-оценки статистической разрешающей способности средств контроля электронной компонентной базы. Методика позволяет оперативно оценить возможности методов штатного и дополнительного контроля электронных компонентов в условиях технологического разброса параметров с помощью измерительных и неизмерительных средств. Приведены результаты экспериментальной апробации методики.

Ключевые слова: электронная компонентная база, контроль, статистическая разрешающая способность.

Сведения об авторах:

Крылов Владимир Павлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Электроника, приборостроение и биотехнические системы», Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (ВлГУ), пр. Строителей, 3/7, Владимир, Владимирская обл., 600014, e-mail: krylov_vp@mail.ru

Рахимов Владислав Шамсудинович, аспирант, Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, пр. Строителей, 3/7, Владимир, Владимирская обл., 600014, e-mail: spartak6233@yandex.ru

HIGH SPEED SEMIFLASH ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER WITH DIGITAL CORRECTION

The article presents a two-stage high-speed integrated analog-to-digital converter based on semiflash architecture with time interleaving. The proposed ADC consists of only 34 comparators, which can significantly reduce power consumption compared to a conventional flash ADC. The two-stage conversion uses digital redundancy correction to eliminate code gaps at the edges of the conversion ranges. The converter is designed using 180 nm SOI technology, the power consumption is 267,3 mW at supply voltage of 3,3 V, the effective bit number is 7,7 bits at sampling frequency of 250 MHz.

Keywords: CMOS SOI 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 Dmitriy Valeryevich; «Molecular Electronics Research Institute», Stock Company; 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1 Akademika Valieva street, e-mail: dkochetkov@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

Patashv Pavel Alekseevich; «Molecular Electronics Research Institute», Stock Company; 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1 Akademika Valieva street, e-mail: ppatashev@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

EVALUATION OF STATISTICAL RESOLUTION OF ELECTRONIC COMPONENT BASE CONTROL MEANS

Calculation ratios and a method for rapid assessment of the statistical resolution of the means of control of the electronic component base are proposed. The technique allows you to quickly evaluate the capabilities of methods for regular and additional control of electronic components in terms of technological spread of parameters using measuring and non-measuring tools. The results of experimental approbation of the method are presented.

Keywords: electronic component base, control, statistical resolution.

Data of authors:

Krylov Vladimir Pavlovich; PhD, professor; Department of «Electronics, Instrumentation and Biotechnical Systems», Vladimir State University, Stroiteley Ave, 3/7, Vladimir, Vladimir Oblast, 600014; e-mail: krylov_vp@mail.ru

Rakhimov Vladislav Shamsudinovich, PhD student, Vladimir State University, Stroiteley Ave, 3/7, Vladimir, Vladimir Oblast, 600014, e-mail: spartak6233@yandex.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИС МАЛОШУМЯЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ X-ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА 0,5 мкм GaAs pHEMT

Одним из важнейших функциональных узлов приемного тракта в составе приемопередающей аппаратуры является малошумящий усилитель (МШУ). В данной работе представлен процесс проектирования монолитной интегральной схемы (МИС) МШУ X-диапазона частот (8...12 ГГц). Проектирование выполнено с использованием библиотеки стандартных элементов GaAs технологического процесса pHEMT05D АО «Светлана-Рост», активными элементами в котором являются нормально открытые псевдоморфные транзисторы с высокой подвижностью электронов с длиной затвора 0,5 мкм.

Ключевые слова: GaAs, pHEMT, малошумящий усилитель, СВЧ монолитная интегральная схема.

Сведения об авторах:

Лосев Владимир Вячеславович, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники"», 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, e-mail: dsd@miee.ru

Кондратенко Алексей Владимирович; Руководитель обособленного подразделения, Акционерное общество «Микроволновые системы», 105122, г. Москва, ш. Щёлковское, д. 5, стр. 1, e-mail: avk@mwsystems.ru

Сорвачев Павел Сергеевич, инженер 1 категории, Акционерное общество «Микроволновые системы», 105122, г. Москва, ш. Щёлковское, д. 5, стр. 1, e-mail: sps@mwsystems.ru

Кулиш Артем Максимович, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники"», 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, инженер 2 категории, Акционерное общество «Микроволновые системы», 105122, г. Москва, ш. Щёлковское, д. 5, стр. 1, e-mail: artem111mass@gmail.com

DESIGN OF X-BAND MMIC LOW-NOISE AMPLIFIER IN GaAs-BASED 0,5 um pHEMT TECHNOLOGY

One of the most important functional units of the receiving tract as part of the transceivers is a Low-Noise Amplifier (LNA). This paper presents the design process of a X-band (8...12 GHz) Microwave Monolithic Integrated Circuit (MMIC) LNA. The design was carried out using the Process Design Kit of the GaAs-based pHEMT05D technological process of JSC «Svetlana-Rost». The active nonlinear elements in this technological process are depletion mode pseudomorphic high electron mobility transistors with a 0,5-microns gate length.

Keywords: GaAs, pHEMT, low-noise amplifier, Microwave Monolithic Integrated Circuit.

Data of authors:

Losev Vladimir Vyacheslavovich; Professor of the NRU MIET (124498, Moscow, Zelenograd, Shokin Square, 1), e-mail: dsd@miee.ru

Kondratenko Aleksey Vladimirovich, Head of a National Research University of Electronic Technology – MIET, 105122, Moscow, Shchelkovskoe hwy., apt. 5, bldg. 1, e-mail: avk@mwsystems.ru

Sorvachev Pavel Sergeevich, Joint-Stock Company «Microwave Systems», 105122, Moscow, Shchelkovskoe hwy., apt. 5, bldg. 1, e-mail: sps@mwsystems.ru

Kulich Artyom Maksimovich, National Research University «Moscow Institute of Electronic Technology», 124498, Moscow, Zelenograd, Shokina Square, 1, second category engineer of, Joint-Stock Company «Microwave Systems», 105122, Moscow, Shchelkovskoe hwy., apt. 5, bldg. 1, e-mail: artem111mass@gmail.com

ТЕСТОВАЯ СТРУКТУРА В СЛОЯХ BEOL ДЛЯ ПРОВЕРКИ LPE В PDK

В статье приводится описание метода проверки LPE (Layout Parasitic Extraction) в слоях BEOL (Back End Of Line) при разработке технологических файлов PDK (Process Design Kit) с помощью специальной тестовой эмуляционной структуры межсоединений.

Ключевые слова: электрофизические параметры, LPE, BEOL, PDK, СБИС, RC.

Сведения об авторах:

Девятков Владимир Юрьевич, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Москва, г. Зеленоград, улица Академика Валиева, дом 6, строение 1, e-mail: vdevaytkov@niime.ru

Милютин Сергей Владимирович, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Москва, г. Зеленоград, улица Академика Валиева, дом 6, строение 1, e-mail: smilyutin@niime.ru

Надин Алексей Семенович, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Москва, г. Зеленоград, улица Академика Валиева, дом 6, строение 1, e-mail: anadin@niime.ru

Шипицин Дмитрий Святославович, кандидат физико-математических наук, АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, г. Москва, г. Зеленоград, улица Академика Валиева, дом 6, строение 1, e-mail: dshipitsin@niime.ru

TEST STRUCTURE IN BEOL LAYERS FOR CHECKING LPE IN PDK

The article describes the method of checking LPE (Layout Parasitic Extraction) in BEOL (Back End Of Line) layers when developing PDK (Process Design Kit) technology files using a special test emulation structure of interconnects.

Keywords: electronic component base, control, statistical resolution.

Data of authors:

Devaytkov Vladimir Yurievich, «Molecular Electronic Research Institute» Stock Company, 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1 Akademika Valieva street, e-mail: vdevaytkov@niime.ru

Rakhimov Vladislav Shamsudinovich, PhD student, Vladimir State University, Stroiteley Ave, 3/7, Vladimir, Vladimir Oblast, 600014, e-mail: spartak6233@yandex.ru

Milyutin Sergey Vladimirovich, «Molecular Electronic Research Institute» Stock Company, 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1 Akademika Valieva street, e-mail: smilyutin@niime.ru

Nadin Alexey Semenovich, «Molecular Electronic Research Institute» Stock Company, 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1 Akademika Valieva street, e-mail: anadin@niime.ru

Shipitsin Dmitry Svyatoslavovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, «Molecular Electronic Research Institute» Stock Company, 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, 6/1 Akademika Valieva street, e-mail: dshipitsin@niime.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕСИ РЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ВОЛЬФРАМА МЕТАЛЛИЗАЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КРЕМНЕВЫХ ИС

Данная работа посвящена исследованию влияния примеси рения на механические и проводящие свойства тонких пленок вольфрама. Получены результаты исследования адгезивных свойств пленок. Проведено исследование уровня механических напряжений, которое соответствует полученным теоретически данным. Измерено удельное сопротивление для пленок чистого вольфрама и пленок с легирующим рением 5, 10, 15 и 20%. Получены пленки, соответствующие требованиям отраслевых стандартов.

Ключевые слова: тонкая пленка, вольфрам, рений, механическое напряжение, рениевый эффект.

Сведения об авторах:

Шевяков Василий Иванович, доктор технических наук, профессор, Научный исследовательский институт Московский институт электронной техники, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, e-mail: t1001504@org.miet.ru

Тимаков Алексей Валерьевич, Научный исследовательский институт Московский институт электронной техники, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д. 1, e-mail: aletimakov@yandex.ru

ОТНОШЕНИЕ СИГНАЛ-ШУМ КАК КРИТЕРИЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

В работе описана методика косвенной оценки уровня информационной безопасности аппаратной реализации криптографического алгоритма через отношение сигнал-шум зафиксированной утечки по побочным каналам. Приведены формулы расчета теоретической оценки величины отношения сигнал-шум, а также алгоритм ее расчета из практически измеренных значений. Дана оценка практической значимости величины отношения сигнал-шум применительно к определению уровня информационной безопасности. Предложен алгоритм оценки распознаваемости переключения битов в раундах шифрования аппаратных реализаций блочных шифров типа AES, DES, 3DES.

Ключевые слова: Анализ побочных каналов, отношение сигнал-шум, информационная безопасность, криптография, AES, DES, 3DES.

Сведения об авторах:

Тишин Александр Сергеевич, кандидат технических наук, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», 124460, Россия, Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, 6/1; e-mail: atishin@niime.ru

INVESTIGATION OF THE RHENIUM IMPURITY INFLUENCE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THIN TUNGSTEN FILMS METALLIZATION OF HIGH-TEMPERATURE SILICON ICS

This work is devoted to the study of the rhenium admixture influence on the mechanical and conductive properties of tungsten thin films. The results of the adhesive properties of films study are obtained. A study of the mechanical stresses level has been carried out, which corresponds to the theoretically obtained data. The resistivity was measured for films of pure tungsten and films with alloying rhenium of 5, 10, 15 and 20%. Films that meet the requirements of industry standards have been obtained.

Keywords: thin film, tungsten, rhenium, mechanical stress, rhenium effect.

Data of authors:

Shevyakov Vasilii Ivanovich, D.Sc. (Technology), Professor, National Research University of Electronic Technology, 124498, Russia, Moscow, Zelenograd, Shokin sq., 1, e-mail: t1001504@org.miet.ru

Timakov Aleksei Valerievich, National Research University of Electronic Technology, 124498, Russia, Moscow, Zelenograd, Shokin sq., 1, e-mail: aletimakov@yandex.ru

SIGNAL-TO-NOISE RATIO IN THE INFORMATION SECURITY OF IC

The paper describes the methodology of indirect estimation of information security level of hardware implementation of cryptographic algorithm through the signal-to-noise ratio of recorded leakage through side channels. The formulas for calculating the theoretical estimation of the signal-to-noise ratio, as well as the algorithm for its calculation from practically measured values are given. The practical significance of the value in the context of information security is assessed. An algorithm for evaluating the bit switching recognizability in encryption rounds of block ciphers hardware implementations like AES, DES, 3DES is proposed.

Keywords: Side channel analysis, signal to noise ratio, information security, cryptography, AES, DES, 3DES.

Data of authors:

Tishin Alexander Sergeevich, PhD in Engineering sciences, «Molecular Electronic Research Institute» Stock Company, 124460, Russia, Moscow, Zelenograd, Academician Valieva str., 6/1, e-mail: atishin@niime.ru