

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

СЕРИЯ 1 СВЧ-ТЕХНИКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Выпуск 2(525)

2015

Издается с 1950 г.

Главный редактор

д.т.н. А.А. Борисов

Редакционная коллегия:

д.т.н. **Б.Н. Авдонин** (зам. главного редактора, ОАО ЦНИИ «Электроника»),
к.т.н. **С.А. Зайцев** (зам. главного редактора),
к.т.н. **С.В. Щербаков** (зам. главного редактора),
к.т.н. **В.И. Бейль**, **Ю.А. Будзинский**, к.ф.-м.н. **А.В. Галдецкий**,
Б.Ф. Горбик, **С.И. Гришин**, д.т.н. **А.Д. Закурдаев**, к.т.н. **Н.П. Зубков**,
д.т.н. **С.С. Зырин**, к.т.н. **В.И. Исюк** (ОАО «НИИПП»), к.т.н. **А.С. Котов**,
д.т.н. **В.П. Кудряшов** (ОАО «НПП «Алмаз»), д.т.н. **П.В. Куприянов**, к.т.н. **В.Г. Лапин**,
к.т.н. **В.В. Лисс**, д.т.н. **М.И. Лопин**, к.т.н. **Н.А. Лябин**, **В.М. Малышик**,
д.т.н., профессор **П.П. Мальцев** (ИСВЧ ПЭ РАН), к.т.н. **П.М. Мелешкевич**,
д.т.н., профессор **В.П. Мещанов** (ОАО «ЦНИИИА»),
к.т.н. **А.Г. Михальченков** (МКУ «Дирекция Наукограда» г. Фрязино),
д.т.н. **С.П. Морев** (ФГУП «НПП «Торий»), **О.А. Морозов** (ЗАО «НПП «Магратеп»),
к.т.н. **В.Ю. Мякинков**, д.ф.-м.н. **А.И. Панас** (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН),
д.ф.-м.н. **А.Б. Пашковский**, к.т.н. **С.А. Плешанов**, **Е.Н. Покровский**, к.т.н. **О.В. Поливникова**,
к.т.н. **А.В. Потапов**, д.т.н., профессор **Р.А. Силин**, д.т.н. **К.Г. Симонов**,
В.П. Стебунов (*ответственный секретарь*),
д.т.н. **М.М. Трифонов** (ЗАО «НПП «Исток-Система»),
д.т.н. **В.Н. Уласюк** (ОАО «НИИ «Платан»), д.т.н., профессор **Н.Д. Урсуляк**

Журнал зарегистрирован Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций (свидетельство ПИ № ФС 77-24651 от 6 июня 2006 г.) и включен в перечень ВАК (перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук)

© АО «НПП «Исток» им. Шокина», 2015 г.

ELEKTRONNAYA TEKHNIKA

(Electronic Engineering)

SERIES 1 SVCH-TEKHNIKA

(Microwave Engineering)

COLLECTION OF RESEARCH & TECHNICAL ARTICLES

Issue 2(525)

2015

Founded in 1950 г.

Editor-in-chief

D.T.Sc. **A.A. Borisov**

Editorial staff:

D.T.Sc. **B.N. Avdonin** (deputy editor-in-chief, JSC CSRI «Elektronika»),
C.T.Sc. **S.A. Zaitsev** (deputy editor-in-chief),
C.T.Sc. **S.V. Scherbakov** (deputy editor-in-chief),
C.T.Sc. **V.I. Beyl'**, **U.A. Budzinsky**, C.Ph.M.Sc. **A.V. Galdetsky**,
B.F. Gorbik, **S.I. Grishin**, D.T.Sc. **A.D. Zakurdaev**, C.T.Sc. **N.P. Zubkov**,
D.T.Sc. **S.S. Zyrin**, C.T.Sc. **V.I. Isyk** (JSC «RPISC»), C.T.Sc. **A.S. Kotov**,
D.T.Sc. **V.P. Kudryashov** (JSC «RPC «Almaz»), D.T.Sc. **P.V. Kupriyanov**,
C.T.Sc. **V.G. Lapin**, C.T.Sc. **V.V. Liss**, D.T.Sc. **M.I. Lopin**, C.T.Sc. **N.A. Lyabin**, **V.M. Malyschik**,
D.T.Sc., professor **P.P. Maltsev** (IMWF SE RASc), C.T.Sc. **P.M. Meleshkevich**,
D.T.Sc., professor **V.P. Meschanov** (JSC «TSNIIA»),
C.T.Sc. **A.G. Mikhailchenkov** (MBD «Directorate of the Science Town» Fryazino),
D.T.Sc. **S.P. Morev** (FSUE «RPC «Torij»), **O.A. Morozov** (JSC «RPC «Magratep»),
C.T.Sc. **V.U. Myakinkov**, D.Ph.M.Sc. **A.I. Panas** (IRE named after V.F. Kotelnikov RASc),
D.Ph.M.Sc. **A.B. Pashkovsky**, C.T.Sc. **S.A. Pleshanov**, **E.N. Pokrovsky**,
C.T.Sc. **O.V. Polivnikova**, C.T.Sc. **A.V. Potapov**, D.T.Sc., professor **R.A. Silin**,
D.T.Sc. **K.G. Simonov**, **V.P. Stebunov** (executive secretary),
D.T.Sc. **M.M. Trifonov** (JSC RPC «Istok-System»),
D.T.Sc. **V.N. Ulasyuk** (JSC «RPC «Platan»), D.T.Sc., professor **N.D. Ursulyak**

The journal is registered by the Ministry on mass media of the Russian Federation (certificate ПИ № ФС 77-24651 dated June 6, 2006) and included in HCC list (a list of the leading reviewed scientific journals and publications in which the main scientific results of the theses nominated for doctoral and candidate's theses are to be published).

© JOINT STOCK COMPANY «RESEARCH AND PRODUCTION CORPORATION «ISTOK» named after A.I. Shokin»

СОДЕРЖАНИЕ

Твердотельная электроника

- Темнов А.М., Дудинов К.В., Емельянов А.М., Городецкий А.Ю., Трофимов А.А., Епифанцев А.А., Киселева Е.В.* – Исследование мощных усилительных ГМИС X-диапазона длин волн на нитридгаллиевых транзисторах..... 4

Электроракуумные приборы

- Лопин М.И., Галдецкий А.В.* – Достоинства и недостатки многолучевых конструкций ЭВП О-типа 21
- Геворкян В.М., Перевезенцев С.А.* – Сверхширокополосные полосно-пропускающие фильтры L...C-диапазонов для трактов со средней мощностью до 100 Вт..... 30

Радиоэлектронные устройства

- Дроздов А.А.* – Модель СВЧ-локатора малой дальности и фиксированной дистанции..... 37

Катоды и материалы

- Ли И.П., Петров В.С., Прокофьева Т.В., Леденцова Н.Е., Шуманов А.В., Силаев А.Д., Поляков В.С., Капустин В.И., Свитов В.И.* – Структура электронных уровней кислородных вакансий в оксиде бария 45

Медицинская электроника

- Казаринов К.Д., Маречек С.В., Полников И.Г.* – Вопросы измерения поглощенной мощности микроволнового излучения в биофизическом эксперименте..... 59

Краткие сообщения

- Балыко А.К., Балыко И.А.* – Колебательное движение электрона в кулоновском поле. 71

CONTENTS

Solid-state electronics

- Temnov A.M., Dudinov K.V., Yemelyanov A.M., Gorodetsky A.U., Trofimov A.A., Yepifantsev A.A., Kiselyova E.V.* – The investigation of X wavelength range high-power amplifying HMICs on gallium nitride transistors..... 4

Electrovacuum devices

- Lopin M.I., Galdetsky A.V.* – Advantages and disadvantages of O-type multiple-beam electrovacuum devices..... 21
- Gevorkyan V.M., Perevesentsev S.A.* – $L...C$ -range super-wide band bandpass filters for waveguides with the average power up to 100 W..... 30

Cathode and materials

- Drozdov A.A.* – Short range and fixed distance microwave locator model..... 37

Subsystems

- Li I.P., Petrov V.S., Prokofyeva T.V., Ledentsova N.E., Shumanov A.V., Silayev A.D., Polyakov V.S., Kapustin V.I., Svitov V.I.* – The structure of electronic levels of oxygen vacancies in barium oxide 45

Medical electronics

- Kazarinov K.D., Marechek S.V., Polnikov I.G.* – The issues of measuring the absorbed power of microwave radiation in biophysical experiment News in brief..... 59

News in brief

- Balyko A.K., Balyko I.A.* – Electron oscillating motion in Coulomb field..... 71

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНЫХ УСИЛИТЕЛЬНЫХ ГМИС X-ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН НА НИТРИДГАЛЛИЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

А. М. Темнов, К. В. Дудинов, А. М. Емельянов,
А. Ю. Городецкий, А. А. Трофимов, А. А. Епифанцев, Е. В. Киселева

АО "НПП "Исток" им. Шокина", г. Фрязино

Часть 1

Проведено исследование однокаскадных и многокаскадных мощных усилительных ГМИС X-диапазона длин волн на нитридгаллиевых транзисторах типа TGF2023-1, TGF2023-2, TGF2023-5 фирмы TriQuint. Показано, что нитридгаллиевые полевые транзисторы на подложке из карбида кремния обеспечивают удельную выходную мощность, в 3-4 раза превышающую удельную выходную мощность арсенидгаллиевых транзисторов, при большем усилении, КПД и меньших размерах кристалла. При этом показано, что двухкаскадный усилитель с выходной мощностью более 12 Вт легко размещается в типовой конструкции ГМИС СВЧ. Анализ не завершен и будет продолжен в следующей статье.

КС: однокаскадные и многокаскадные мощные усилительные ГМИС, X-диапазон, нитридгаллиевый транзистор, арсенидгаллиевый транзистор

The investigation of X wavelength range single-stage and multistage high-power amplifying HMICs on gallium nitride transistors of TriQuint TGF2023-1, TGF2023-2, TGF2023-5 types has been conducted. It was shown that gallium nitride field-effect transistors on silicon carbide substrate provide specific output power 3-4 times increasing the specific output power of GaAs transistors at larger gain, efficiency and smaller chip dimensions. At that it was shown that a two-stage amplifier with an output power more than 12 W can be easily located in microwave HMIC standard construction. The analysis hasn't been completed and it will be continued in the next article.

Keywords: single-stage and multistage high-power amplifying HMICs, X-range, gallium nitride transistor, gallium arsenide transistor

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ МНОГОЛУЧЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭВП О-ТИПА

М. И. Лопин, А. В. Галдецкий

АО "НПП "Исток" им. Шокина", г. Фрязино

Сделан обзор развития многолучевых электровакуумных СВЧ-приборов. Рассмотрены преимущества и недостатки многолучевых клистронов, ЛБВ и клистродов. Показаны физические причины преимуществ многолучевых приборов по низковольтности, КПД, полосе частот, а также их недостатков (срок службы). Рассмотрены примеры реализации многолучевых конструкций ламп.

КС: многолучевой прибор, клистрон, ЛБВ, клистрод

A review of developing multiple-beam electrovacuum microwave devices has been made. The advantages and disadvantages of multiple-beam klystrons, TWTs and klystrodes are considered. Physical reasons of multiple-beam device advantages in low voltage, efficiency, frequency band are shown along with their disadvantages (service life). The examples of multiple-beam tube realization have been considered.

Keywords: multiple-beam device, klystron, TWT, klystrode

**СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЕ ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ
L...C-ДИАПАЗОНОВ
ДЛЯ ТРАКТОВ СО СРЕДНЕЙ МОЩНОСТЬЮ ДО 100 Вт**

В. М. Геворкян, С. А. Перевезенцев

МЭИ, г. Москва

Представлены результаты проектирования полосно-пропускающих фильтров с ширинами полос от трети до половины октавы рабочего диапазона частот для трактов с уровнем средней мощности до сотни ватт, обеспечивающих подавление паразитных полос пропускания на уровне 80 дБ при отстройках от центральной частоты f_0 полосы пропускания фильтра на 5...7 значений f_0 .

КС: сверхширокополосный фильтр, полосно-пропускающий фильтр, сверхширокая полоса заграждения, тракт с высоким уровнем средней мощности

The results of designing bandpass filters with pass widths from third to half of the octave of the operating frequency band for the circuits with up to 100 W average power level ensuring parasitic passband suppression at 80 dB level at bandpass filter offsets from the central frequency f_0 by 5...7 f_0 values have been presented.

Keywords: super wide-band filter, bandpass filter, superwide attenuation band, microwave circuit with high average power level

**МОДЕЛЬ СВЧ-ЛОКАТОРА МАЛОЙ ДАЛЬНОСТИ
И ФИКСИРОВАННОЙ ДИСТАНЦИИ**

А. А. Дроздов

ООО "СибИС", г. Новосибирск

Рассматривается функциональное построение макета СВЧ-локатора малой дальности и фиксированной дистанции. Приводятся результаты численного моделирования основных узлов макета.

КС: псевдошумовая случайная последовательность, корреляционная обработка, моделирование, задержка, СВЧ, несущая, приемник, передатчик, антенна

Functional building of a prototype of a short range and fixed distance microwave locator model is under consideration. The results of numerical simulation of the main prototype units are given.

Keywords: pseudonoise random sequence, correlation processing, simulation, delay, microwave, carrier, receiver, transmitter, antenna

СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОННЫХ УРОВНЕЙ КИСЛОРОДНЫХ ВАКАНСИЙ В ОКСИДЕ БАРИЯ

И. П. Ли, В. С. Петров, Т. В. Прокофьева,
Н. Е. Леденцова, А. В. Шуманов, А. Д. Силаев, В. С. Поляков

ОАО "Плутон", г. Москва

В. И. Капустин, В. И. Свитов

МГТУ МИРЭА

Приведена теоретическая модель влияния кислородных вакансий на величину работы выхода оксида бария. Учен характер влияния поверхностных кислородных вакансий на направление изгиба энергетических зон у поверхности оксида. Методом оптического поглощения экспериментально исследованы параметры электронной структуры кислородных вакансий в объеме оксида бария и некоторых композиций на его основе, определяющие величину "внутренней" работы выхода оксида бария. Впервые экспериментально установлено расщепление электронного уровня кислородных вакансий в оксиде бария, влияние ионного радиуса и валентности легирующих компонентов на величину расщепления электронного уровня и величину эффективного заряда кислородных вакансий в оксиде бария.

КС: термоэлектронная эмиссия, работа выхода, оксид бария, оксидный катод, металлопористый катод, кислородные вакансии, электронная структура, оптическое поглощение, донорные уровни, расщепление электронных уровней

A theoretical model of oxygen vacancies influence on barium oxide work function value has been presented. The pattern of surface oxygen vacancies influence on the bending of energy band direction near the oxide surface is taken into consideration. Optical absorption technique was used for experimental investigation of parameters of electronic structure of oxygen vacancies in the volume of barium oxide and some compositions on its basis defining the value of "internal" work function of barium oxide. For the first time electron level splitting of oxygen vacancies in barium oxide, the influence of ionic radius and valency of alloying components on the value of electronic level splitting and the value of effective charge of oxygen vacancies in barium oxide were experimentally established.

Keywords: thermionic emission, work function, barium oxide, oxide cathode, dispenser cathode, oxygen vacancies, electronic structure, optical absorption, donor level, electron level splitting

ВОПРОСЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОГЛОЩЕННОЙ МОЩНОСТИ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В БИОФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

К. Д. Казаринов, С. В. Маречек, И. Г. Полников

ФирЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино

Обсуждаются некоторые особенности измерения поглощенной мощности микроволнового излучения в биообъектах при проведении биофизического эксперимента на основе опыта собственных исследований и литературных данных.

КС: микроволновое излучение, удельная плотность поглощенной мощности, электроактивация клеток, введение наночастиц металлов, амплитудное детектирование поглощенной мощности, диэлектрические параметры поглощающей среды, радиовидение, скорость роста температуры биообъекта, согласование микроволнового тракта с биологическим объектом

Some peculiarities of measuring the absorbed power of microwave radiation in bioobjects while conducting biophysical experiment are being discussed on the basis of our own investigations and references.

Keywords: microwave radiation, specific density of absorbed power, electric activation of cells, introduction of metal nanoparticles, amplitude detection of absorbed power, dielectric parameters of absorbing medium, radio-wave imaging, growth rate of bioobject temperature, microwave path and biological object matching

КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНА В КУЛОНОВСКОМ ПОЛЕ

А. К. Балыко, И. А. Балыко

АО "НПП "Исток" им. Шокина", г. Фрязино

Получены уравнения колебательного движения электрона вдоль силовых линий кулоновского поля положительного ядра. Показано, что амплитуда и период колебаний подчиняются третьему закону Кеплера, описывающему вращательное движение электрона в планетарной модели атома. При квантовании этих колебаний получено выражение для энергии, совпадающее с таковым для планетарной модели. Показано, что комптоновская длина волны равна среднему геометрическому от амплитуды колебаний и классического радиуса электрона.

КС: планетарная модель атома, закон Кеплера, квантовая механика, колебательное движение

The equations for electron oscillating motion along force lines of positive kernel Coulomb field were obtained. It was shown that the amplitude and the period of oscillations are obeying to the third Kepler law describing the electron rotary motion in planetary atom model. At quantization of these oscillations an expression for energy coinciding with the one for the planetary model was obtained. It was shown that the Compton wavelength was equal to geometrical mean value of oscillation amplitude and electron classical radius.

Keywords: planetary atom model, Kepler law, quantum mechanics, oscillating motion