

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

СЕРИЯ 1 СВЧ-ТЕХНИКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Выпуск 2(533)

2017

Издается с 1950 г.

Главный редактор

д.т.н. **А.А. Борисов**

Редакционная коллегия:

к.т.н. **С.А. Зайцев** (*зам. главного редактора*),
к.т.н. **С.В. Щербаков** (*зам. главного редактора*),
Ю.А. Будзинский, к.ф.-м.н. **А.В. Галдецкий**,
Б.Ф. Горбик, д.т.н. **А.Д. Закурдаев**, к.т.н. **Н.П. Зубков**,
д.т.н. **С.С. Зырин**, к.т.н. **А.С. Котов**,
д.т.н. **П.В. Куприянов**, к.т.н. **В.Г. Лапин**,
д.т.н. **М.И. Лопин**, д.т.н. **Н.А. Лябин**, **В.М. Малыщик**,
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. Михальченко**,
д.т.н. **С.П. Морев** (ФГУП «НПП «Торий»), **О.А. Морозов** (ЗАО «НПП «Магратеп»),
к.т.н. **В.Ю. Мякиньюков**, д.ф.-м.н. **А.И. Панас**,
д.ф.-м.н. **А.Б. Пашковский**, к.ф.-м.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., 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.).

Решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации с 29 декабря 2015 г. научно-технический сборник «Электронная техника», серия 1 «СВЧ-техника», издаваемый АО «НПП «Исток» им. Шокина» с 1950 года, включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук».

© АО «НПП «Исток» им. Шокина», 2017 г.

ELEKTRONNAYA TEKHNIKA

(Electronic Engineering)

SERIES 1

SVCH-TEKHNIKA

(Microwave Engineering)

COLLECTION OF RESEARCH & TECHNICAL ARTICLES

Issue 2(533)

2017

Founded in 1950 г.

Editor-in-chief

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

Editorial staff:

C.T.Sc. **S.A. Zaitsev** (deputy editor-in-chief),
C.T.Sc. **S.V. Scherbakov** (deputy editor-in-chief),
U.A. **Budzinsky**, C.Ph.M.Sc. **A.V. Galdetsky**,
B.F. Gorbik, D.T.Sc. **A.D. Zakurdaev**, C.T.Sc. **N.P. Zubkov**,
D.T.Sc. **S.S. Zyrin**, C.T.Sc. **A.S. Kotov**, D.T.Sc. **P.V. Kupriyanov**,
C.T.Sc. **V.G. Lapin**, D.T.Sc. **M.I. Lopin**, D.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**,
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**,
D.Ph.M.Sc. **A.B. Pashkovsky**, C.Ph.M.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., professor **N.D. Ursulyak**

The journal is registered by the Ministry on mass media of the Russian Federation (certificate ПИ № ФС 77-24651 date June 6, 2006).

By the Resolution of the Presidium of the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated December 29, 2015 the scientific and technical collection «Elektronnaya Tekhnika», series 1 «SVCH-tekhnika» being published in JSC «RPC «Istok» named after Shokin» since 1950, has been reincluded into the «List of reviewed scientific publications in which the principal scientific results for candidate's thesis and doctoral thesis must be published».

СОДЕРЖАНИЕ

Технология и материаловедение

- Налогин А.Г., Пашков А.Н., Горбатюк С.М.* – Получение макетов композиционного материала SiC–Al методом горячего прессования 6
- Лябин Н.А., Парамонов В.С., Парамонова Г.М., Клименко В.И., Колоколов И.С., Чурсин А.Д., Осотов О.В., Виноградов К.Ю., Бетина Л.Л., Лихачева И.Е., Трубачева Г.А.* – Прецизионная микрообработка материалов ИЭТ на автоматизированных лазерных технологических установках «Каравелла»..... 12

Электривакуумные приборы

- Вашин С.А., Коретин Г.Ф.* – Компрессия по водороду в отпаянных ЭВП..... 22
- Галдецкий А.В., Лопин М.И., Грищук Р.В., Рыжов В.А., Мишкин Т.А., Духина Н.Г., Закурдаев А.Д., Сапрынская Л.А.* – Мощный электривакуумный усилитель метрового диапазона..... 29
- Жабин Г.А.* – Эмиссионные характеристики молекулярно-напыленных оксидных катодов в циклотронных защитных устройствах 49

Твердотельная электроника

- Темнов А.М., Дудинов К.В., Емельянов А.М., Воронин А.А., Катков Д.А., Рогачев И.А., Мешков О.И.* – Новое поколение мощных усилительных ГМИС X-диапазона на алмазной плате и нитридгаллиевых транзисторах..... 54
- Далингер А.Г., Мальщик В.М., Иовдальский В.А.* – Совершенствование структуры приёмопередающего модуля АФАР СВЧ-диапазона..... 75

Медицинская электроника

- Казаринов К.Д., Тихонова Е.А., Солосин В.С.* – Конструкция волноводного устройства для измерения параметров жидкостей 84

История

- Попов Р.М.* – Заграница нам поможет 89
- Балыко И.А., Балыко А.К.* – Плотность распределения частиц в полупроводнике в условиях ударной ионизации 110

CONTENTS

Technology and material science

- Nalogin A.G., Pashkov A.N., Gorbatyuk S.M.* – Obtaining of SiC–Al composite materials by method of hot pressing 6
- Lyabin N.A., Paramonov V.S., Paramonova G.M., Klimenko V.I., Kolokolov I.S., Chursin A.D., Osotov O.V., Vinogradov K.U., Betina L.L., Likhacheva I.E., Trubacheva G.A.* – Precision microprocessing of electronic engineering products using automated laser technological installations «Karavella»..... 12

Electrovacuum devices

- Vashin S.A., Korepin G.F.* – Hydrogen compression in sealed-off vacuum devices..... 22
- Galdetskiy A.V., Lopin M.I., Gritsuk R.V., Ryzhov V.A., Mishkin T.A., Dukhina N.G., Zakurdaev A.D., Saprynskaya L.A.* – High-power electrovacuum amplifier of a meter range 29
- Zhabin G.A.* – Emission characteristics of molecular sputter-deposited oxide cathodes operating in cyclotron protective devices 49

Solid-state electronics

- Temnov A.M., Dudinov K.V., Yemelyanov A.M., Voronin A.A., Katkov D.A., Rogachev I.A., Meshkov O.I.* – A new generation of X-band high-power amplifying HMICs on a diamond board and gallium nitride transistors 54
- Dalinger A.G., Malyshchik V.M., Iovdalsky V.A.* – Upgrading the structure of microwave active phased array transmitter-receiver module..... 75

Medical electronics

- Kazarinov K.D., Tikhonova E.A., Solosin V.S.* – Waveguide unit design for measuring liquid parameters 84

History

- Popov R.M.* – Abroad will help us 89
- Balyko I.A., Balyko A.K.* – The particles distribution density in semiconductor in shock ionization conditions 110

ПОЛУЧЕНИЕ МАКЕТОВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА SiC–Al МЕТОДОМ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ

А. Г. Налогин¹, А. Н. Пашков¹, С. М. Горбатюк²

¹АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС», г. Москва

Проведен расчет с помощью программного комплекса QForm3D рабочего инструмента для процесса горячего прессования композиционного материала SiC–Al. Получены макеты теплоотводящих оснований и определен состав композиционного материала SiC–Al для максимального согласования с низкотемпературной, совместно обжигаемой керамикой.

КС: композиционный материал, горячее прессование, SiC–Al, пресс-форма, теплоотвод, расчет инструмента

OBTAINING SiC–Al COMPOSITE MATERIALS BY HOT PRESSING METHOD

A. G. Nalogin¹, A. N. Pashkov¹, S. M. Gorbatyuk²

¹JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino

²National University of Science and Technology «MISIS», Moscow

The operating tool for SiC–Al composite material hot pressing process has been calculated using QForm3D software. The models of heat removing bases were obtained and SiC–Al composite material composition for maximum matching with a low-temperature co-fired ceramics was determined.

Keywords: composite material, hot pressing, SiC–Al, press form, heat sink, tool calculation

**ПРЕЦИЗИОННАЯ МИКРООБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ИЭТ
НА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
УСТАНОВКАХ «КАРАВЕЛЛА»**

**Н. А. Лябин, В. С. Парамонов, Г. М. Парамонова, В. И. Клименко,
И. С. Колоколов, А. Д. Чурсин, О. В. Осотов, К. Ю. Виноградов,
Л. Л. Бетина, И. Е. Лихачева, Г. А. Трубачева**

АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино

Представлены результаты исследований по прецизионной микрообработке фольговых и тонколистовых материалов на лазерном технологическом оборудовании типа «Каравелла». Проведены расчеты пороговых плотностей пиковой и средней мощностей излучения для испарения теплопроводных, тугоплавких и других материалов. Экспериментально установлено, что для качественной микрообработки плотность мощности в обрабатываемом световом пятне должна превышать пороговые значения на 1...2 порядка; исследованы зависимости времени и скорости обработки от толщины материала. Разработаны технологии химической очистки металлических деталей ИЭТ после лазерной обработки от шлака и грата.

КС: прецизионная микрообработка, лазерное технологическое оборудование, лазеры и лазерные системы на парах меди, технологии химической очистки

**PRECISION MICROPROCESSING OF ELECTRONIC ENGINEERING
PRODUCTS USING AUTOMATED LASER TECHNOLOGICAL
INSTALLATIONS «KARAVELLA»**

**N. A. Lyabin, V. S. Paramonov, G. M. Paramonova, V. I. Klimenko,
I. S. Kolokolov, A. D. Chursin, O. V. Osotov, K. U. Vinogradov,
L. L. Betina, I. E. Likhacheva, G. A. Trubacheva**

JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino

The results of investigations on precision microprocessing of foil and thin sheet materials using laser technological equipment «Karavella» have been presented. The calculations of threshold density for peak and average radiation power for evaporating heat-conductive, refractory and other materials were carried out. It was proved experimentally that for qualitative microprocessing the power density in the processed light spot should not exceed the threshold values by 1...2 orders; the dependencies of time and processing rate versus material thickness were studied. The technologies of chemical cleaning of electronic engineering products metal parts after laser processing from slags and burrs have been developed.

Keywords: precision microprocessing, laser technological equipment, lasers and laser systems on copper vapor, chemical cleaning technologies

КОМПРЕССИЯ ПО ВОДОРОДУ В ОТПАЯННЫХ ЭВП

С. А. Вашин, Г. Ф. Корепин

АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино

Рассмотрены причины возникновения компрессии по водороду в отпаянных электровакуумных приборах (ЭВП). Показана связь между компрессией по водороду и нарушением вакуумной электроизоляции в ЭВП. Доказано влияние повышенного газосодержания по водороду в ЭВП на возникновение токов в межэлектродных вакуумных промежутках. Показано, что при наличии напряжённости поля от 20 кВ/мм на промежутке сетка-катод в ЭВП возникает явление гистерезиса вольт-амперной характеристики.

КС: компрессия по водороду, отпаянный ЭВП, вакуумная электроизоляция, вольт-амперная характеристика

HYDROGEN COMPRESSION IN SEALED-OFF VACUUM DEVICES

S. A. Vashin, G. F. Korepin

JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino

The reasons for emerging hydrogen compression in sealed-off electrovacuum devices (EVD) have been considered. The interconnection between the hydrogen compression and the violation of vacuum electrical insulation in EVD is shown. The influence of increased hydrogen gas content in EVD on current emergence in interelectrode vacuum gaps has been proved. It is shown that in the presence of a field strength over 20 kV/mm a hysteresis of the current-voltage characteristic occurs in the grid-cathode gap in EVD.

Keywords: hydrogen compression, sealed-off EVD, vacuum electrical insulation, current-voltage characteristic

МОЩНЫЙ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

А. В. Галдецкий, М. И. Лопин, Р. В. Грицук, В. А. Рыжов,
Т. А. Мишкин, Н. Г. Духина, А. Д. Закурдаев, Л. А. Сапрынская

АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино

Разработан мощный компактный усилитель метрового диапазона на основе многолучевых клистронов (истронов). Существенного уменьшения габаритов удалось добиться благодаря использованию входной цепи на сосредоточенных элементах, входного развязывающего устройства на основе длинных линий, выходной резонансной системы на квазисосредоточенных элементах, причем коллектор является частью выходной системы.

КС: мощный компактный усилитель, метровый диапазон, многолучевой клистрод, сосредоточенный элемент, длинная линия, квазисосредоточенный элемент

HIGH-POWER ELECTROVACUUM AMPLIFIER OF A METER RANGE

A. V. Galdetskiy, M. I. Lopin, R. V. Gritsuk, V. A. Ryzhov,
T. A. Mishkin, N. G. Dukhina, A. D. Zakurdaev, L. A. Saprynskaya

JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino

High-power compact amplifier of a meter range based on multiple-beam klystrodes (istrons) has been developed. We managed to achieve significant reduction in size thanks to using the input circuit on lumped elements, input decoupling unit based on long lines, output resonance system on quasi-lumped elements with the collector being a part of the output system.

Keywords: high-power compact amplifier, meter range, multiple-beam klystrode, lumped element, long line, quasi-lumped element

**ЭМИССИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
МОЛЕКУЛЯРНО-НАПЫЛЕННЫХ ОКСИДНЫХ КАТОДОВ
В ЦИКЛОТРОННЫХ ЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВАХ**

Г. А. Жабин

АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино

Представлены результаты исследования влияния СВЧ-мощности на молекулярно-напыленные оксидные катоды маломощных СВЧ-приборов, работа которых основана на циклотронном резонансе электронного потока. Показано, что подача СВЧ-мощности на вход прибора позволяет дополнительно активировать катод и стабилизировать его эмиссионные свойства в рабочем режиме.

КС: СВЧ-мощность, циклотронное защитное устройство (ЦЗУ), молекулярно-напыленный оксидный катод (МНОК), накаливающие характеристики, катодно-подогревательный узел (КПУ), активировка, магнитный электроразрядный насос (МЭН)

**EMISSION CHARACTERISTICS
OF MOLECULAR SPUTTER-DEPOSITED OXIDE CATHODES
OPERATING IN CYCLOTRON PROTECTIVE DEVICES**

G. A. Zhabin

JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino

The article presents the results of research of microwave energy power influence on molecular sputter-deposited oxide cathodes of low noise microwave devices, which are based on the cyclotron resonance of the electron flow. It is shown that the supply of microwave power to the input device can further activate the cathode and to stabilize the emission after poisoning the cathode in operating mode.

Keywords: microwave energy, cyclotron protective device, molecular sputter-deposited oxide cathode, emission characteristics, cathode-heating unit, activation, magnetic discharge pump

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ МОЩНЫХ УСИЛИТЕЛЬНЫХ ГМИС X-ДИАПАЗОНА НА АЛМАЗНОЙ ПЛАТЕ И НИТРИДГАЛЛИЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

А. М. Темнов, К. В. Дудинов, А. М. Емельянов,
А. А. Воронин, Д. А. Катков, И. А. Рогачев, О. И. Мешков

АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино

Изготовлены и исследованы мощные усилительные ГМИС СВЧ нового поколения, работающие в X-диапазоне. ГМИС изготовлены на лицевой стороне единой алмазной платы, при этом все пассивные элементы схемы изготовлены монолитно, а кристаллы мощных нитридгаллиевых транзисторов смонтированы на поверхность платы и соединены с ее контактными площадками с помощью золотой проволоки. Обратная сторона алмазной платы имеет заземляющую металлизацию, а в объеме платы выполнены металлизированные отверстия для заземления контактов лицевой стороны. Спланирован и проведен полный факторный эксперимент и найдены оптимальные технологические режимы травления отверстий в алмазной плате с помощью установки реактивного ионного травления Corial 200IL. Показано, что ГМИС СВЧ, изготовленные на единой алмазной плате, имеют коэффициент усиления, выходную мощность и КПД, сравнимые с аналогичными параметрами ГМИС мозаичной конструкции. При этом конструкция ГМИС упрощается, улучшаются массогабаритные характеристики, обеспечивается точность и воспроизводимость монтажно-сборочных работ.

КС: мощный усилительный ГМИС СВЧ, X-диапазон, алмазная плата, нитридгаллиевый транзистор

A NEW GENERATION OF X-BAND HIGH-POWER AMPLIFYING HMICs ON A DIAMOND BOARD AND GALLIUM NITRIDE TRANSISTORS

A. M. Temnov, K. V. Dudinov, A. M. Yemelyanov,
A. A. Voronin, D. A. Katkov, I. A. Rogachev, O. I. Meshkov

JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino

High-power microwave amplifying HMICs of a new generation working in X-band have been manufactured and studied. HMICs are made on the front face of one diamond board, with all passive elements of the circuit being manufactured monolithically, and the chips of high-power gallium nitride transistors being assembled on the board surface and connected to its pads with gold wire. The diamond board backside has grounding metallization and there are metalized holes for front face contacts grounding in the board volume. A complete factorial experiment has been planned and conducted, and optimal technological hole etching modes in the diamond board have been found out using reactive ion-etching installation Corial 200IL. It is shown that microwave HMICs made on one diamond board have gain, output power and efficiency comparable to HMIC similar parameters of mosaic structure. In this case HMIC structure is simplified, weight-size characteristics are improved, accuracy and repeatability of field-assembly operations are provided.

Keywords: high-power microwave amplifying HMIC, X-band, diamond board, gallium-nitride transistor

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ АФАР СВЧ-ДИАПАЗОНА

А. Г. Далингер, В. М. Малышик, В. А. Иовдальский

АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино

Разработана новая структурная схема приёмопередающего модуля АФАР с двумя приёмными каналами. Наличие второго приёмного канала, включаемого параллельно с первым приёмным каналом через делитель мощности, обеспечивает разделение принимаемого сигнала и одновременное формирование двух приёмных диаграмм направленности, что позволяет в режиме приема увеличить угол обзора, повысить точность определения координат цели и потенциал системы (дальность обнаружения цели) приёмопередающего модуля.

КС: приёмопередающий модуль, АФАР, структурная схема, приёмный и передающие каналы, сигнал, МИС, фазовращатель, аттенюатор

UPGRADING THE STRUCTURE OF MICROWAVE ACTIVE PHASED ARRAY TRANSMITTER-RECEIVER MODULE

A. G. Dalinger, V. M. Malyshchik, V. A. Iovdalsky

JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino

A new block diagram of the active phased array transmitter-receiver module with two receiving channels has been developed. The availability of the second receiving channel switched on in parallel with the first receiving channel through power divider provides the separation of the received signal with simultaneous formation of two receiving directivity patterns which allows to increase angle of view, increase the accuracy of the target coordinates setting and system potential (target detection range) in the receiving mode of the transmitter-receiver module.

Keywords: transmitter-receiver module, active phased array, block diagram, receiving and transmitting channels, signal, MIC, phase shifter, attenuator

КОНСТРУКЦИЯ ВОЛНОВОДНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКОСТЕЙ

К. Д. Казаринов, Е. А. Тихонова, В. С. Солосин

ФирЭ им. В.А. Котельникова РАН

Предложена новая конструкция перестраиваемого волноводного СВЧ-резонатора, предназначенного для использования в системах измерения диэлектрических параметров сильно поглощающих жидкостей. Конструкция резонатора обеспечивает плавную регулировку связи с объектом измерения и высокую стабильность результатов измерений.

КС: микроволновое излучение, волновод прямоугольного сечения, диэлектрический капилляр, водный раствор, биологическое действие микроволнового излучения

WAVEGUIDE UNIT DESIGN FOR MEASURING LIQUID PARAMETERS

K. D. Kazarinov, E. A. Tikhonova, V. S. Solosin

FIRE named after V.A. Kotelnikov RAS

A new design of a tunable waveguide microwave resonator intended to be used in systems of measuring dielectric parameters of highly absorbing liquids has been proposed. The resonator design provides the continuous adjustment of the contact with the object of measurement and high stability of the measurement results.

Keywords: microwave radiation, rectangular cross section waveguide, dielectric capillary, water solution, biological effect of microwave radiation

ЗАГРАНИЦА НАМ ПОМОЖЕТ

Р. М. Попов

АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино

Показано состояние радиопромышленности в Западной Европе и становление ее в России с момента изобретения А. С. Поповым радио и до рождения завода «Радиолампа». Рассмотрены этапы активного освоения опыта зарубежных фирм, и прежде всего американской радиофирмы RCA.

КС: радио, аппаратура связи, радиоустройства, радиолампа, сотрудничество, радиопромышленность

ABROAD WILL HELP US

R. M. Popov

JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino

The state of the radio industry in Western Europe and its formation in Russia since the invention of A. S. Popov radio and before the birth of the factory “Radiolamp” is shown. The stages of active assimilation of the experience of foreign firms and first of all the American radio company RCA have been considered.

Keywords: radio, communication equipment, radiolamp, cooperation, radio industry

ПЛОТНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ В ПОЛУПРОВОДНИКЕ В УСЛОВИЯХ УДАРНОЙ ИОНИЗАЦИИ

И. А. Балько, А. К. Балько

АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино

Получено аналитическое выражение для плотности распределения вероятности флуктуации числа электронов в лавине при ударной ионизации в полупроводнике. Показано, что это распределение связано с тождеством Абеля, многочленами и числами Белла и числом разбиений натурального числа на части. При этом отмечена связь между этим числом разбиений и треугольником Паскаля.

КС: плотность распределения вероятности, флуктуация числа электронов в лавине, ударная ионизация, полупроводник, тождество Абеля, многочлены и числа Белла, треугольник Паскаля

THE PARTICLES DISTRIBUTION DENSITY IN SEMICONDUCTOR IN SHOCK IONIZATION CONDITIONS

I. A. Balyko, A. K. Balyko

JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino

An analytical expression is obtained for the density distribution of the fluctuations of the number of electrons in an avalanche during shock ionization in a semiconductor. It is shown that this distribution is related to the Abel identity, the Bell polynomials and numbers and the number of the partitions of the natural number into parts. At the same time the connection between this number of partitions and Pascal triangle is noted.

Keywords: probability density function, fluctuation of the number of electrons in an avalanche, shock ionization, semiconductor, Abel identity, Bell polynomials and numbers, Pascal triangle