

ISSN 0021–3411

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ФИЗИКА

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И ТЕОРИЯ ПОЛЯ

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ

ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ

КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

7·2019

ИЗДАНИЕ
ТОМСКОГО ГОСУНИВЕРСИТЕТА

Учредители:
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации,
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

*Потекаев А. И., проф. (гл. редактор), Россия; Багров В. Г., проф. (зам. гл. редактора), Россия;
Козырев А. В., проф. (зам. гл. редактора), Россия; Портнова Т. С., к.ф.-м.н. (отв. секретарь), Россия;
Борисов А. В., проф., Россия; Воеводин В. Н., чл.-корр. НАН Украины; Войцеховский А. В., проф., Россия;
Гаман В. И., проф., Россия; Gitman D. M., проф., Бразилия; Глезер А. М., проф., Россия;
Guoyi Tang, проф., Китай; Джафаров Р. Г., д.ф.-м.н., Азербайджан; Колобов Ю. Р., проф., Россия;
Коротаев А. Д., проф., Россия; Майер Г. В., проф., Россия; Месяц Г. А., акад. РАН, Россия;
Неклюдов И. М., акад. НАН Украины; Панин В. Е., акад. РАН, Россия; Per Jensen, проф., Германия;
Ратахин Н. А., акад. РАН, Россия; Саранин А. А., чл.-корр. РАН, Россия; Singh Haridwar, проф., Индия;
Суржиков А. П., проф., Россия; Узлов В. В., проф., Беларусь; Ушаков В. Я., проф., Россия;
Чумляков Ю. И., проф., Россия; Шаповалов А. В., проф., Россия; Якубов В. П., проф., Россия*

Вниманию читателей!

Тел. редакции: **(382-2) 53-33-35**

E-mail редакции: **physics@mail.tsu.ru**

Сведения о журнале можно найти на сайте в Интернете:
<http://www.ntl.tomskinvest.ru>

Электронная версия журнала «Известия высших учебных заведений. Физика»
доступна на сайте: www.elibrary.ru

Электронная версия «Russian Physics Journal»
(перевод на английский язык журнала «Известия вузов. Физика»)
доступна на сайте: www.springer.com

**Журнал «Известия высших учебных заведений. Физика» входит в перечень
рецензируемых научных журналов, включенных в список ВАК,
для публикации основных результатов кандидатских и докторских диссертаций**

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-11546 от 4 января 2002 г.
выдано Министерством Российской Федерации по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых коммуникаций

Старший редактор *Н. И. Шидловская*
Верстка *Л. В. Пермяковой*

Подписано к печати 24.07.2019. Выпуск в свет 02.08.2019.
Формат 60×84 1/8. Бум. книжно-журнальная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. п. л. 23,6. Усл. кр.-отт. 23,95. Уч.-изд. л. 26,43.
Тираж 130 экз. Заказ № 18.

Адрес редакции (издательства): 634050, г. Томск, пл. Новособорная, 1,
Сибирский физико-технический институт,
редакция журнала «Известия высших учебных заведений. Физика», тел. (3822) 533-335

Отпечатано в типографии «М-Принт», г. Томск, пер. Добролюбова, 10, стр. 3, тел. (3822) 258-279

СИЛЬНОТОЧНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК

Под редакцией академика **Н.А. РАТАХИНА** и профессора **Н.Н. КОВАЛЯ**

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Шнайдер А.В., Попов С.А., Дубровская Е.Л., Батраков А.В. Исследование динамики катодного слоя после перехода тока дуги через ноль с использованием двумерной системы лентмюровских зондов	5
Николаев А.Г., Окс Е.М., Фролова В.П., Юшков Г.Ю. Генерация ионов дейтерия в вакуумном дуговом разряде с композиционным газонасыщенным катодом и в дуге низкого давления	11
Бугаев А.С., Визирь А.В., Гушенец В.И., Николаев А.Г., Окс Е.М., Савкин К.П., Юшков Г.Ю., Тюньков А.В., Фролова В.П., Шандриков М.В., Юшков Г.Ю. Генерация ионов бора для пучковых и плазменных технологий	19
Климов А.С., Зенин А.А., Бакеев И.Ю., Окс Е.М. Формирование градиентных металлокерамических материалов с использованием электронно-лучевого облучения в форвакууме	25
Нефёдцев Е.В., Онищенко С.А., Батраков А.В. Места инициирования взрывоэмиссионных процессов на поверхности монокристаллической и крупнозернистой поликристаллической меди	31
Крысина О.В., Тересов А.Д., Москвин П.В., Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф., Ахмадеев Ю.Х., Лопатин И.В. Изменение локальной температуры материала при электронно-пучковой обработке и ее влияние на свойства модифицированного слоя	39
Денисов В.В., Коваль Н.Н., Денисова Ю.А., Лопатин И.В., Островерхов Е.В. Влияние анода несамостоятельного тлеющего разряда с полым катодом на пространственное распределение концентрации плазмы	47
Жерлицын А.А., Кумпяк Е.В., Смородов Г.В. Исследование стабильности срабатывания управляемого многозарядного разрядника для емкостных накопителей с зарядным напряжением до 100 кВ и временем вывода энергии порядка 100 нс	53
Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф. Комплексная электронно-ионно-плазменная обработка поверхности алюминия в едином вакуумном цикле	59
Белоплотов Д.В., Ломаев М.И., Сорокин Д.А., Тарасенко В.Ф. Стримерный пробой с убегаящими электронами, формирующий диффузные разряды в неоднородном электрическом поле	69
Тарасенко В.Ф., Бакшт Е.Х., Белоплотов Д.В., Бураченко А.Г., Ерофеев М.В., Липатов Е.И., Ломаев М.И., Олешко В.И. О влиянии энергии электронов на характеристики излучения Вавилова – Черенкова и импульсной катодолюминесценции	79
Оскирко В.О., Захаров А.Н., Павлов А.П., Работкин С.В., Семенов В.А. Пакетный импульсный режим дуального магнетронного распыления	89
Гренадёр А.С., Оскомов К.В., Соловьев А.А., Иванова Н.М., Сыпченко В.С. Плазмохимический синтез аморфных углеводородных пленок, легированных кремнием, кислородом и азотом	97
Дейчули М.П., Кошелев В.И., Чазов В.А. Селекция симметричных и несимметричных мод в сверхразмерных замедляющих структурах многоволнового черенковского генератора	105
Буянов Ю.И., Балзовский Е.В., Кошелев В.И., Некрасов Э.С. Характеристики излучения офсетной отражательной антенны, возбуждаемой решеткой комбинированных антенн	111
Кокшенев В.А., Курмаев Н.Е., Чердизов Р.К. Плазменные струи сильноточного разряда в капилляре и их распространение поперек магнитоизолированной линии	116
Лабецкая Н.А., Орешкин В.И., Чайковский С.А., Дацко И.М., Рыбка Д.В., Ванькевич В.А. Оптическая регистрация поверхности плазмы цилиндрических проводников в сильных магнитных полях	124
Чайковский С.А., Орешкин В.И., Лабецкая Н.А., Дацко И.М., Рыбка Д.В., Ванькевич В.А., Ратахин Н.А. Особенности электрического взрыва плоских проводников в режиме скинирования тока	130

Шишлов А.В., Кокшенев В.А., Курмаев Н.Е., Лабеецкая Н.А., Фурсов Ф.И., Чердизов Р.К. Генерация излучения в К-линиях инертных газов в микросекундном режиме имплозии	137
Ростов В.В., Бармин В.В., Ландль В.Ф., Выходцев П.В., Артёмов К.П., Степченко А.С. Сильноточный импульсно-периодический ускоритель электронов «SINUS-320»: формирование и диагностика широкоапертурного пучка	147
Климов А.И. Широкоапертурные жидкостные калориметры для измерения энергии мощных импульсов СВЧ-излучения	153
Королев Ю.Д., Ландль Н.В., Гейман В.Г., Франц О.Б., Аргунов Г.А., Болотов А.В. Роль предпробойных токов в механизме статического пробоя двухсекционного тиратрона с холодным катодом	162
Ландль Н.В., Королев Ю.Д., Гейман В.Г., Франц О.Б., Аргунов Г.А., Болотов А.В., Акимов А.В., Бак П.А. Особенности формирования паразитного тока в отпаянном тиратроне с холодным катодом с узлом запуска на основе вспомогательного тлеющего разряда	172
Соснин Э.А., Панарин В.А., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Козырев А.В., Кожевников В.Ю., Ситников А.Г., Коковин А.О., Кузнецов В.С. Апокампический разряд: условия образования и механизмы формирования	182
Марков А.Б., Яковлев Е.В., Шепель Д.А., Соловьев А.В., Петров В.И. Электронно-пучковый синтез поверхностного сплава путем облучения многослойного Ni–Al-покрытия	191
Бугаев А.С., Гончаров А.А., Гушенец В.И., Окс Е.М. Плазмогенератор для биполярной электронно-оптической системы	199

Предисловие

Настоящий тематический выпуск журнала продолжает тематику одной из областей физики – раздела сильноточной электроники и ее применений – научного направления, которое было сформулировано его основателем академиком Г.А. Месяцем и успешно развивается. Предыдущий выпуск, вышедший два года назад, был приобщен к 40-летию Института сильноточной электроники (ИСЭ СО РАН) и охватывал основные направления исследований в этой области знаний, вызвав значительный интерес у специалистов, не только занимающихся фундаментальными исследованиями, но и использующих достижения науки на практике.

В данном выпуске представлены работы, выполненные за последние несколько лет. Статьи в сборнике не разнесены по разделам, так как тематика в них зачастую пересекается, и разделять их, на наш взгляд, нецелесообразно. При кратком анализе представленных работ будем использовать фамилии первого автора.

Традиционно важными и интересными являются исследования взрывоэмиссионных процессов, происходящих на поверхности электродов в вакууме, и влияния этих процессов как на электрическую прочность межэлектродных промежутков, так и на скорость их коммутации. Этим исследованиям посвящены статьи Е.В. Нефедцева и А.В. Шнайдера, в которых показаны особенности инициирования электрического пробоя вакуумных промежутков и исследована концентрация импульсной дуговой плазмы вблизи перехода тока дуги через ноль. Эти результаты важны при конструировании новой электрофизической высоковольтной аппаратуры, в которой электрическая прочность зачастую определяет их предельные параметры и возможности.

Важные результаты, полученные по характеристикам и особенностям сильноточных импульсных коммутаторов, приведены в работах А.А. Жерлицина, Ю.Д. Королева и Н.В. Ландля. Учет этих результатов позволяет не только повысить стабильность и надежность таких устройств, но и наметить пути их модернизации.

Большой блок вопросов по исследованиям сильноточных устройств для получения плотной плазмы и изучению ее характеристик как при электрическом взрыве проводников, так и в сжимающихся газовых лайнерах и диэлектрических капиллярах рассмотрен в статьях В.А. Кокшенёва, Н.А. Лабеткой, С.А. Чайковского и А.В. Шишлова. Эти работы отражают уровень исследований, проводящихся в области высоких импульсных плотностей энергии при мегаамперных уровнях рабочих токов и тераваттных уровнях мощностей.

Дальнейшее совершенствование сильноточных импульсно-периодических ускорителей электронов серии «Синус» позволило создать ускоритель для технологических применений, который описан в статье В.В. Ростова и безусловно представляет интерес для специалистов в области радиационной физики и химии.

Развиваемое научное направление по генерированию мощного СВЧ-излучения, в том числе и сверхширокополосного, а также измерению его характеристик представлено статьями М.П. Дейчули, Ю.И. Буянова и А.И. Климова. Эти исследования имеют как теоретический, так и прикладной характер.

Исследования разрядов низкого, вплоть до атмосферного, давления представлены в работах В.В. Денисова, В.О. Осирко, Д.В. Белоплотова, Э.А. Соснина и А.С. Бугаева.

Полученные результаты не только расширяют знания о процессах в межэлектродных промежутках при горении различных типов разрядов, но и дают основу для проектирования и оптимизации электроразрядных систем для технологических применений.

Генерации ионов в плазме дуги низкого давления и их использованию в эффективных ионных источниках посвящены статьи А.Г. Николаева и А.С. Бугаева. Такие источники перспективны для промышленных применений.

Вопросы воздействия ускоренных заряженных частиц и плазмы на поверхность материалов и изделий с целью модификации их свойств традиционно занимают значительное место в исследованиях. Результаты этих исследований приведены в нескольких статьях настоящего выпуска. Так, в статье А.С. Гренадёрва рассмотрен способ модификации поверхности твердых тел путем плазмохимического осаждения на них аморфных углеводородных пленок, легированных различными

элементами, с целью улучшения эксплуатационных свойств. При этом используется плотная низкотемпературная плазма разряда низкого давления. Этот новый метод перспективен для практических применений.

К статье В.Ф. Тарасенко исследуется воздействие пучка убегающих электронов на различные материалы с целью возбуждения в них импульсной катодолюминесценции и излучения Вавилова – Черенкова, которые, в свою очередь, можно использовать для диагностики параметров ускоренных электронов.

Использованию плотных низкоэнергетических электронных пучков, как непрерывных, так и импульсных, посвящены статьи А.С. Климова, О.В. Крысиной и А.Б. Маркова. Результаты этих исследований практически готовы к промышленному применению и позволяют значительно улучшить эксплуатационные свойства материалов и изделий после предлагаемых обработок электронным пучком.

В статье Н.Н. Ковалья рассмотрены принцип действия, характеристики и результаты применения комплексной электронно-ионно-плазменной установки, созданной в ИСЭ СО РАН и предназначенной не только для изучения процессов ионно-плазменного и электронно-пучкового воздействия на поверхность материалов, но и для демонстрации эффектов такого воздействия на конкретных структурах, добиваясь кратного повышения их прочностных и износостойких свойств.

Таким образом, настоящий тематический выпуск дает представление о тематике и результатах исследований в последние годы и, на наш взгляд, будет интересен специалистам, занимающимся исследованиями в области физики газовых разрядов, пучков заряженных частиц и плазмы и их применения, а также студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

Академик РАН
Профессор

Н.А. Ратахин
Н.Н. Коваль

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>