



ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ФИЗИКЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
РФЯЦ-ВНИИЭФ

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ФИЗИКЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

Сборник научных трудов

Под общей редакцией
В. Д. Селемира и А. Е. Дубинова

Саров, 2003

ББК 22.333
УДК 537.52
И88

Исследования по физике газового разряда. Сборник научных трудов / Под общей редакцией В. Д. Селемира и А. Е. Дубинова. – Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2003. – 271 с. – ил.

ISBN 5-9515-0026-5

Сборник содержит оригинальные теоретические и экспериментальные работы по физике газового разряда, включающие тлеющие, пучковые, ВЧ- и СВЧ-разряды и др.

Предназначен для студентов и аспирантов физических специальностей, а также для специалистов, занимающихся вопросами физики плазмы.

The book contains original theoretical and experimental papers on gas discharge physics, including glow, plasma-beam, RF- and microwave discharges, etc.

It is intended for students and post-graduates of physical specialities and experts in plasma physics.

Предисловие

Настоящий сборник содержит оригинальные статьи ученых и специалистов НТЦ-1*. Все статьи посвящены исследованиям по физике газового разряда.

С момента выхода предыдущего сборника статей "Исследования по физике плазмы" (г. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1998 г.), в котором физика газового разряда являлась основным разделом, прошло более четырех лет. За это время были разработаны новые средства измерений, созданы новые стенды и установки, получены новые результаты.

Физика газового разряда – один из самых важных разделов физики плазмы, становление которого происходило одновременно со становлением учения об электричестве. Но за это время интерес к газовому разряду не только не уменьшился, но и постоянно возрастает. Этому есть ряд причин.

Во-первых, расширяется круг применений физики и техники газового разряда в различных направлениях человеческой деятельности. Физика газового разряда применяется при получении новых материалов, в лазерах и ускорителях частиц, в моделировании процессов в ближнем и дальнем космосе, в химии, биологии и медицине. Мы уже не мыслим коммутационную технику и светотехнику без газоразрядных приборов.

Во-вторых, в последние годы резко возрос и качественно изменился уровень средств диагностики, регистрации и обработки физических процессов, что позволило достичь более глубокого понимания явлений, предсказать и открыть новые эффекты.

В-третьих, расширились возможности вычислительной техники. Теперь многие недоступные для измерений величины можно смоделировать с помощью компьютерных кодов, основанных на первых принципах.

Большинство из представленных в сборнике работ имеют привязку к конкретному применению.

Сборник открывает статья Б. Г. Птицына и Е. Н. Смирнова, которая написана по результатам исследований, выполненных в 1979 году. В этой работе зафиксирован рекордный выход DD-нейтронов в плазменном фокусе – $2 \cdot 10^{11}$ нейтронов за импульс. Статья не утратила своей актуально-

*

Научно-технический центр физики высоких плотностей энергии и направленных потоков излучений РФЯЦ-ВНИИЭФ.

сти и сегодня, когда интерес к установкам на основе плазменного фокуса во ВНИИЭФ возрождается в связи с существенным прогрессом, достигнутым в НТЦ-1 в области взрывомагнитных источников энергии, которые позволяют планировать эксперименты с уровнем тока 20–50 МА.

Развитию методов исследования плазмы газового разряда посвящены работы К. И. Алмазовой и др. и А. Е. Дубинова и др. В них описаны исследования плазменных струй, которые предполагается использовать в качестве рабочего тела сильноточных плазменных размыкателей модуля комплекса "Эмир".

Большое внимание уделено способам газоразрядного инициирования мощных импульсов оптического излучения для создания световых источников (работа Г. М. Спинова и др.) и широкоапертурных электроразрядных лазеров (работа Б. В. Лажинцева и др.). В первой из указанных работ также достаточно большое внимание уделено возможности создания мощного источника воспроизводимого акустического воздействия. Вторая работа дает представление о развитии техники формирования газового разряда, предложенной и развитой сотрудниками НТЦ-1 и нашедшей широкое применение при создании ряда лазерных устройств не только в этом Центре, но и в наиболее близких к практическому применению разработках ИЛФИ ВНИИЭФ.

Традиционно в НТЦ-1 занимаются исследованиями физики пробоя. В статье А. А. Волкова и др. приведено описание стенда СКВИН-1 и методики экспериментов по исследованию механизмов пробоя воздушных промежутков. Анализируются результаты исследований при времени нарастания импульсов от 30 до 400 нс, полученные как экспериментальными, так и расчетными методами. Исследованию пространственной структуры токовых каналов высоковольтного диффузного разряда посвящена работа П. Б. Репина и А. Г. Репьева. Интересные результаты исследования вольерного разряда содержатся в работе А. О. Бакумова и др.

Перспективными с точки зрения практического применения представляются исследования электрического разряда вдоль поверхности диэлектрика с большим значением диэлектрической проницаемости ϵ (статья С. В. Булычёва и др.), а также цикл статей С. Н. Буранова и др., уже сегодня послуживших научной базой для создания прибора, используемого практической медициной, – аппарата озонотерапевтического низких и средних концентраций. Близки к практическому применению исследования, проведенные еще в одной работе Буранова С. Н. и др. Полученные в ней результаты по стерилизации позволили сделать существенное про-

движение вперед в области исследований, в которой работают представители многих школ газового разряда.

Одна из проблем реализации сверхмощных приборов релятивистской СВЧ-электроники связана с развитием пучкового и СВЧ-пробоя. Исследованиям этой актуальной проблемы посвящены статья А. Е. Дубинова и др. и статья И. Д. Дубиновой и А. Е. Дубинова.

В последнее время широкое внимание уделяется исследованиям запыленной плазмы. Происходящие в ней процессы определяют многие космические эффекты, влияют на технологию производства микросхем и, как стало понятно в последнее время, могут играть существенную роль в инерциальном термоядерном синтезе. В НТЦ-1 интерес к этим исследованиям имеет достаточно большую историю. В частности, здесь впервые экспериментально удалось продемонстрировать притяжение одноименно заряженных макротел в плазме (работа выполнена совместно с ИОФ РАН). В сборнике представлены экспериментальные исследования коллективных эффектов в запыленной плазме (С. В. Булычёв и др.) и некоторые результаты исследования электродинамики запыленной плазмы (А. Е. Дубинов и А. А. Тренькин).

Сборник может быть полезен студентам-физикам, аспирантам и специалистам, работающим в области мощной электрофизики, физики плазмы и ускорительной техники.

В. Д. Селемир, А. Е. Дубинов

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Птицын Б.Г., Смирнов Е.Н. Исследование плазменного фокуса	6
Алмазова К.И., Боровков В.В., Волков Е.П., Корнилов В.Г., Корнилов С.Ю., Челпанов В.И. Интерференционные исследования плазменного инжектора	48
Дубинов А.Е., Львов И.Л., Садовой С.А., Селемир В.Д. Измерение параметров импульсных плазменных струй с помощью различных зондовых методик	71
Спиrow Г.М., Селемир В.Д., Кравченко А.С., Герасимов С.И., Бродский А.Я., Верхова А.Ф., Вилков Ю.В., Гайдаш С.В., Дудай П.В., Лукьянов Н.Б. Генерирование мощного импульсного светового излучения и некоторые возможности его применения	92
Андрaманов А.В., Кабаев С.А., Лажинцев Б.В., Нор-Аревян В.А., Селемир В.Д. Масштабирование импульсно-периодических электроразрядных широкоапертурных лазеров	111
Волков А.А., Волкова Т.И., Дудай П.В., Ивановский А.В., Лысенко В.П., Лукьянов Н.Б., Соловьев А.А., Спиrow Г.М. Стенд СКВИН-1 для исследований механизмов пробоя изоляционных промежутков короткими импульсами напряжений	123
Репин П.Б., Репьев А.Г. Исследование пространственной структуры токовых каналов высоковольтного диффузного разряда в промежутке проволока–плоскость	143
Бакумов А.О., Иванов М.М., Карелин В.И., Репин П.Б., Чернышов В.А. Исследование возможности масштабирования вольерного разряда	173

Булычёв С.В., Дубинов А.Е., Жданов В.С., Киселева Н.Н., Корнилова И.Ю., Львов И.Л., Садовой С.А., Селемир В.Д. Исследование зависимости напряжения инициирования электрического разряда вдоль поверхности диэлектрика от его диэлектрической проницаемости . . .	182
Буранов С.Н., Горохов В.В., Карелин В.И., Репин П.Б. Исследование микроскопических характеристик микросекундного импульсно-периодического барьерного разряда	192
Буранов С.Н., Горохов В.В., Карелин В.И., Тренькин А.А. Пространственная макроскопическая структура импульсного разряда микросекундного диапазона в промежутках "барьер-металл" с неоднородным распределением электрического поля	204
Буранов С.Н., Воеводин С.В., Воеводина И.А., Зубев П.С., Карелин В.И., Репин П.Б., Селемир В.Д., Усачева С.Ю. Стерилизация микробиологических культур низкотемпературной плазмой импульсно-периодического газового разряда	219
Дубинов А.Е., Евсеенко А.А., Летягин В.А., Нургалиев Р.К., Птицын Б.Г., Селемир В.Д., Судовцов А.В., Ячный А.В. Влияние ионизации остаточного газа на СВЧ-генерацию в виркаторе	234
Дубинова И.Д., Дубинов А.Е. Результаты моделирования СВЧ-пробоя в волноводе вольерного типа	240
Булычёв С.В., Дубинов А.Е., Жданов В.С., Львов И.Л., Михеев К.Е., Садовой С.А., Сайков С.К., Селемир В.Д. Рассеяние пылинок коллективными колебаниями плазмы	248
Дубинов А.Е., Тренькин А.А. Распределение электрического поля в периодической цепочке заряженных плоскостей в плазме	264

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ФИЗИКЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

Сборник научных трудов

Под общей редакцией В. Д. Селемира и А. Е. Дубинова

Редактор В. М. Тагирова

Корректор Е. А. Коваленко

Компьютерная подготовка оригинала-макета Н. А. Лештаева

Подписано в печать 15.12.2003	Формат 60×84/16
Печать офсетная Усл. п. л. 15,7 Уч.-изд. л. 17	Тираж 200 экз.
Зак. тип. 1394а-2003 ПД № 00568 от 22.05.2000	

Отпечатано в ИПК ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ
607190, г. Саров Нижегородской обл.