



**Российское научно-техническое вакуумное
общество им. академика С.А. Векшинского**

ВАКУУМНАЯ НАУКА И ТЕХНИКА

**Тезисы XXX международной научно-технической конференции
«Вакуумная наука и техника»
(Махачкала, НОК «Журавли», 2023, 10-14 октября)**

VACUUM SCIENCE AND TECHNOLOGY

**Abstracts of the XXX International Scientific and Technical Conference
"Vacuum Science and Technology"
(Makhachkala, NOC "Cranes", 2023, October 10-14)**

Российское научно-техническое вакуумное общество
им. академика С.А. Векшинского
Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана
АО «Вакууммаш»
Московский физико-технический институт
Институт физики твердого тела РАН
Российский союз научных и инженерных общественных объединений

Пленарные доклады

Секция 1 - Физические явления в вакууме

Секция 2 - Вакуумные системы, устройства и технологическое оборудование

Секция 3 - Тонкопленочные покрытия и наноструктуры

Секция 4 - Вакуумные технологии и аэрокосмический комплекс

Секция 5 - Биомедицинские вакуумные технологии

Секция 6 - Эмиссионные процессы и источники заряженных частиц в приборах и устройствах

ББК 31.77
В 14
УДК 621.52

В 14 Вакуумная наука и техника

Тезисы XXX международной научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника» М.: Электровакуумные технологии. 2023 – 95с.

ISBN 978-5-6048852-3-9

Сборник рассчитан на специалистов в области вакуумной техники, криогенной техники и нанотехнологии. Опубликованные материалы особенно полезны молодым ученым, аспирантам и студентам старших курсов, специализирующимся в указанных направлениях.

Издание осуществлено с авторских оригиналов.

Ответственность за предоставление недостоверной информации, сохранение корпоративной и государственной тайны несут авторы публикаций

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ
ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

С.Б. Нестеров Президент Российского научно-технического вакуумного общества имени академика С.А. Векшинского

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА

А.Н. Алексеев Генеральный директор ЗАО «НТО»
В.А. Аляев Заведующий кафедрой КНИТУ
А.М. Архаров Профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана
Е.В. Беляева Специалист по научно-технической информации РНТВО им академика С.А. Векшинского
А.Ф. Белянин Руководитель научных программ ОАО «ЦНИТИ «Техномаш»
А.С. Бугаев Академик
А.В. Бурмистров Директор Института химического и нефтяного машиностроения ФГБОУ ВО «КНИТУ»
А.В. Буторина Профессор РНИМУ им. Н.И. Пирогова
С.А. Бушин Главный научный сотрудник ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»
Т.М. Васильева Профессор МФТИ
А.В. Горин Руководитель научно-технического семинара
Ю.В. Гуляев Академик, Президент Международного союза научных и инженерных общественных объединений
К.Е. Демихов Профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана
С.П. Друкаренко Первый вице-президент Международного союза научных и инженерных общественных объединений
В.М. Елинсон Профессор НИУ «МАИ»
Я.О. Желонкин Генеральный директор АО «ФЕРРИ ВАТТ»
Е.В. Жировов Председатель совета директоров АО «Криогенмонтаж»
А.Е. Зарвин Председатель совета директоров АО «Криогенмонтаж»
Г.Н. Иванова Ученый секретарь
В.Н. Ильин Главный технолог НПП «ГИКОМ»
В.И. Капустин Главный технолог НПП «ГИКОМ»
Е.Н. Капустин Генеральный директор АО «ВАКУУММАШ»
Л.Л. Колесник Ученый секретарь РНТВ им. академика С.А. Векшинского
А.А. Левченко Директор института физики твердого тела РАН

<i>И.П. Ли</i>	Директор НТЦ ОАО «Плутон»
<i>П.П. Мальцев</i>	Научный руководитель ИСВЧПЭ РАН
<i>В.П. Марин</i>	Академик
<i>В.В. Одинокоев</i>	Заместитель генерального директора АО «НИИ точного машиностроения»
<i>Ю.В. Панфилов</i>	Заведующий кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана
<i>А.К. Ребров</i>	Академик
<i>Л.Н. Розанов</i>	Профессор СПбГПУ
<i>В.В. Слецов</i>	Заведующий кафедрой НИУ «МАИ»
<i>В.И. Шаповалов</i>	Профессор ЛЭТИ
<i>Е.П. Шешин</i>	Профессор Московского физико-технического института

ОРГАНИЗАЦИИ УЧАСТНИКИ

АО «Вакууммаш», г. Казань

АО «Криогенмонтаж», г. Москва

АО «НИИЭФА им. Ефремова»

АО «НПО Лавочкина», г. Химки Московской обл.

Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова,
г. Москва

Государственный университет просвещения, Московская обл.

ЗАО «СпецМагнит»

ЗАО «SuperOx»

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, г. Москва

Институт проблем технологии микроэлектроники РАН, г. Черноголовка Московской обл.

Институт радиотехники и электроники РАН им. В.А. Котельникова РАН, г. Москва

Институт радиотехники и электроники РАН, г. Фрязино Московская обл.

Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва

Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, г. Москва

Институт физики паранормальных явлений, г. Черноголовка Московской обл.

Институт физики Дагестанского федерального исследовательского центра РАН,
г. Махачкала

Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Механико-математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

МИРЭА – РТУ, Инновационно-инжиниринговый центр, г. Москва

Математический институт имени В.А. Стеклова, г. Москва

МиСИС, г. Москва

МИФИ, г. Москва

Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Московской обл.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва

НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

НИИТМ, г. Зеленоград, г. Москва

НИТУ «МИСиС», г. Москва

НПО АСТ

НТУ СИРИУС

Объединенный институт высоких температур РАН, г. Долгопрудный, Московской обл.

Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской обл.

ООО «НПО Гелиосфера», г. Санкт-Петербург

ООО «Прикладная электроника»

ООО «ФЕРРИ ВАТТ», г. Казань

Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола республики
Марий Эл

Российский университет дружбы народов, г. Москва

Российское научно-техническое вакуумное общество им. академика С.А. Векшинского,
г. Москва

РУТ МИИТ, г. Москва

ФГБОУ ВО «Московский Авиационный Институт» (МАИ), г. Москва

ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, г. Москва

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	10
РОССИЙСКОМУ ВАКУУМНОМУ СООБЩЕСТВУ 30 ЛЕТ	
С.Б.Нестеров	11
ГОРДИМСЯ ПРОШЛЫМ. СОЗДАЁМ БУДУЩЕЕ. ВАКУУММАШУ-80!	
Е.Н. Капустин, А.Е. Капустин.....	12
«ПОСЛЕЗАВТРА» ВАКУУМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	
Я.О. Желонкин.....	13
АО «ИНТЕК АНАЛИТИКА» – XVI ЛЕТ УСПЕШНОЙ РАБОТЫ В ОБЛАСТИ ВАКУУМНОЙ ТЕХНИКИ	
Д.В. Ловцюс, К.М. Моисеев	14
КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТЕНДА ИСПЫТАНИЯ БЕЗЭЛЕКТРОДНОГО ПЛАЗМЕННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПЕРСТ	
Н.В.Павлушин, Н.Н.Павлушин, А.А. Тимашков, В.А. Рыбалко	15
ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ВАКУУМЕ	17
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАКУУМНОГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА В КАЧЕСТВЕ РАБОЧЕГО МОДУЛЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИСТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ В ВАКУУМ	
А.Е. Зарвин, А.С. Яскин, В.В. Каляда, В.Э. Художитков, К.А. Дубровин	18
ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В АМОРФНОМ ЛЬДЕ.	
В.Б. Ефимов, О.Г. Рыбченко, В.В. Сеницын	20
ИССЛЕДОВАНИЕ МАКРОСКОПИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ КВАНТОВО-ВИХРЕВЫХ СИСТЕМ В СВЕРХТЕКУЧЕМ ГЕЛИИ МЕТОДОМ ЗАТУХАНИЯ ПРОБНЫХ ОДИНОЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ ТЕПЛА.	
В.Б. Ефимов, А.А. Орлова	22
РАЗРАБОТКА МИКРОФОКУСНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ТРУБОК ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ	
И.Ф. Ханбеков, Н.Н. Потрахов, Е.Н. Потрахов, Д.В. Копытов	24
УСТАНОВКА ПО ИЗУЧЕНИЮ ВИХРЕВОГО ДВИЖЕНИЯ В УЗКОМ ЗАЗОРЕ МЕЖДУ ПЛОСКИМИ ДИСКАМИ В СВЕРХТЕКУЧЕМ НЕ-II	
П.Г. Селин, А.А. Левченко	26
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПЛАВНЫМ ХОДОМ НА НИЗКИХ ОБОРОТАХ	
П.Г. Селин, И.А. Ремизов	28
ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРА ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РАЗРЯДЕ ВАКУУМНОЙ ДУГИ ОТ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	
А.Н. Долгов, С.Г. Давыдов, В.О. Ревазов, Р.Х. Якубов	29

ГЕНЕРАЦИЯ КВАНТОВЫХ ВИХРЕЙ ВОЛНАМИ НА ПОВЕРХНОСТИ СВЕРХТЕКУЧЕГО ГЕЛИЯ	
М.Р. Султанова, И.А. Ремизов, А.А. Левченко	30
СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНАЯ ОТКАЧКА ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ НИЖЕ КОМНАТНОЙ	
Ю.В. Панфилов, Л.Л. Колесник, Г.М. Сокол, А.А. Тымина	32
ЭНТАЛЬПИИ ОБРАЗОВАНИЯ И АТОМИЗАЦИИ ГАЗООБРАЗНЫХ ОКСИДОВ РЕНИЯ	
Е.К. Казенас, Н.А. Андреева, Г.К. Астахова, В.А. Волченкова, О.А. Овчинникова, Т.Н. Пенкина, В.Б. Смирнова, А.А. Фомина	33
РЕЛЯТИВИСТСКИЙ ГИРОТРОН НА ТРЕТЬЕЙ ГАРМОНИКЕ ЦИКЛОТРОННОЙ ЧАСТОТЫ	
Е.В. Иляков, Ю.К. Калынов, И.С. Кулагин, Ю.Д. Гром, В.Н. Мануилов, А.С. Шевченко.....	35
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ МИШЕНЕЙ НА СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА ВТСП ПРОВОДНИКА СОСТАВА $YBa_2Cu_3O_7$	
А.В. Феоктистов, А.А. Каменев, Дегтяренко П.Н. Чепиков В. Н.....	37
ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ, УСТРОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ 38	
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЛОПАСТНЫХ НАСОСОВ ВНЕШНЕГО СЖАТИЯ	
И. А. Малин, А. В. Бурмистров, А. А. Райков, С. И. Саликеев.....	39
СОВРЕМЕННЫЕ КОМБИНИРОВАННЫЕ СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ ДЛЯ ЦКП «СКИФ»	
А.А. Краснов, А.М. Семенов	41
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАЛОННОГО МЕМБРАННО-ЁМКОСТНОГО ВАКУУММЕТРА	
Р.Э. Кувандыков, Р.А. Тетерук, А.А. Чернышенко.....	43
ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНОГО НАСОСА НА ПРОЦЕСС ОТКАЧКИ ЛЁГКИХ ГАЗОВ	
Н.К. Никулин, Е.В. Свичкарь	45
МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТМН С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ, ОСНОВАННОЙ НА РЕЗУЛЬТАТАХ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ МЕТОДОМ ПРОБНОЙ ЧАСТИЦЫ	
У. С. Гордеева	47
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВАКУУМНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭВП	
И.Ф. Ханбеков, В.С. Петров, Д.В. Копытов.....	49
ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИСТЕЧЕНИЯ СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙ ИЗ СОПЕЛ В ВАКУУМ В ИМПУЛЬСНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ	

А.Е. Зарвин, В.В. Каляда, А.С. Яскин, К.А. Дубровин, В.Э. Художитков	51
ПЛАТФОРМА ДЛЯ АКТИВНОЙ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ВАКУУМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	
В.П. Михайлов, А.А. Копылов	53
О ПРИМЕСИ ВИСМУТА В ПРУТКАХ ИЗ БЕСКИСЛОРОДНОЙ МЕДИ	
П.А. Головкин	54
ИЗЛУЧАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПАЛЛАДИЯ И ПЛАТИНЫ В ОБЛАСТИ ТЕМПЕРАТЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ПЕРВОГО РОДА	
Н.Ю. Косенкова, Д.В. Косенков, В.В. Сагадеев, В.А. Аляев	56
ЭМИССИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ МЕТАЛЛОПОРИСТЫХ ВОЛЬФРАМ-БАРИЕВЫХ КАТОДОВ С РАЗЛИЧНЫМИ СОСТАВАМИ ЭМИССИОННО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА	
Д.В. Бычков, И.В. Фомин, Н.Е. Леденцова, А.В. Шуманов, Л.М. Борисова, И.П. Ли, В.И. Капустин	57
ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ВАКУУМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЭЛЕКТРОННО- ЛУЧЕВЫМИ ИСПАРИТЕЛЯМИ	
Одиноков В.В.	59
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАЛОННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПОТОКОВ ГАЗА В ВАКУУМЕ	
Д.М. Фомин	60
ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ И НАНОСТРУКТУРЫ	61
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФК КОЛЛОИДНЫХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ	
О.М. Медведева, А.Р. Ибрагимов, Е.В. Панфилова, Д.Ю. Шрамко	62
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЗНАЧЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ	
А.Д. Купцов, С.В. Сидорова	64
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОЛЛОИДНЫХ ПЛЁНОК ПОЛИСТИРОЛА	
И.О. Азарнин, А.Р. Ибрагимов, Е.В. Панфилова, Л.Л. Колесник	65
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА КОМПОНОВКИ СИСТЕМЫ МАГНЕТРОННОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ	
О.Э. Алиханов, А.И. Беликов, Р.И. Зайнуллин	66
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ КОЛЛОИДНЫХ ПЛЕНОК ПОЛИСТИРОЛА	
А.Р. Ибрагимов, В.С. Мальцев, К.Р. Минько, Као Ван Хоа, Е.В. Панфилова	68
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СЛОИ ДЛЯ ГИБКИХ СИСТЕМ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ	

А.Х. Абдуев, А.Ш. Асваров, В.В. Беляев, Д.В. Генералов, Д.В. Николаева, В.В. Саенко, Е.А. Сметанин.....	70
ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЕНОК ОКСИДА ИНДИЯ-ОЛОВА МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ	
А.Ф. Белянин, Е.П. Гребенников, Н.И. Сушенцов, П.В. Пашенко, М.А. Тимофеев	72
ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС	73
ИСПЫТАНИЯ ПОСАДОЧНЫХ МОДУЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ МЕЖПЛАНЕТНЫХ СТАНЦИЙ В ВАКУУМНОЙ КАМЕРЕ ВК-48	
П.Н. Берёзко, А.Ю. Кочетков	74
ИСПЫТАНИЯ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ СВАРНЫХ ШВОВ ТЕРМОВАКУУМНЫХ УСТАНОВОК СПОСОБОМ НАКЛАДНОЙ КАМЕРЫ (ВАКУУМНОЙ ПРИСОСКИ) С ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ НЕ МЕНЕЕ $6,62 \cdot 10^{-9}$ МЗ ПА/С.	
Е.В. Жировов, А.М. Зверев, В.А. Кобзев, И.А. Лозанов, К.В. Сметанин, Ф.А. Феимов, А.С. Шавин, С.Б. Нестеров. И.В. Удод.	75
БИОМЕДИЦИНСКИЕ ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	77
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ С АНТИАДГЕЗИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ	
Щур П.А Войтухов М.Р Ходырев Т.В.....	78
ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ В ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ И ГИБРИДНОЙ ПЛАЗМЕ	
Т.М. Васильева, М.Н. Васильев, Л.М. Василяк	80
УПРАВЛЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ПРОЦЕССАМИ В РЕАКЦИОННОМ ОБЪЕМЕ ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННЫХ РЕАКТОРОВ ФОРВАКУУМНОГО ДАВЛЕНИЯ	
Ч.В. Дык, М.К. Никитин, М.Н. Васильев, Т.М. Васильева	82
ЭМИССИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИСТОЧНИКИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПРИБОРАХ И УСТРОЙСТВАХ.....	84
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НАНЕСЕНИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА НИКЕЛЕВЫЙ КАТОД МЕТОДОМ КАТАФОРЕЗА И ЕГО ЭМИССИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Д.И. Селиверстов, М.В. Дыхнов, Д.В. Бычков, Н.Е. Кожевникова, А.В. Шуманов.....	85
СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНАЯ ПРОДУКЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ООО «КАТОД».	
П. Г. Нечаев.....	87
ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ООО “КАТОД”	
А. А. Бельтиков.....	88
ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО МЕТАЛЛОКСИДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ КАТОДОВ СВЧ ПРИБОРОВ	
Н.П. Горбунова, Н.Е. Кожевникова, Н.Е. Леденцова, А.В. Шуманов, В.И. Капустин, И.П. Ли.....	89

**ЭМИССИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ МЕТАЛЛОПОРИСТЫХ ВОЛЬФРАМ-БАРИЕВЫХ
КАТОДОВ С РАЗЛИЧНЫМИ СОСТАВАМИ ЭМИССИОННО-АКТИВНОГО
ВЕЩЕСТВА**

Д.В. Бычков, И.В. Фомин, Н.Е. Леденцова, А.В. Шуманов, Л.М. Борисова, И.П. Ли,
В.И. Капустин90

АВТОЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА ГРАФЕНА И УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТЕНОК

А.Ф. Белянин, В.В. Борисов, Н.И. Сушенцов, А.Л. Талис, Е.Р. Павлюкова92

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

РОССИЙСКОМУ ВАКУУМНОМУ СООБЩЕСТВУ 30 ЛЕТ

С.Б.Нестеров

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

РОССИЙСКОЕ ВАКУУМНОЕ СООБЩЕСТВО, ВЫСТАВКА, КОНКУРС

THE RUSSIAN VACUUM COMMUNITY IS 30 YEARS OLD

S.B.Nesterov

KEYWORDS

RUSSIAN VACUUM COMMUNITY, EXHIBITION, COMPETITION

Российскому научно-техническому вакуумному обществу исполнилось 30 лет. Сегодня мы проводим ежегодно международную выставку вакуумного и криогенного оборудования, конференции "Вакуумная техника, материалы и технология", "Вакуумная наука и техника", "Вакуумная техника и технологии", а также конференции для молодых ученых в МГТУ им. Н.Э. Баумана и КНИТУ, конкурс "Лучший инновационный продукт в области вакуумной и криогенной техники". Наша цель-развитие вакуумной и криогенной техники в России, подготовка молодых специалистов, консолидация ученых и специалистов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Нестеров Сергей Борисович – д.т. н., проф. РНТВО им. акад. С. А. Векшинского (ORCID: 0000-0002-7457-4213).

ГОРДИМСЯ ПРОШЛЫМ. СОЗДАЁМ БУДУЩЕЕ. ВАКУУММАШУ-80!

Е.Н. Капустин, А.Е. Капустин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУММАШ, ИННОВАЦИИ

WE ARE PROUD OF THE PAST. CREATING THE FUTURE. VACUUMMASH-80!

E.N. Kapustin, A.E. Kapustin

KEYWORDS

VACUUMMASH, INNOVATIONS

Все хорошо знают - АО «Вакууммаш» — это флагман российского вакуумного машиностроения. Инвестирует в новое производство, в кадровый потенциал. Разрабатывает и осваивает производство инновационных вакуумных насосов, без которых невозможно развитие многих отраслей промышленности. Сегодня Вакууммаш принимает на себя новый вызов - разработать и начать выпуск оборудования необходимого для российской промышленности для того, чтобы обеспечить технологическую независимость России.

Кроме того, 2023 год юбилейный. Вакууммашу исполняется 80 лет. И это повод поговорить об основных этапах становления Казанской вакуумной школы и современных инновационных направлениях развития АО «Вакууммаш».

Рассказывая об истории завода невозможно не рассказать о тандеме Вакууммаш-КХТИ. Сегодня взаимодействие АО «Вакууммаш» и КНИТУ-КХТИ вышло на совершенно иной уровень. Это не только подготовка новых инженерных кадров, но и реализация совместных проектов по разработке новых типов вакуумных насосов, в том числе никогда не производившихся в России.

Ещё в прошлом веке Казань стала союзным центром вакуумного машиностроения и сохраняет этот статус сегодня в России. В Казани есть всё для этого - научная база, своя школа по подготовке специалистов-вакуумщиков, есть АО «Вакууммаш» - крупнейшая компания в России, разрабатывающая и производящая вакуумное оборудование.

И сегодня мы говорим, что **«Казань – вакуумная столица России!»**

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Капустин Евгений Николаевич – кандидат технических наук. АО «Вакууммаш», 420059, г. Казань, ул. Тульская, д.58. e-mail: kapustinen@vacma.ru

Капустин Артур Евгеньевич. АО «Вакууммаш», 420059, г. Казань, ул. Тульская, д.58. e-mail: kapustinae@vacma.ru

«ПОСЛЕЗАВТРА» ВАКУУМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Я.О. Желонкин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА, ВАКУУМНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ, ВАКУУМНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.

"THE DAY AFTER TOMORROW" OF VACUUM TECHNOLOGIES

Ya.O. Zhelonkin

KEYWORDS

VACUUM TECHNOLOGY, VACUUM INDUSTRY, TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY, VACUUM TECHNOLOGICAL EQUIPMENT.

Доклад об этапах жизни рынка вакуумного технологического оборудования в новейшей истории РФ на примере деятельности компании «ФЕРРИ ВАТТ», а также авторский взгляд на перспективы и предложения по развитию отрасли.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Желонкин Ярослав Олегович – генеральный директор ООО «ФЕРРИ ВАТТ», г. Казань
Респ. Татарстан, ул. А. Кутуя, д. 159. e-mail: zhelonkin.ya@ferryvatt.ru

АО «ИНТЕК АНАЛИТИКА» – XVI ЛЕТ УСПЕШНОЙ РАБОТЫ В ОБЛАСТИ ВАКУУМНОЙ ТЕХНИКИ

Д.В. Ловцюс, К.М. Моисеев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМНЫЙ НАСОС, ВАКУУМНЫЙ ДАТЧИК, ЗАТВОР, КЛАПАН, ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА

INTEC ANALYTICS JSC – XVI YEARS OF SUCCESSFUL WORK IN THE FIELD OF VACUUM TECHNOLOGY

D.V. Lovtysus, K.M. Moiseev

KEYWORDS

VACUUM PUMP, VACUUM GAUGE, GATE VALVE, VACUUM VALVE, VACUUM SYSTEM

Компания «Интек Аналитика» является безусловным лидером на современном вакуумном рынке России, предлагает передовые решения с использованием самого современного вакуумного оборудования от лучших мировых производителей, что дает возможность подбирать оптимальные решения для задач наших клиентов. Наш ассортимент включает весь спектр вакуумной техники – насосы, датчики, течеискатели, запорно-регулирующую арматура, фитинги, масла и ремнаборы, а также законченные решения – вакуумные откачные системы, термобарокамеры и вакуумные печи и др.

В составе компании есть отдел логистики и таможенного оформления, сервисный центр, конструкторское бюро. Сервис-центр компании Интек Аналитика авторизован производителями всей по поставляемой нами продукции. Конструкторское бюро занимается расчетами и проектированием вакуумных откачных систем и установок – как новых, так и модернизируемых, выпуском рабочей и эксплуатационной документации.

Отдел вакуумного оборудования для научных исследований обеспечивает решениями и оборудованием ведущие исследовательские и учебные организации, отечественных разработчиков и изготовителей различных изделий, приборов и систем.

За годы работы накоплены компетенции по реализации вакуумных проектов в разных отраслях промышленности: нефтегазовой, металлургической, химической, атомной, целлюлозно-бумажной и других. Более 30% реализованных и выполняемых проектов приходится на аэрокосмическую отрасль: создание и модернизация испытательных стендов для проверки двигателей ЭРД и спутников, контроль прочности и герметичности, термовакуумные испытания.

Отделом сервиса обслуживаются вакуумные установки разных типов: вакуумные печи, установки электронно-лучевой сварки, барокамеры, мобильные откачные посты и прочее, осуществляется ремонт вакуумного оборудования большинства представленных на рынке производителей, в том числе его гарантийное и постгарантийное обслуживание.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ловцюс Дмитрий Викторович – заместитель генерального директора. АО «Интек Аналитика», г. Санкт-Петербург. e-mail: dmitry.lovqus@intech-group.ru

Моисеев Константин Михайлович – кандидат технических наук, доцент (ORCID: 0000-0000-0000-0000). МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва. e-mail: k.moiseev@bmstu.ru

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТЕНДА ИСПЫТАНИЯ БЕЗЭЛЕКТРОДНОГО ПЛАЗМЕННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПЕРСТ

Н.В.Павлушин, Н.Н.Павлушин, А.А. Тимашков, В.А. Рыбалко

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ПЛАЗМЕННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ИМИТАЦИЯ КОСМОСА, ВАКУУМНЫЙ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД

CONSTRUCTIVE FEATURES OF ELECTRODELESS PLASMA ENGINE EXPERIMENTAL INSTALLATION

N.V.Pavlushin, N.N.Pavlushin, A.A. Timashkov, V.A Rybalko

KEYWORDS

PLASMA ENGINE, SPACE SIMULATION, VACUUM TEST CHAMBER

В рамках программы технического перевооружения экспериментально-стендовой базы плазменных технологий НИЦ «Курчатовский институт» компанией ООО «Эрствак» была предложена конструкция экспериментального стенда ПЕРСТ для исследования технических характеристик прототипов безэлектродных плазменных реактивных двигателей (БРД).

Стенд ПЕРСТ представляет собой вакуумную камеру из нержавеющей стали, герметично разделенную диафрагмой на два отсека: отсек имитации космоса и двигательный отсек. Общая длина стенда составляет 20,7м, диаметр вакуумной камеры 5м, а объем пространства имитации космоса более 300м².

Двигательный отсек расположен на передвижной платформе с электромеханическим приводом и может отъезжать от основной камеры на 4 метра для проведения крупных профилактических работ с двигателем. При этом диафрагма остается на основной камере. Двигатель установлен на телескопическом механизме, который выводит его за пределы камеры в подкрановую зону в удобное для проведения работ положение. На передвижной платформе кроме камеры двигательного отсека установлены система управления двигателем и форвакуумные насосы.

Основная камера предназначена для имитации космического пространства. В корпусе камеры имеется достаточное количество патрубков для подвода необходимых инженерных коммутаций к диагностическому оборудованию контроля работы двигателя. Диагностики располагаются на двух столах, которые перемещаются вдоль оси камеры. Один из столов дополнительно перемещается по радиусу. Перемещения производятся телескопическим механизмом с сервоприводами, что обеспечивает очень высокую точность. Для проведения замены тяжелых диагностик двигательный отсек вместе с диафрагмой отъезжает от основной камеры и телескопический механизм выводит столы с диагностикой за пределы основной камеры в подкрановую зону.

Для проведения небольших ремонтных и наладочных работ как в двигательном отсеке, так и отсеке имитации космоса предусмотрены двери для входа в камеру обслуживающего персонала.

Система откачки камеры включает в себя винтовые насосы и насосы Рутс для форвакуумной откачки, а также турбомолекулярные и криогенные насосы для высоковакуумной откачки и обеспечивает высокий вакуум с предельным давлением

$5 \cdot 10^{-4}$ Па, а при работе двигателя с натеканием 0.1 г/с по аргону в камеру имитации космоса - $1 \cdot 10^{-2}$ Па. Для защиты криогенных насосов от теплового воздействия плазмы в конструкции предусмотрены тепловые экраны с водяным охлаждением.

Для обеспечения теплоотвода от внутренней стенки и крышки отсека имитации космоса предусмотрена водяная рубашка. Чтобы исключить коррозию нержавеющей стали под воздействием электромагнитного поля, каждая секция обеспечена системой антикоррозийной защиты.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Павлушин Николай Викторович – главный конструктор ООО «Эрствак», Москва, ул. Электрозаводская 23с8. e-mail: n.pavlushin@erstvak.com

Павлушин Никита Николаевич – инженер-конструктор ООО «Эрствак», Москва, ул. Электрозаводская 23с8. e-mail: n.n.pavlushin@erstvak.com

Тимашков Артём Александрович – главный инженер-начальник проектного отдела ООО «Эрствак», Москва, ул. Электрозаводская 23с8. e-mail: at@erstvak.com

Рыбалко Василий Александрович – технический директор ООО «Эрствак», Москва, ул. Электрозаводская 23с8. e-mail: v.rybalko@erstvak.com

ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ВАКУУМЕ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАКУУМНОГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА В КАЧЕСТВЕ РАБОЧЕГО МОДУЛЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИСТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ В ВАКУУМ

А.Е. Зарвин, А.С. Яскин, В.В. Каляда, В.Э. Художитков, К.А. Дубровин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ, ВАКУУМ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, БИФУРКАЦИИ

USING A VACUUM GAS DYNAMIC STAND AS A WORKING MODULE FOR STUDYING THE FLOW OF LIQUIDS INTO VACUUM

A.E. Zarvin, A.S. Yaskin, V.V. Kalyada, V.E. Khudozhitkov, K.A. Dubrovin

KEYWORDS

FLUID OUTFLOW, VACUUM, MODELING, BIFURCATION

Целью работы является создание рабочего модуля для проведения экспериментов по изучению истечения жидкостей и парожидкостных потоков в вакуум или сильно разреженное пространство в диапазоне давлений в камере расширения до 10 Па, а также экспериментальное исследование физических явлений и процессов, сопровождающих стационарное истечение перегретых струй в сильно разреженную среду.

Рабочий модуль является составной частью экспериментальной газодинамической установки ЛЭМПУС – 2. Для выполнения работ по истечению жидкости установка дополнительно была оснащена системами управления и контроля потоком жидкости, визуализации струй жидкости, контроля температуры жидкости, термостатированным сосудом с жидкостью, системой управления и контроля давлением в резервуаре с жидкостью и сопловом блоке, средствами контроля расхода жидкости, сопловым блоком с насадками различного типа. Существующие методы фоторегистрации газовых струй с использованием фотокамеры NIKON D7200 и фотокамеры PCO PANDA были адаптированы для контроля параметров и формы течения жидкости в вакуумной камере.

Выполнены испытания созданного модуля при истечении в вакуум рабочей жидкости, в качестве которой выбран этанол, а также парожидкостной смеси, проведено изучение процесса истечения жидкости и парожидкостной смеси в глубокий вакуум, в том числе сопоставление регистрируемого процесса с собственными и известными из литературы данными истечения струй в атмосфере или область пониженного давления.

Ранее авторами наблюдались явления самопроизвольного изменения стационарных жидких и парожидкостных струй с образованием криволинейных течений [1, 2], бифуркации течений либо в форме резкого излома прямолинейной жидкостной струи, либо в форме образования двух, трех и более парожидкостных течений [3]. В настоящей работе проведено изучение наблюдавшегося явления бифуркации течения перегретой жидкости, а также поиск условий моделирования истечения струй из сопел спутников типа Cubesat.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00750 в Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича с использованием оборудования ЦКП «Прикладная физика» Новосибирского государственного университета.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Зарвин Александр Евгеньевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник (ВАК) (ORCID: 0000-0002-1973-5088). Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, г. Новосибирск, ведущий научный сотрудник, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, заведующий отделом. e-mail: zarvin@phys.nsu.ru

Яскин Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент (ВАК) (ORCID: 0000-0003-0600-5366). Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, ведущий научный сотрудник. e-mail: yas@nsu.ru

Каляда Валерий Владимирович, ведущий электроник, (ORCID: 0000-0003-2739-5017). Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск. e-mail: v.kalyada@nsu.ru

Художитков Виталий Эдуардович – (ORCID: 0000-0001-5045-8587). Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, г. Новосибирск, младший научный сотрудник, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, научный сотрудник. e-mail: v.khudozhitkov@g.nsu.ru

Дубровин Кирилл Алексеевич – (ORCID: 0000-0001-9655-1242). Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, г. Новосибирск, младший научный сотрудник, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, научный сотрудник. e-mail: k.dubrovin1@g.nsu.ru

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В АМОРФНОМ ЛЬДЕ.

В.Б. Ефимов, О.Г. Рыбченко, В.В. Сеницын

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ПРИМЕСЬ-ГЕЛИЕВЫЕ ГЕЛИ, АМОРФНЫЙ ЛЕД, ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

PHASE TRANSITION IN AMORPHOUS ICE.

V.B. Efimov, O.G. Rybchenko, V.V. Sinitsyn

KEYWORDS

IMPURITY-HELIUM GELS, AMORPHOUS ICE, PHASE TRANSITIONS

Вопросы формирования льда при низких температурах, аморфный лед разных модификаций, фазовые переходы в аморфных образцах льда и процессы его кристаллизации имеют большой интерес с учетом определяющей зависимости белковой формы жизни от воды в ее разных проявлениях, а также важной роли воды и льда во многих геологических процессах на нашей Земле. В данной работе мы приводим результаты исследований фазовых переходов в аморфных нанобразцах льда, полученных после распада примесь-гелиевых гелей. Особенности методики связаны с конденсацией смеси малой концентрации примеси в большом количестве газообразного гелия на поверхность сверхтекучего гелия. Это позволяет достигать скорость охлаждения смеси $\sim 10^3$ К/с от комнатной температуры до ≈ 1.6 К. В данной работе в качестве примеси использовались водяные пары.

Рентгеноструктурный анализ аморфных ледяных нанобразцов (*NPA*), полученных после распада гелиевого геля, показал, что аморфное гало для таких образцов может быть описано существованием двух аморфных фаз – фазы малой плотности (*LDA*, примерно 15%) и фазы средней плотности (*MDA*, остальное). Существование *MDA* фазы было недавно впервые получено экспериментально [1] и приводимые нами результаты также подтверждают существование такой аморфной фазы льда. Причем попытка подгонки данных наших измерений с помощью известных ранее аморфных фаз льда *LDA* и *HDA* (аморфной фазы высокой плотности) дала неудовлетворительные результаты.

Установлено, что в процессе отжига имеет место многоступенчатый процесс структурных превращений исходного *LDA+MDA* образца: от начальных изменений аморфного состояния при 110К через кристаллизацию кубической фазы льда I_c с ее интенсивным ростом при температуре 130К до превращения кубического льда в гексагональную фазу I_h в температурном интервале $T=135\div 230$ К. Как и в работе [1] *MDA* фаза в процессе отжига переходит не в *LDA* фазу, как это было обнаружено для аморфной фазы высокой плотности, а в кристаллическую фазу (I_c) и (I_h).

Стоит отметить, что применяемую нами методику распада примесь-гелиевого геля можно сравнивать с формированием льда в процессе развития нашей Вселенной (при малых концентрациях молекул воды и достаточно большого количества атомов легких элементов таких как водород, дейтерий, гелий и при низких температурах реликтового излучения), а также с конденсацией паров воды в верхних слоях атмосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alexander Rosu-Finsen, Michael B Davies, Alfred Amon, Han Wu, Andrea Sella, Angelos Michaelides, Christoph G Salzmann, SCIENCE 379, 474 (2023)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ефимов Виктор Борисович – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник (ORCID: 0000-0002-9195-2458). Институт физики твердого тела, г. Черноголовка Московской обл. e-mail: efimov@issp.ac.ru

Рыбченко Оксана Геннадьевна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник (ORCID: 0000-0002-6802-0337). Институт физики твердого тела, г. Черноголовка Московской обл. e-mail: orybch@issp.ac.ru

Синицын Виталий Витальевич – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник (ORCID:0000-0002-2077-2687). Институт физики твердого тела, г. Черноголовка Московской обл. e-mail: sinitsyn@issp.ac.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МАКРОСКОПИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ КВАНТОВО-ВИХРЕВЫХ СИСТЕМ В СВЕРХТЕКУЧЕМ ГЕЛИИ МЕТОДОМ ЗАТУХАНИЯ ПРОБНЫХ ОДИНОЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ ТЕПЛА.

В.Б. Ефимов, А.А. Орлова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

СВЕРХТЕКУЧИЙ ГЕЛИЙ, ВТОРОЙ ЗВУК, КВАНТОВЫЕ ВИХРИ, ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

INVESTIGATION OF QUANTUM VORTEX SYSTEM MACROSCOPIC DYNAMICS BY TEST SINGLE HEAT PULSE ATTENUATION METHOD IN HE-II.

V.B. Efimov, A.A. Orlova

KEYWORDS

SUPERFLUID HELIUM, SECOND SOUND, QUANTUM VORTICES, TURBULENCE

В данной работе представлена простая и эффективная методика исследования особенностей формирования, временной эволюции и распада вихревых клубков, формируемых противотоком нормальной и сверхтекучей компонент He-II, детектированием состояния вихревой системы пробными одиночными прямоугольными импульсами второго звука одной из разновидностей квазиодномерной геометрии, а также первые полученные с ее помощью результаты. Данная методика позволяет оценить стационарную плотность вихревых нитей при конкретной температуре гелиевой ванны и мощности тепловой накачки, скорости формирования и распада вихревых клубков, а также проверить равномерность распределения вихрей вдоль направления распространения теплового потока в разные моменты от включения/выключения накачки.

Используемая в данном исследовании ячейка представляет собой два узких ($d \approx 3$ mm) перпендикулярно пересекающихся канала круглого сечения, в каждый из которых помещается по нагревателю, представляющих собой металлические тонкие пленки на диэлектрической подложке из оксида кремния. Один из нагревателей является источником квантованных вихрей, генерируемых тепловыми потоками различной мощности и формы. Второй нагреватель является источником одиночных пробных импульсов второго звука. Для регистрации импульсов используется сверхпроводящий детектор-болومتر, представляющий собой пленку из оловянной бронзы на подложке из кварцевого стекла. Болومتر обладает максимальной чувствительностью в середине своего сверхпроводящего перехода, температуру которого можно сдвигать с помощью магнитного поля от сверхпроводящего соленоида.

В случае, когда нагреватели располагались непосредственно у перекрестья каналов, а генерация вихрей осуществлялась стационарной накачкой, наблюдалось затухание тепловых импульсов при превышении критической мощности теплового потока. Зависимость величины затухания от мощности постоянного теплового потока имела вид степенной функции с $n \approx 2$. Также наблюдалось довольно длительное по времени ($\sim 1-10$ сек) возвращение в равновесие после отключения постоянной накачки, по сравнению с временами разрастания вихревого клубка, происходящего почти мгновенно. Полученные результаты полностью воспроизводят результаты наших экспериментов в случаях, когда

один нагреватель являлся и источником пробных импульсов второго звука, и источником постоянного теплового потока.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ефимов Виктор Борисович – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник (ORCID: 0000-0002-9195-2458). Институт физики твердого тела, г. Черноголовка Московской обл. e-mail: victor_efimov@yahoo.co.uk

Орлова Алеся Александровна – младший научный сотрудник (ORCID: 0000-0001-5700-3729). Институт физики твердого тела, г. Черноголовка Московской обл. e-mail: orlova_lkk@issp.ac.ru

РАЗРАБОТКА МИКРОФОКУСНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ТРУБОК ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

И.Ф. Ханбеков, Н.Н. Потрахов, Е.Н. Потрахов, Д.В. Копытов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ, ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ, ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ, МИКРОФОКУСНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ

DEVELOPMENT OF MICROFOCUS X-RAY TUBES FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING OF MICROELECTRONICS

I.Khanbekov, N.Potrakhov, E.Potrakhov, D.Kopytov

KEYWORDS

X-RAY TUBES, ELECTRO-VACUUM DEVICES, TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF ELECTRO-VACUUM DEVICES, MICROFOCUS X-RAY TUBES

Широко известно применение микрофокусных рентгеновских трубок в области неразрушающего контроля. В настоящее время отечественная промышленность активно осваивает производство микроэлектроники. Для контроля качества продукции, в основном, применяются аппараты с импортными рентгеновскими трубками, не имеющими отечественных аналогов.

Для обеспечения технологического суверенитета России ведется разработка отечественной микрофокусной рентгеновской трубки в составе комплексированного моноблока. Рабочее напряжение трубки находится в интервале 20-100 кВ, фокусное пятно 5-10мкм, максимальная мощность – 15 Вт. Трубка оснащена медным массивным анодом с наклонной вольфрамовой мишенью. Вывод энергии осуществляется через бериллиевое окно.

Разработка предполагает решение ряда технологических задач: разработка керамического высоковольтного изолятора на 150 кВ, разработка микрофокусной электронно-лучевой пушки с диаметром пучка 5-10мкм, разработка технологии производства изделия и построение опытного и серийного производства. Также, для реализации проекта ведется разработка отечественного высоковольтного источника постоянного напряжения.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ханбеков Иван Фэритович – кандидат технических наук (ORCID:0000-0002-8381-6579). Начальник отдела инновационных разработок ООО «ТД ХИММЕД», г. Москва. e-mail: ivan.khan@yandex.ru

Потрахов Николай Николаевич – доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0001-8806-0603). Заведующий кафедрой «Электронных приборов и устройств» СПбГЭТУ «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург. e-mail: nnpotrakhov@etu.ru

Потрахов Евгений Николаевич – кандидат технических наук (ORCID: 0009-0008-0592-8736). Генеральный директор ЗАО «ЭЛТЕХ-Мед, г. Санкт-Петербург. e-mail: evg2214@yandex.ru

Копытов Дмитрий Вячеславович – студент (ORCID:0009-0004-1628-9045). Кафедра
«Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail:
dima.sds@mail.ru

УСТАНОВКА ПО ИЗУЧЕНИЮ ВИХРЕВОГО ДВИЖЕНИЯ В УЗКОМ ЗАЗОРЕ МЕЖДУ ПЛОСКИМИ ДИСКАМИ В СВЕРХТЕКУЧЕМ НЕ-II

П.Г. Селин, А.А. Левченко

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ГИДРОДИНАМИКА, НЕЛИНЕЙНАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ, КВАНТОВАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ,
КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

SETUP FOR THE STUDY OF VORTEX MOTION IN A NARROW GAP BETWEEN FLAT DISKS IN SUPERFLUID HE-II

P.G. Selin, A.A. Levchenko

KEYWORDS

HYDRODYNAMICS, NON-LINEAR TURBULENCE, QUANTUM TURBULENCE, QUANTUM
PHYSICS

В последнее время во всём мире наблюдается всё больший интерес к проблемам турбулентности. В связи с развитием методов регистрации движения и анализа данных появилась возможность более точной регистрации турбулентности и обработки данных.

В качестве модельных объектов для исследования турбулентности используются вода, жидкий водород, жидкий гелий и другие жидкости. Особый интерес для исследования представляет сверхтекучий гелий, так как в нём возникают квантовые вихри при скоростях выше некоторой критической и изучение свойств которых способствует расширению существующих представлений о физике турбулентных явлений.

Разработана и изготовлена экспериментальная установка для изучения процессов вихревого движения в сверхтекучем гелии в узких зазорах. Установка позволяет проводить прямое наблюдение и видеосъемку процессов, происходящих в He-II при температурах ниже T_λ . Проведенные испытания продемонстрировали влияние скорости вращения дисков на перенормированное значение вязкости жидкости в зазоре между дисками. Это открывает возможности наблюдения и исследования размерного эффекта при уменьшении ширины зазора.

Проведена серия предварительных экспериментов, которые подтвердили возможность регистрации угла отклонения, свободно подвешенного в He-II плоского диска от положения равновесия вследствие передачи углового момента силы, который возникает в жидкости при вращении с заданной скоростью расположенного под ним диска. Угловой момент, порождаемый в He-II вращающимся диском, передается через слой жидкости между дисками к подвешенному над ним свободному диску.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №23-72-30006.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Селин Петр Геннадьевич – м.н.с., аспирант (ORCID: 0000-0001-9466-3080). Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН г. Черногловка Московской обл. e-mail: selin@issp.ac.ru

Левченко Александр Алексеевич – доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, доцент (ORCID: 0000-0002-4161-9083). Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН г. Черноголовка Московской обл. e-mail: levch@issp.ac.ru

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПЛАВНЫМ ХОДОМ НА НИЗКИХ ОБОРОТАХ

П.Г. Селин, И.А. Ремизов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ДВИГАТЕЛИ С ПЛАВНЫМ ХОДОМ, НИЗКООБОРОТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ,
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

ELECTROMAGNETIC AC MOTOR WITH SMOOTH RUNNING AT LOW SPEEDS

P.G. Selin, I.A. Remizov

KEYWORDS

SMOOTH RUNNING MOTORS, SLOW SPEED MOTORS, ELECTROMAGNETIC MOTOR

Известны электродвигатели переменного тока, которые состоят из статора, разделённого на конечное число полюсов, и металлического или ферромагнитного ротора. При пропускании электрического тока через обмотки статора в воздушном зазоре между статором и ротором создаётся вращающееся электромагнитное поле.

К данному двигателю наиболее близким по достигаемому результату является двигатель, который применяется индукционный счётчик электроэнергии. В исходном состоянии плоский диск, жестко закрепленный на вертикальной оси, и катушки находятся в состоянии равновесия. При пропускании переменного электрического тока через катушки в них индуцируется переменное магнитное поле. Разность фаз между токами, протекающими по обмоткам катушек, составляет 90 градусов. Взаимодействующие между собой токи с одинаковой фазой притягиваются, а противоположные – отталкиваются, что приводит к вращению диска. Приложенный к диску вращающий магнитный момент пропорционален произведению токов, протекающих через катушки, $M_{\text{Вр}} \sim I_1 \cdot I_2$. При взаимодействии с полем постоянного магнита эти токи создают тормозящий момент $M_{\text{Торм}}$, величина которого пропорциональна скорости вращения диска, $M_{\text{Торм}} \sim \omega$. Когда разгоняющий момент $M_{\text{Вр}}$ сравнивается по величине с тормозящим моментом, диск вращается с постоянной скоростью. Таким образом, угловая скорость вращения диска оказывается пропорциональной произведению токов, проходящих через обмотки катушек $\omega \sim I_1 \cdot I_2$.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №23-72-30006.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Селин Петр Геннадьевич – м.н.с., аспирант (ORCID: 0000-0001-9466-3080). Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН, г. Черноголовка Московской обл. e-mail: selin@issp.ac.ru

Ремизов Игорь Андреевич – кандидат физических наук. Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН, г. Черноголовка Московской обл. e-mail: remizov@issp.ac.ru

ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРА ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РАЗРЯДЕ ВАКУУМНОЙ ДУГИ ОТ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

А.Н. Долгов, С.Г. Давыдов, В.О. Ревазов, Р.Х. Якубов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМНЫЙ ПРОМЕЖУТОК, ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ДУГОВОЙ РАЗРЯД, ЭРОЗИЯ

DEPENDENCE OF THE NATURE OF EROSION PROCESSES IN THE DISCHARGE OF A VACUUM ARC ON THE TIME PARAMETERS OF ALTERNATING CURRENT

A.N. Dolgov, S.G. Davydov, R.K. Yakubov

KEYWORDS

VACUUM GAP, HIGH VOLTAGE ARC DISCHARGE, EROSION

Проведено изучение картины эрозии в высоковольтном дуговом разряде, инициируемом в коротком вакуумном промежутке с использованием вспомогательного искрового разряда по поверхности диэлектрика. Предполагалось, что режимы, позволяющие реализовать наибольшие токи, окажутся наиболее разрушительными для электродной системы. Обнаружена зависимость действующих механизмов эрозии в вакуумном дуговом разряде переменного тока от временного профиля протекающего тока. Для относительно медленного токового режима обнаружены признаки отколов под действие теплового удара. Для быстрых – признаки воздействия излучения на диэлектрик.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Долгов Александр Николаевич – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник. ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ имени Н.Л. Духова, Россия, Москва. E-mail: vnii4@vnii.ru.

Давыдов С.Г. – кандидат технических наук, начальник НИЛ. ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ имени Н.Л. Духова, Россия, Москва. E-mail: vnii4@vnii.ru.

Ревазов Владислав Олегович – кандидат технических наук, заместитель начальника отдела. ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ имени Н.Л. Духова, Россия, Москва. e-mail: vnii4@vnii.ru.

Якубов Рустам Халимович – кандидат технических наук, начальник отделения. ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ имени Н.Л. Духова, Россия, Москва. E-mail: vnii4@vnii.ru.

ГЕНЕРАЦИЯ КВАНТОВЫХ ВИХРЕЙ ВОЛНАМИ НА ПОВЕРХНОСТИ СВЕРХТЕКУЧЕГО ГЕЛИЯ

М.Р. Султанова, И.А. Ремизов, А.А. Левченко

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

КВАНТОВЫЕ ЖИДКОСТИ, ТУРБУЛЕНТНОСТЬ, ВИХРЕВЫЕ ПОТОКИ, КВАНТОВЫЕ ВИХРИ

GENERATION OF QUANTUM VORTICES BY WAVES ON THE SURFACE OF SUPERFLUID HELIUM

M.R. Sultanova, I.A. Remizov, A.A. Levchenko

KEYWORDS

QUANTUM FLUIDS, TURBULENCE, VORTEX FLOWS, QUANTUM VORTEXES

Экспериментально исследовано взаимодействие инжектированных зарядов в сверхтекучем гелии He-II (отрицательно заряженных электронных пузырьков диаметром ~ 1.7 нм и положительно заряженных снежных шариков диаметром ~ 0.7 нм) с квантовыми вихрями под свободной поверхностью слоя сверхтекучего гелия He-II глубиной 30 мм в интервале температур от 1.5 до 2.1 К. Точечный источник зарядов располагался на одной из боковых граней прямоугольной рабочей ячейки линейными размерами 50x50x30 мм. Сегментированный плоский коллектор был расположен на соседней боковой грани ячейки. Боковые грани и дно рабочей ячейки были электрически изолированы друг от друга. Подвешенная на расстоянии в 3 мм над торцами боковых граней в паре над поверхностью слоя He-II крышка ячейки была изготовлена из плавленого кварца и покрыта полупрозрачной проводящей пленкой. Это позволяло создавать неоднородные электрические поля в объеме слоя такие, что можно было обеспечить движение зарядов от источника к коллектору под поверхностью слоя He-II. О направлении движения зарядов в He-II в приложенном статическом электрическом поле судили по распределению токов по пяти вертикально ориентированным сегментам составного коллектора. Линейные размеры сегментов 0.9x3.0 см, каждый из них был соединен с отдельным усилителем тока[. Вихревые течения на поверхности и в объеме слоя He-II возникали в результате нелинейного взаимодействия между взаимно перпендикулярными капиллярными волнами, возбуждаемыми в жидкости двумя плоскими плунжерами, которые совершали возвратно - поступательные движения в горизонтальной плоскости с частотой $f_g = 49.8$ Гц.

Обнаружено, что в интервале температур 2.15-1.5 К распределение тока отрицательных зарядов по сегментам приемного коллектора заметно изменяется при включении волновой накачки. При температуре $T=2.15$ К возбуждение стоячих капиллярных волн на поверхности He-II практически не влияет на распределение токов отрицательных зарядов по сегментам. Однако, при понижении температуры He-II до 1.5 К возбуждение волн и вихрей на поверхности сверхтекучей жидкости приводит к существенному перераспределению регистрируемых токов отрицательных зарядов по сегментам. Наблюдаемые существенные различия в поведении распределения токов положительных и отрицательных зарядов знаков можно объяснить тем, что при температурах $T \leq 1.5$ К электронные пузырьки могут захватываться клубками квантовых вихрей, содержание которых значительно возрастает при возбуждении нелинейных волн на поверхности сверхтекучей жидкости.

Работа была выполнена в рамках гранта РФФ № 23-72-30006

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Султанова Мадина Рафаиловна – инженер-исследователь Институт теоретической физики имени Л.Д.Ландау РАН, г. Черноголовка Московской обл. e-mail: mabinkaiftt@issp.ac.ru

СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНАЯ ОТКАЧКА ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ НИЖЕ КОМНАТНОЙ

Ю.В. Панфилов, Л.Л. Колесник, Г.М. Сокол, А.А. Тымина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ИЗОТЕРМЫ АДСОРБЦИИ, СВЕРХВЫСОКИЙ ВАКУУМ, ПАРЫ ВОДЫ, КРИОГЕННАЯ ТЕМПЕРАТУРА

ULTRAHIGH VACUUM PUMPING WITH BELOW ROOM TEMPERAYURE

Y.V. Panfilov, L.L. Kolesnik, G.M. Sokol, A.A. Tymina

KEYWORDS

ADSORPTION ISOTHERMS, ULTRAHIGH VACUUM, WATER VAPOR, CRYOGEN TEMPERATURE

Приведены результаты расчётов режимов сверхвысоковакуумной откачки паров воды в диапазоне температур 220–293 К. Показано влияние охлаждения вакуумной камеры на время откачки паров воды. Построены изотермы адсорбции Ленгмюра, БЭТ, Френдлиха для температур ниже комнатной.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ю.В. Панфилов – доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0001-6861-2028), заведующий кафедрой «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва; e-mail: panfilov@bmstu.ru

Л.Л. Колесник – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва; генеральный директор ООО «Электровакуумные технологии», г. Москва; e-mail: kolesnik@bmstu.ru; l.kolesnik@m-i.ru

Г.М. Сокол – студент кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва; техник НОЦ «Функциональные Микро / Наносистемы», г. Москва; e-mail: sgm20t312@student.bmstu.ru

А.А. Тымина – студент кафедры «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва; техник НОЦ «Функциональные Микро / Наносистемы», г. Москва; e-mail: ta20t458@student.bmstu.ru

ЭНТАЛЬПИИ ОБРАЗОВАНИЯ И АТОМИЗАЦИИ ГАЗООБРАЗНЫХ ОКСИДОВ РЕНИЯ

Е.К. Казенас, Н.А. Андреева, Г.К. Астахова, В.А. Волченкова, О.А. Овчинникова, Т.Н. Пенкина, В.Б. Смирнова, А.А. Фомина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ДАВЛЕНИЕ И СОСТАВ ПАРА, ОКСИДЫ РЕНИЯ, ЭНТАЛЬПИИ АТОМИЗАЦИИ И
ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ОКСИДОВ

ENTHALPIES OF FORMATION AND ATOMIZATION OF GASEOUS RHENIUM OXIDES

E.K. Kazenas, N.A. Andreeva, G.K. Astakhova, V.A. Volchenkova, O.A. Ovchinnikova, T.N. Penkina, V.B. Smirnova, A.A. Fomina

KEYWORDS

PRESSURE AND COMPOSITION OF VAPOR, RHENIUM OXIDES, ENTHALPIES OF
ATOMIZATION AND FORMATION OF GASEOUS OXIDES

На основе экспериментальных данных по испарению ReO_2 и ReO_3 методом масс-спектрометрии исследованы состав и давления пара и определены энтальпии образования и атомизации газообразных оксидов рения $\text{ReO}_{3(r)}$ и $\text{Re}_2\text{O}_{7(r)}$. Для области температур 450-1100 К дан график температурной зависимости давления пара над оксидами рения: Re_2O_7 , ReO_3 , ReO_2 .

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Казенас Евгений Константинович - доктор технических наук, главный научный сотрудник (ORCID: 0000-0002-2123-0273). Институт металлургии и материаловедения им. А.А.

Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН), г. Москва. e-mail: ekazenas@imet.ac.ru

Андреева Надежда Александровна - научный сотрудник (ORCID: 0000-0003-2237-1956).

Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН), г. Москва. e-mail: andreeva150388@mail.ru

Астахова Галина Константиновна - научный сотрудник. Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН), г. Москва.

e-mail: gastakhova@imet.ac.ru

Волченкова Валентина Анатольевна - кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник (ORCID: 0000-0002-3745-9806). Институт металлургии и материаловедения им.

А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН), г. Москва. e-mail:

vvolchenkova@imet.ac.ru

Овчинникова Ольга Александровна - старший научный сотрудник (ORCID: 0000-0002-1981-0914). Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской

академии наук (ИМЕТ РАН), г. Москва. e-mail: oovchinnikova@imet.ac.ru

Пенкина Татьяна Николаевна - старший научный сотрудник (ORCID: 0000-0002-8201-1998). Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии

наук (ИМЕТ РАН), г. Москва. e-mail: tpenkina@imet.ac.ru

Смирнова Валентина Борисовна - научный сотрудник (ORCID: 0000-0002-6645-0640).
Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук
(ИМЕТ РАН), г. Москва. e-mail: vsmirnova@imet.ac.ru

Фомина Алла Алексеевна - научный сотрудник (ORCID: 0000-0002-8057-4113). Институт
металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ
РАН), г. Москва. e-mail: afomina@imet.ac.ru

РЕЛЯТИВИСТСКИЙ ГИРОТРОН НА ТРЕТЬЕЙ ГАРМОНИКЕ ЦИКЛОТРОННОЙ ЧАСТОТЫ

Е.В. Иляков, Ю.К. Калынов, И.С. Кулагин, Ю.Д. Гром, В.Н. Мануилов, А.С. Шевченко

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

РЕЛЯТИВИСТСКИЙ ГИРОТРОН, ЦИКЛОТРОННЫЕ ГАРМОНИКИ, СЕЛЕКТИВНОСТЬ

RELATIVISTIC GYROTRON AT THE THIRD HARMONIC OF CYCLOTRON FREQUENCY

E.V. Ilyakov, Yu.K. Kalynov, I.S. Kulagin, Yu.D. Grom, V.N. Manuilov, A.S. Shevchenko

KEYWORDS

RELATIVISTIC GYROTRON, CYCLOTRON HARMONICS, SELECTIVITY

Продвижение релятивистских гиротронов в направлении увеличения частоты при сохранении выходной мощности и КПД связано с получением больших магнитных полей. Этого предлагается избежать путем перехода к работе гиротрона на более высокой гармонике, для которой рабочее магнитное поле соответствующим образом уменьшается. Для обеспечения селективной работы гиротрона на высоких гармониках можно разбить пространство взаимодействия гиротрона на два электродинамически связанных резонатора различного диаметра, достаточно коротких для возбуждения собственных СВЧ колебаний, но в которых можно обеспечить необходимую трансформацию и связь мод на определенной гармонике циклотронной частоты. В этом случае взаимодействие высокочастотного поля с электронным пучком происходит на большей длине и рабочая комбинация мод становится выделенной по стартовым токам.

Приведены результаты экспериментального исследования релятивистского гиротрона на 3-й гармонике циклотронной частоты со связанными резонаторами на модах TE_{9.1} и TE_{9.3}. Для повышения электропрочности и выходной мощности применен выходной резонатор большего диаметра с более высоким радиальным индексом рабочей моды. Выходная мощность достигала 0,8 МВт на длине волны 3,8 мм при КПД ~14%.

Работа выполняется в рамках госзадания ИПФ РАН, тема № 0030-2021-0027.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Иляков Евгений Викторович – кандидат физико-математических наук. ORCID: 0009-0004-9981-9784. Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород. E-mail: ilyakov@ipfran.ru

Калынов Юрий Константинович – кандидат физико-математических наук. Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород. E-mail: kalynov@ipfran.ru

Кулагин Игорь Станиславович – кандидат физико-математических наук. ORCID: 0000-0002-1216-6580. Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород. E-mail: ikulagin@ipfran.ru

Гром Юрий Дмитриевич – Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород. E-mail: grom@ipfran.ru

Мануилов Владимир Николаевич – доктор физико-математических наук, профессор,
ORCID: 0000-0001-7962-5254. Нижегородский госуниверситет им. Н. И. Лобачевского. г.
Нижегород. E-mail: mavnik1@yandex.ru

Шевченко Александр Сергеевич – Институт прикладной физики РАН, г. Нижний
Новгород.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ МИШЕНЕЙ НА СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА ВТСП ПРОВОДНИКА СОСТАВА $YBa_2Cu_3O_7$

А.В. Феоктистов, А.А. Каменев, Дегтяренко П.Н. Чепиков В. Н

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВЕРХПРОВОДНИКИ, КЕРАМИЧЕСКИЕ МИШЕНИ, КРИТИЧЕСКИЙ ТОК, ИМПУЛЬСНОЕ ЛАЗЕРНОЕ РАСПЫЛЕНИЕ,

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE DENSITY OF CERAMIC TARGETS ON THE SUPERCONDUCTING PROPERTIES OF THE $YBa_2Cu_3O_7$ HTSC CONDUCTOR

A.V. Feoktistov, A.A. Kamenev, P.N. Degtyarenko, V.N. Chepikov

KEYWORDS

HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS, CERAMIC TARGETS, CRITICAL CURRENT, PULSED LASER DEPOSITION

Настоящая работа посвящена изготовлению керамических мишеней состава высокотемпературного сверхпроводника $YBa_2Cu_3O_7$ для лазерного распыления и исследованию влияния свойств и характеристик мишени на свойства полученных лент сверхпроводников. Для изготовления плёнок были изготовлены керамические мишени состава $YBa_2Cu_3O_7$ разной плотности. Показано возможность формирования более плотных структур керамических мишеней без изменения размеров структурных элементов мишени. Установлено, что толщина напыляемого слоя ВТСП растёт с увеличением плотности керамической мишени при неизменности размеров структурных элементов. Показано, что увеличение толщины плёнки из ВТСП приводит к увеличению критического тока, при неизменности фазового состава мишени и плёнки.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Феоктистов Алексей Владимирович – Главный технолог (ORCID: 0000-0003-1712-570X). ООО «КТМ», г. Москва, e-mail: a.feoktistov@cryotm.ru

Каменев Антон Александрович – кандидат химических наук (ORCID: 0009-0006-8141-9314). ООО «КТМ», г. Москва, e-mail: a.kamenev@cryotm.ru

Дегтяренко Павел Николаевич – ведущий инженер (ORCID: 0000-0003-2733-6703), ООО С-Инновации, г. Москва, p.degtyarenko@s-innovations.ru

Чепиков Всеволод Николаевич – ведущий инженер – руководитель участка импульсного лазерного осаждения (ORCID: 0009-0000-8289-1051), ООО С-Инновации, г. Москва, v.chepikov@s-innovations.ru

**ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ, УСТРОЙСТВА И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЛОПАСТНЫХ НАСОСОВ ВНЕШНЕГО СЖАТИЯ

И. А. Малин, А. В. Бурмистров, А. А. Райков, С. И. Саликеев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ДВУХРОТОРНЫЙ ВАКУУМНЫЙ НАСОС, ПРОФИЛИ РОТОРОВ, БЕЗМАСЛЯНЫЙ ВАКУУМ, ОТКАЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, БЫСТРОТА ДЕЙСТВИЯ, ОБРАТНЫЕ ПЕРЕТЕКАНИЯ, МНОГОСТУПЕНЧАТЫЙ АГРЕГАТ

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF ROOTS-TYPE MULTILOBE VACUUM PUMPS

I. A. Malin, A. A. Raykov, A. V. Burmistrov, S. I. Salikeev

KEYWORDS

ROOTS VACUUM PUMP, ROTORS PROFILE, OIL-FREE VACUUM, PUMPING CHARACTERISTICS, PUMPING SPEED, BACKFLOW, MULTISTAGE UNIT

Насос вакуумный двухроторный типа Рутс сочетает в себе высокую производительность, надежность, компактность и простоту конструкции. Особенности данного насоса делают его востребованным в нефтепереработке, металлургии, химической, строительной, фармацевтической, пищевой промышленности. На характеристики двухроторного насоса оказывает влияние множество факторов. Важнейшими из них являются величина отсеченного объема и проводимость каналов роторного механизма. В работе рассмотрено влияние количества лопастей роторов и их «полноты» на рабочие характеристики. За базовый вариант насос НВД-200, серийно выпускаемый АО «Вакууммаш» (г. Казань). Показано, что при одинаковых размерах корпуса четырехлопастной профиль обеспечивает больший, по сравнению с двух и трехлопастным профилями, коэффициент использования объема за счет меньшей полноты ротора. При росте радиуса расточки корпуса максимальный коэффициент использования объема способен обеспечить классический двухлопастной ротор.

Полученные результаты не позволяют сделать однозначного вывода о преимуществах того или иного многолопастного профиля. Выбор типа ротора и его геометрических параметров следует проводить с учетом требуемых скорости действия, степени повышения давления, уровня шума и пульсаций.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Малин Илья Александрович — аспирант «Вакуумная техника электрофизических установок». Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, ул. К. Маркса, д. 68, e-mail: hoyki550@gmail.com.

Райков Алексей Александрович (ORCID: 0000-0001-5495-7834) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Вакуумная техника электрофизических установок». Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, ул. К. Маркса, д. 68, e-mail: alraykov@kstu.ru.

Бурмистров Алексей Васильевич — доктор технических наук, профессор кафедры «Вакуумная техника электрофизических установок». Казанский национальный

исследовательский технологический университет, Казань, ул. К. Маркса, д. 68, e-mail: burm@kstu.ru.

Саликеев Сергей Иванович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Вакуумная техника электрофизических установок». Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, ул. К. Маркса, д. 68, e-mail: salikeev_s@mail.ru.

СОВРЕМЕННЫЕ КОМБИНИРОВАННЫЕ СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНЫЕ НАСОСЫ ДЛЯ ЦКП «СКИФ»

А.А. Краснов, А.М. Семенов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

СВЕРХВЫСОКИЙ ВАКУУМ, НЕРАСПЫЛЯЕМЫЙ ГЕТТЕР, НАКОПИТЕЛЬ, ИСТОЧНИК СИ

THE MODERN COMBINED ULTRA HIGH VACUUM PUMPS FOR SRF «SKIF»

A.A. Krasnov, A.M. Semenov

KEYWORDS

ULTRA-HIGH VACUUM, NON-EVAPORABLE GETTER, STORAGE RING, SOURCE SR

В данный момент в Новосибирске идет строительство источника синхротронного излучения (СИ) 4+ поколения ЦКП «СКИФ», в котором необходимо получение рекордно малого эмиттанса пучка (75 пм*рад) для достижения которого требуется сверхвысокий вакуум. Поскольку по своим параметрам он превосходит многие зарубежные аналоги, то предъявляются повышенные требования и к вакуумной системе.

Преимуществом применения магниторазрядных насосов является то, что они изолированы от атмосферного давления. Но, к сожалению, увеличение скорости откачки данных насосов сопряжено с увеличением как габаритов, так и массы насоса.

Поэтому из-за ограничения пространства для размещения вакуумных элементов на накопителе ЦКП «СКИФ» обойтись одними магниторазрядными насосами никак не получится, поэтому требуется применение компактных насосов на базе нераспыляемых геттеров, которые обладают большой скоростью откачки на единицу объема. Материалы в геттерных насосах связывают газ за счет хемосорбции. Таким образом, они должны быть химически активны по отношению к остаточным газам, обычно встречающимся в вакууме, таким как H_2 , CO, CO_2 и т. д. Основным недостатком всех геттеров является их избирательность при сорбции газов, т.е. химически пассивных газов, не вступающих в реакцию с геттерным материалом, таких как инертные газы (аргон, неон) и простые углеводороды (метан), так как химическая реакция невозможна, поэтому применение магниторазрядных насосов необходимо.

В современных ускорителях заряженных частиц и коллайдерах не всегда достаточно места для размещения двух откачных портов, чтобы установить магниторазрядный насос и насос на базе нераспыляемого геттера. Поэтому следующим шагом является объединение двух разных типов насоса в одном корпусе. Тем самым достигается не только уменьшение массогабаритных параметров, но и способность данного насоса откачивать все газы без исключения.

В ИЯФ СО РАН был изготовлен и протестирован прототип комбинированного насоса с быстротой откачки 1000 л/с по водороду и 23 л/с по аргону. В данной статье представлены результаты измерения быстроты откачки комбинированного насоса от кол-ва, поглощенного газа для водорода, азота, метана и монооксида углерода, а также впервые измерен предельный вакуум от кол-ва, поглощенного аргона.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А.А. Краснов, заведующий лабораторией ИЯФ СО РАН, г. Новосибирск, кандидат физико-математических наук, a.a.krasnov@inp.nsk.su

А.М. Семенов, старший научный сотрудник ИЯФ СО РАН, г. Новосибирск, кандидат технических наук, доцент, Новосибирский государственный технический университет, a.m.semenov@inp.nsk.su

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАЛОННОГО МЕМБРАННО-ЁМКОСТНОГО ВАКУУММЕТРА

Р.Э. Кувандыков, Р.А. Тетерук, А.А. Чернышенко

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ДЕФОРМАЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ, ВАКУУММЕТР, ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A REFERENCE MEMBRANE-CAPACITIVE VACUUM METER

R.E. Kuvandykov, R.A. Teteruk, A.A. Chernyschenko

KEYWORDS

DEFORMATION METHOD OF PRESSURE MEASUREMENT, MANOMETR, GAUGE

Во ФГУП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева продолжают работы по разработке и исследованию отечественных вакуумметров, основанных на различных методах измерений давления.

Необходимо отметить крайнюю важность этой области измерений для ряда отечественных отраслей промышленности и науки. Особенно значимы измерения низкого абсолютного давления газа в металлургии, электронной, авиационной, атомной, космической промышленности и других высокотехнологичных отраслях, относящихся к приоритетным направлениям развития науки, утверждённых Указом Президента РФ № 899 от 07.07.2011 г. «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в РФ и перечня критических технологий РФ». В настоящее время на фоне увеличения количества средств измерений низкого абсолютного давления газа в промышленности РФ, наблюдается и рост потребности в эталонных вакуумметрах, применяемых для их поверки, калибровки и межлабораторных испытаний.

Необходимость развития отечественного приборостроения, в том числе в области измерений низкого абсолютного давления, подчёркивают такие документы как: национальный проект «Наука» в рамках Указа Президента РФ от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития РФ на период до 2024 года» и Распоряжение Правительства РФ от 17 января 2020 г. № 20-р «О Стратегии развития электронной промышленности РФ на период до 2030 г.».

Актуальность разработки и исследования отечественного эталонного вакуумметра обусловлена тем, что в настоящее время в РФ не выпускаются транспортируемые компактные вакуумметры, имеющие необходимые диапазоны и погрешности измерений, которые можно было бы использовать в качестве эталонов сравнения при проведении межлабораторных и международных сличений с целью установления эквивалентности государственных первичных эталонов, возглавляющих различные государственные поверочные схемы в области абсолютных давлений и вакуума, а также аттестации рабочих эталонов в рамках этих поверочных схем. К ним относятся, в том числе: государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений абсолютного давления газа в диапазоне $1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^3$ Па в соответствии с ГОСТ 8.107–81 и Государственная поверочная схема для средств измерения абсолютного давления газа в диапазоне $1 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^7$ Па, утвержденная приказом Федерального

агентства по техническому регулированию и метрологии от 06.12.2019 г. № 2900, реализованные в государственных первичных эталонах ГЭТ 49-2016 и ГЭТ 101-2011. До последнего времени задача обеспечения транспортируемыми эталонами сравнения в области измерений низкого абсолютного давления решалась при помощи вакуумметров иностранного производства различных типов. Однако введенные со стороны некоторых государств санкционные ограничения (решение Евросоюза № 2014/512/CFSP13 и регламент № 833/2014 от 31.07.2014 г.) и ограничения на ввоз со стороны РФ (Постановление Правительства РФ от 21.12.2019 г. № 1746) существенно уменьшили возможность приобретения необходимых эталонов сравнения для области измерений низкого абсолютного давления газа, а также ограничили возможности развития системы метрологического обеспечения в области измерений низкого абсолютного давления газа.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кувандыков Рустам Эгамбердыевич. ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», г. Санкт-Петербург, e-mail: ruskuw@mail.ru

Тетерук Роман Анатольевич – руководитель научно-исследовательского отдела государственных эталонов в области измерений давления ФГУП ВНИИМ, кандидат технических наук, доцент (ORCID: 0000-0002-8057-5220). ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», г. Санкт-Петербург e-mail: r.a.teteruk@vniim.ru

Чернышенко Александр Александрович – руководитель научно-исследовательской лаборатории 2310, кандидат технических наук, доцент. ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», г. Санкт-Петербург e-mail: vacuum@vniim.ru

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНОГО НАСОСА НА ПРОЦЕСС ОТКАЧКИ ЛЁГКИХ ГАЗОВ

Н.К. Никулин, Е.В. Свичкарь

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНЫЙ НАСОС, СТЕПЕНЬ СЖАТИЯ, СТРУКТУРА ПАКЕТА,
ОТКАЧКА, ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS OF A TURBOMOLECULAR PUMP ON THE PROCESS OF PUMPING LIGHT GASES

N.K. Nikulin, E.V. Svichkar

KEYWORDS

TURBOMOLECULAR PUMP, COMPRESSION RATIO, PACKAGE STRUCTURE,
PUMPING, GEOMETRIC PARAMETERS

Для обеспечения условий высокого и сверхвысокого вакуума всё большее распространение получают вакуумные системы на базе турбомолекулярных насосов (ТМН), характеризующихся рядом достоинств: отсутствие загрязнения откачиваемого объёма следами углеводородов, постоянная быстрота действия в широком диапазоне давлений всасывания, незначительная селективность откачки различных газов. В высоковакуумных камерах состав остаточной среды определяется потоком газовыделений с поверхностей камеры и конструктивных элементов, размещённых внутри её, а также быстротой откачки вакуумной системы. Чаще всего в качестве материала высоковакуумных систем используется хромоникелевая сталь 12X18H10T, состав газовыделений которой после длительного вакуумирования в основном определяется водородом [1]. Соответственно для расчёта вакуумных параметров высоковакуумных объёмов, откачиваемых вакуумными системами на базе ТМН, для проектирования проточных частей насосов необходимо знать влияние геометрических параметров и структуры проточной части насосов на их откачные характеристики.

По данным различных производителей ТМН быстрота действия при откачке водорода и гелия может снижаться или оставаться приблизительно равной скорости действия по азоту, в зависимости от конструкции насоса.

Математическое моделирование процесса откачки ТМН с различной структурой проточной части позволило определить влияние геометрических параметров на откачную характеристику насоса. Так в трёхпакетной проточной части увеличение числа рабочих колёс в первом пакете со стороны всасывания до 5..8, при обеспечении необходимой степени повышения давления, даёт возможность обеспечить приблизительно постоянную быстроту действия по всем газам. В этом случае отличие в основном зависит от проводимости всасывающего патрубка ТМН.

Удовлетворительное обеспечение постоянной скорости действия ТМН по различным газам достигается согласованием откачных характеристик рабочих колёс и их количеством в проточной части

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Никулин Николай Константинович – кандидат технических наук, доцент (ORCID: 0000-0000-0000-0000, SPIN-код: 6857-8773). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: nikulinnk@gmail.com

Свичкарь Елена Владимировна – кандидат технических наук, доцент (ORCID: 0000-0002-1391-8131, SPIN-код: 4532-7592). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: svic@bk.ru

МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТМН С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ, ОСНОВАННОЙ НА РЕЗУЛЬТАТАХ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ МЕТОДОМ ПРОБНОЙ ЧАСТИЦЫ

У. С. Гордеева

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ

TMP DESIGN METHOD USING SURROGATE MODEL BASED ON THE RESULTS OF DSMC NUMERICAL MODELLING OF THE GAS FLOW IN THE FLOW CHANNEL

U. S. Gordeeva

KEYWORDS

NUMERICAL METHODS, SURROGATE MODELS, VACUUM PUMPS DESIGN

Одним из способов сокращения цикла разработки вакуумных насосов, включая турбомолекулярные (ТМН), является математическое моделирование процессов, протекающих в проточной части, численным методом. Определение конфигурации ТМН на основе численного моделирования является ресурсоемкой задачей, особенно при проведении расчетов в переходном и вязкостном режимах течения газа.

Решение данной задачи возможно путем построения аппроксимации (регрессионной модели) зависимости параметров ТМН от его конструкции. Регрессионная модель, основанная на результатах численного моделирования, позволяет рассчитывать за относительно небольшое время большое количество вариантов конфигураций насоса.

Проведена серия расчетов параметров ТМН с различной конфигурацией проточной части в различных режимах течения газа методом пробной частицы с применением граничного условия взаимодействия газа с твердой поверхностью Черчиньяни – Лампис. Численная математическая модель реализована при помощи языка программирования FORTRAN.

Зависимость параметров насоса от конфигурации проточной части в различных режимах течения газа была аппроксимирована при помощи регрессионной модели, реализованной при помощи языка программирования Python. Проведена валидация разработанной регрессионной модели.

Разработанная регрессионная модель была использована для оптимизации конфигурации конструкции ТМН. Сформулирована математическая постановка задачи оптимизации: максимизировать быстроту действия насоса при обеспечении требуемого предельного остаточного давления и прочностных характеристик.

После определения оптимальной конфигурации конструкции ТМН проводится ряд уточняющих расчетов, так как любой регрессионной модели присуща ошибка аппроксимации. Данный подход позволяет сформулировать начальное приближение конфигурации ТМН для проведения дальнейших расчетов, при этом определение итоговой конфигурации является менее ресурсоемкой задачей нежели определение конфигурации ТМН на основе большого количества численных расчетов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ульяна Саидовна Гордеева – соискатель, выпускница кафедры «Вакуумная и компрессорная техника» МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сфера научных интересов: разработка вакуумных систем, вычислительная газодинамика, математическое моделирование. (ORCID: 0000-0002-3499-001X). Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва. e-mail: tests.ibmes@gmail.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВАКУУМНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭВП

И.Ф. Ханбеков, В.С. Петров, Д.В. Копытов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМНЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ, ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ,
ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕ, ДЕСОРБЦИЯ, ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕ ИЗ КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

DETERMINATION OF VACUUM PROPERTIES OF MATERIALS IN THE PRODUCTION OF VACUUM ELECTRONICS DEVICES

I. Khanbekov, V. Petrov, D. Kopytov

KEYWORDS

VACUUM PROPERTIES OF MATERIALS, ELECTRO-VACUUM DEVICES, GAS RELEASE,
DESORPTION, GAS RELEASE FROM CATHODE MATERIALS

Одной из проблем современного производства электровакуумных приборов (ЭВП) является значительное количество газов и примесей, содержащихся в конструкционных материалах. Это связано с тем, что рынок электровакуумных приборов занял очень узкую нишу в экономике и производители материалов перестали ориентироваться на требования столь узкой отрасли. Газы, растворенные в металлах, активно десорбируются во время работы ЭВП, что приводит к ухудшению характеристик ЭВП или выходу их из строя. Также, интерес представляет исследование газовой выделения из материалов катодов во время их активирования и работы. Для определения скорости газовой выделения из конструкционных материалов ЭВП, а также, количества десорбируемого газа и его химический состав, исследования необходимо проводить на установке, в которой будут созданы условия, схожие с условиями внутри ЭВП во время его работы. В рабочем режиме материалы ЭВП подвергаются нагреву, электронной и ионной бомбардировкам, воздействию магнитного поля. Нагрев возникает за счет лучистой передачи тепловой энергии от разогретого катода деталям и за счет нагрева поверхностей электронным потоком. Методики определения вакуумных свойств материалов для производства ЭВП осуществляется с применением современной испытательной установки, оборудованной сухой откачкой, квадрупольным масс-анализатором 300 а.е.м., электронно-лучевой пушкой и возможностью подключения нагревателей. Установка оснащена оптическим спектрометром и пирометром для определения спектра излучения и температуры образца во время его нагрева. Проведение таких испытаний на стадии входного контроля материалов позволяет существенно сократить брак и технологические потери во время производства ЭВП.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ханбеков Иван Фэритович – кандидат технических наук (ORCID:0000-0002-8381-6579).
Начальник отдела инновационных разработок ООО «ТД ХИММЕД» г. Москва. e-mail:
ivan.khan@yandex.ru

Петров Владимир Семенович – кандидат технических наук (ORCID:0009-0009-0032-4420).
Технолог Технологического центра «Базовые технологии» АО «Плутон» г. Москва. e-mail:
vsempetrov@yandex.ru

Копытов Дмитрий Вячеславович – студент (ORCID:0009-0004-1628-9045). Кафедра
«Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail:
dima.sds@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИСТЕЧЕНИЯ СВЕРХЗВУКОВЫХ СТРУЙ ИЗ СОПЕЛ В ВАКУУМ В ИМПУЛЬСНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

А.Е. Зарвин, В.В. Каляда, А.С. Яскин, К.А. Дубровин, В.Э. Художитков

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЦИКЛИЧЕСКОЕ ИСТЕЧЕНИЕ ГАЗОВ, ВАКУУМ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИМПУЛЬСНЫЙ КЛАПАН

DETERMINATION AND SUBSTANTIATION OF CONDITIONS FOR MODELING THE OUTFLOW OF SUPERSONIC JETS FROM NOZZLES INTO VACUUM IN PULSED LABORATORY EXPERIMENTS

A.E. Zarvin, V.V. Kalyada, A.S. Yaskin, K.A. Dubrovin, V.E. Khudozhitkov

KEYWORDS

CYCLIC OUTFLOW OF GASES, VACUUM, SIMULATION, PULSE VALVE

Целью работы является обеспечение проведения экспериментальных исследований импульсного истечения газов и газовых смесей в сильно разреженное пространство (вакуум) при повышенных расходах газов, недостижимых при стационарном истечении, ввиду ограничений скорости высоковакуумной откачной системы стенда, и дальнейшем сравнении полученных экспериментальных данных с численной моделью. Для этого осуществлены модернизация и отладка рабочего модуля импульсного истечения газов и газовых смесей в вакуум, его адаптация к условиям моделирования режимов истечения натуральных сверхзвуковых струй.

В частности, осуществлено оснащение модуля импульсными клапанами для двух режимов циклического истечения: с короткими, менее 1 мс, и длинными, свыше 1 с, импульсами истечения. Обоснована и осуществлена подготовка набора звуковых и сверхзвуковых сопел для используемых в исследовании импульсных клапанов. Разработаны, изготовлены и испытаны системы питания импульсных клапанов, соответствующие генераторы сигналов с импульсами, максимально близкими к прямоугольным, системы контроля расхода газа, системы диагностики импульсных газовых струй с короткими и длинными импульсами истечения.

Определены и обоснованы условия, позволяющие осуществлять моделирование истечения струй в импульсных лабораторных экспериментах. Проведены тестовые и регулярные экспериментальные исследования процессов истечения сверхзвуковых струй из модельных сопел в импульсных режимах при повышенных расходах газа.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00750 в Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича с использованием оборудования ЦКП «Прикладная физика» Новосибирского государственного университета.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Зарвин Александр Евгеньевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник (ВАК) (ORCID: 0000-0002-1973-5088). Институт теоретической и прикладной

механики СО РАН, г. Новосибирск, ведущий научный сотрудник, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, заведующий отделом. e-mail: zarvin@phys.nsu.ru

Каляда Валерий Владимирович, ведущий электроник, (ORCID: 0000-0003-2739-5017). Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск. e-mail: v.kalyada@nsu.ru

Яскин Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент (ВАК) (ORCID: 0000-0003-0600-5366). Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, ведущий научный сотрудник. e-mail: yas@nsu.ru

Дубровин Кирилл Алексеевич – (ORCID: 0000-0001-9655-1242). Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, г. Новосибирск, младший научный сотрудник, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, научный сотрудник. e-mail: k.dubrovin1@g.nsu.ru

Художитков Виталий Эдуардович – (ORCID: 0000-0001-5045-8587). Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, г. Новосибирск, младший научный сотрудник, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, научный сотрудник. e-mail: v.khudozhitkov@g.nsu.ru

ПЛАТФОРМА ДЛЯ АКТИВНОЙ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ВАКУУМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.П. Михайлов, А.А. Копылов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

АКТИВНАЯ ВИБРОИЗОЛЯЦИЯ, МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛАСТОМЕРЫ,
АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

PLATFORM FOR ACTIVE VIBRATION ISOLATION OF VACUUM EQUIPMENT

V. P. Mikhailov, A. A. Kopylov

KEYWORDS

ACTIVE VIBRATION ISOLATION, MAGNETORHEOLOGICAL ELASTOMERS, AUTOMATIC
CONTROL

Важнейшей задачей обеспечения качества работы технологического оборудования является его эффективная защита от внешних вибрационных воздействий в области низких частот, при которых проявляются резонансные явления. Это особенно важно при интенсивном развитии нанотехнологий, которые реализуются в основном за счет использования сверхвысоковакуумного оборудования, элементы которого имеют низкую жесткость (тонкостенные вакуумные камеры, сильфоны, вводы движения в вакуум и др.) и соответственно, низкие резонансные частоты. Наибольшей эффективностью обладают современные системы, объединяющие в себе активную и пассивную виброизоляцию. В зависимости от типа исполнительного механизма активные системы можно разделить на следующие группы: гидравлические, пневматические, электромагнитные, пьезоэлектрические, магнитострикционные, магнитоэологические и др.

Дано описание платформы активной виброизоляции на основе магнитоэологических эластомеров для вакуумного оборудования. Разработана математическая модель системы автоматического регулирования активного демпфера с последующим моделированием процесса в среде Simulink MATLAB. Представлены результаты экспериментальных исследований платформы и определены коэффициенты передачи амплитуды виброперемещений в низкочастотном диапазоне.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Михайлов Валерий Павлович – доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0003-3638-7932). Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, г. Москва, e-mail: mikhailov@bmstu.ru

Копылов Алексей Андреевич – аспирант (ORCID: 0000-0001-5528-6518). Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, г. Москва, e-mail: wertyoz@bk.ru

О ПРИМЕСИ ВИСМУТА В ПРУТКАХ ИЗ БЕСКИСЛОРОДНОЙ МЕДИ

П.А. Головкин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

БЕСКИСЛОРОДНАЯ МЕДЬ, ПРУТКИ, ДЕТАЛИ, ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ, ТЕМПЕРАТУРА, ПРИМЕСИ, ВИСМУТ, ПРОВЕРКА МАКРОПЛОТНОСТИ

ON BISMUTHUM IMPURITY IN OXYGEN-FREE COPPER BARS

P.A. Golovkin

KEY WORDS

OXYGEN-FREE COPPER, BARS, PARTS, ELECTROVACUUM DEVICES, TEMPERATURE, IMPURITIES, BISMUTHUM, MACRO-DENSITY TESTING

Производство электровакуумных приборов (далее – ЭВП) показывает падение качества используемых для их изготовления материалов. Так, сложности возникают с прутками из бескислородной меди марки М0б, поставляемых по ГОСТ 10988, по причине наличия в ней примесей легкоплавких и малорастворимых в меди примесей селена, теллура и висмута. Если селен и теллур отличаются малой температурой кипения и потому проявляют себя при проводимой по методике ГОСТ 10988 проверке макроплотности поперечных образцов прутков, в виде пор, различимых при разрешённом этим документом увеличении $17\times$, то примеси висмута, температура кипения которого превышает температуру плавления меди, при таком увеличении увидеть сложно. Висмут образует в меди очень тонкие прослойки, для обнаружения которых нужно применение увеличительных приборов с кратностью не менее $100\times$, а кроме того, эти прослойки могут не попасть в отбираемые в соответствии с ГОСТ 24231 образцы для проверки материала прутков на соответствие требованиям их химического состава требованиям ГОСТ 859.

Особенности расположения в медных прутках прослоек висмута сильно зависят от способа изготовления прутка. Так, в материале прессованных прутков примеси висмута с наибольшей вероятностью могут иметь место в зонах кольцевых и полукольцевых световых оттенков (определение по ГОСТ 10988), возникающих в местах разрыва скоростей деформации материала заготовки прутка при его прохождении через очко матрицы. Малорастворимые примеси вовлекаются в эти зоны наибольшим уровнем растягивающих напряжений в соответствии с принципом Ле-Шателье–Брауна. То же свойственно и пруткам, полученным поперечно-винтовой прокаткой прутках примеси располагаются в тех же местах, а вот в полученных ротационной ковкой – образуют радиально расположенные относительно их поперечного сечения прослойки. При этом важно, что холодная перетяжка исходных прутков не изменяет расположения в них легкоплавких фаз, которые сохраняют свой кольцевой, либо радиальный характер.

При случайном выборе мест взятия пробы материала прутка по методике ГОСТ 24231 на проверку его химического состава, даже применение самых современных методов и дорогостоящего оборудования для проведения масс-спектрометрии высокого разрешения с тлеющим разрядом, либо атомно-эмиссионной спектрометрии с индукционно связанной плазмой, не позволяет обнаружить в нём примесь, неприемлемую для изготовления деталей рабочей зоны ЭВП. Поэтому сплошная проверка металлографических шлифов на отсутствие прослоек висмута при увеличении не менее $100\times$, является верным способом недопущения в производство непригодного материала.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Головкин Павел Александрович – кандидат технических наук, персональный идентификационный код автора (SPIN-код): 8643-2584 Место работы: АО «Плутон», г. Москва; e-mail: p.golovkin@pluton.msk.ru

ИЗЛУЧАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПАЛЛАДИЯ И ПЛАТИНЫ В ОБЛАСТИ ТЕМПЕРАТЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ПЕРВОГО РОДА

Н.Ю. Косенкова, Д.В. Косенков, В.В. Сагадеев, В.А. Аляев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

СПЕКТРАЛЬНАЯ ИЗЛУЧАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ, ОБЛАСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ, ПАЛЛАДИЙ, ПЛАТИНА

THE EMISSIVITY OF PALLADIUM AND PLATINUM IN THE REGION OF THE PHASE TRANSITION TEMPERATURE OF THE FIRST KIND

N.Y. Kosenkova, D.V. Kosenkov, V.V. Sagadeev, V.A. Alyaev

KEYWORDS

SPECTRAL EMISSIVITY, MELTING POINT REGION, PALLADIUM, PLATINUM

Радиационным методом проведено экспериментальное исследование нормальной спектральной излучательной способности ε_λ технических палладия и платины в твердой полированной и жидкой фазах вблизи точек плавления. Измерение ε_λ фиксировалось по полосам пропускания узкополосных фильтров. Получена зависимость ε_λ металлов от длины волны в диапазоне спектра излучения 0,26÷10,6 мкм. Проведен сравнительный анализ с литературными данными других авторов. Дан теоретический расчет ε_λ по классической электромагнитной теории – формула Хагена и Рубенса. эксперимент

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Косенков Дмитрий Валерьевич – старший преподаватель (ORCID: 0009-0005-2900-1343). Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Республика Татарстан e-mail: dmi-kosenkov@yandex.ru

Косенкова Наталья Юрьевна – магистр. Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Республика Татарстан

Сагадеев Владимир Владимирович – кандидат технических наук, доцент. Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Республика Татарстан e-mail: v.sagadeev@mail.ru

Аляев Валерий Алексеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вакуумная техника электрофизических установок». Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Республика Татарстан

ЭМИССИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ МЕТАЛЛОПОРИСТЫХ ВОЛЬФРАМ-БАРИЕВЫХ КАТОДОВ С РАЗЛИЧНЫМИ СОСТАВАМИ ЭМИССИОННО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА

Д.В. Бычков, И.В. Фомин, Н.Е. Леденцова, А.В. Шуманов, Л.М. Борисова, И.П. Ли, В.И. Капустин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ТЕРМОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ, МЕТАЛЛОПОРИСТЫЙ КАТОД, АЛЮМИНАТ БАРИЯ-КАЛЬЦИЯ, РАБОТА ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ

EMSSION PROPERTIES OF DISPENSER TUNGSTEN-BARIUM CATHODES WITH DIFFERENT COMPOSITIONS OF THE EMISSION ACTIVE SUBSTANCE

D.V. Bychkov, I.V. Fomin, N.E. Ledentsova, A.V. Shumanov, L.M. Borisova, I.P. Li, V.I. Kapustin

KEYWORDS

THERMIONIC EMISSION, DISPENSER CATHODE, BARIUM-CALCIUM ALUMINATE, ELECTRONIC WORK FUNCTION

В настоящее время требования к электровакуумным СВЧ приборам (ЭВП) возрастают. Эксплуатационные параметры сильно зависят от источника электронов, который в них используется. В большинстве таких приборов, в частности лампах бегущей волны, источниками электронов являются термоэмиссионные металлопористые катоды (МПК), пропитанные эмиссионно-активным веществом (АВ). Для того чтобы повысить плотность тока эмиссии катода, а также увеличить долговечность приборов, постоянно создаются новые и совершенствуются существующие технологии изготовления МПК. Настоящая работа посвящена исследованию эмиссионных свойств катодов с различными фазовыми составами АВ.

Работа выхода с катода является одним из самых главных его параметров в работе ЭВП, однако, как часто отмечается, минимальная величина работы выхода не всегда обеспечивает стабильную работу катода.

В данной работе был проведен сравнительный анализ эмиссионных параметров катодов с различными составами АВ, полученных методом совместного осаждения компонентов:

- 1) $3\text{BaO}\cdot 0,5\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- 2) $2,5\text{BaO}\cdot 0,4\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- 3) $3\text{BaO}\cdot \text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- 4) $4\text{BaO}\cdot \text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3$

Эмиссионные свойства катодов оценивались по работе выхода для каждого типа АВ, полученной в результате обработки вольтамперных характеристик (ВАХ) методом полного тока. Полученные результаты, на наш взгляд, следует учитывать при выборе состава АВ с учетом условий эксплуатации катода в приборе.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Бычков Даниил Владимирович, ведущий инженер-технолог отделения катодно-вакуумных систем. АО «Плутон», г. Москва. Аспирант РТУ МИРЭА кафедры наноэлектроники. E-mail: d.bychkov@pluton.msk.ru

Фомин Илья Владимирович, инженер-технолог III кат. отделения катодно-вакуумных систем. АО «Плутон», г. Москва. Студент РТУ МИРЭА кафедры наноэлектроники.

Леденцова Наталья Евгеньевна, начальник лаборатории отделения катодно-вакуумных систем, кандидат технических наук. АО «Плутон», г. Москва.
E-mail: n.ledencova @pluton.msk.ru

Шуманов Алексей Владимирович, директор отделения катодно-вакуумных систем. АО «Плутон», г. Москва.

Борисова Людмила Михайловна, начальник лаборатории отделения катодно-вакуумных систем. АО «Плутон», г. Москва.

Ли Илларион Павлович, заместитель генерального директора по научно-технологическому развитию, доктор технических наук. АО «Плутон», г. Москва.
E-mail: i.li@pluton.msk.ru

Капустин Владимир Иванович, главный специалист отделения катодно-вакуумных систем, доктор физико-математических наук, профессор. АО «Плутон», г. Москва.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ВАКУУМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМИ ИСПАРИТЕЛЯМИ

Одиноков В.В.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМНОЕ КЛАСТЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ; КРЕМНИЕВЫЕ ПЛАСТИНЫ;
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ИСПАРИТЕЛЬ, МЕТАЛЛИЗАЦИЯ.

EFFICIENCY OPERATION OF VACUUM EQUIPMENT WITH ELECTRON-BEAM EVAPORATORS

Odinokov V.V.

KEYWORDS

VACUUM CLUSTER EQUIPMENT; SILICON WAFERS; ELECTRON BEAM EVAPORATOR,
METALLIZATION.

Исследована эффективность работы серийно выпускаемой вакуумной установки с электронно-лучевым испарителем (ЭЛИ) периодического действия и новой вакуумной установки с ЭЛИ полунепрерывного действия. Исследовано, что на новой установке цикловая производительность выше даже при загрузке меньшего количества подложек на групповом подложкодержателе. Вместе с тем существенно повышается выход годных интегральных микросхем.

Главной отличительной особенностью новой вакуумной установки является наличие двух дополнительных вакуумных камер, соединенных с процессорной камерой через затворы. Одна камера выполняет функции шлюзовой камеры, в которой располагается магазин из двух подложкодержателей, а другая камера предназначена для размещения шести тигельного ЭЛИ.

Таким образом, обеспечивается загрузка и выгрузка групповых подложкодержателей в процессорную камеру и загрузка тиглей испаряемым материалом, расплавление и выход на режим испарения материала без влияния на вакуумную среду процессорной камеры.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Одиноков Вадим Васильевич – доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора по науке АО НИИТМ (ORCID: 0000-0003-1652-8013).

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт точного машиностроения» (АО НИИТМ), 124460, Москва, Зеленоград, Панфиловский проспект 10
vodinokov@niitm.ru .

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАЛОННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПОТОКОВ ГАЗА В ВАКУУМЕ

Д.М. Фомин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

МЕТРОЛОГИЯ, МЕРЫ ПОТОКА (ТЕЧИ ГЕЛИЕВЫЕ), ПОВЕРКА (КАЛИБРОВКА)

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF STANDARD MEASUREMENT TOOLS TO MEASUREMENTS OF MOLECULAR GAS FLOWS IN VACUUM

D.M. Fomin

KEYWORDS

METROLOGY, TEST LEAKS (HELIUM LEAKS), CALIBRATION

Своевременное и регулярное метрологическое обеспечение мер потока (течей гелиевых) и течеискателей масс-спектрометрических гелиевых необходимо для получения достоверных данных при испытаниях на герметичность масс-спектрометрическим методом готовой продукции на предприятиях различных отраслей промышленности.

В настоящее время в РФ поверка мер потока (течей гелиевых) и течеискателей масс-спектрометрических гелиевых осуществляется в соответствии с Локальной поверочной схемой для средств измерений потока газа в вакууме в диапазоне 10^{-13} - $1 \cdot \text{Па} \cdot \text{м}^3/\text{с}$, что позволяет обеспечить прослеживаемость исходного государственного вторичного (рабочего) эталона единицы потока газа в вакууме ГВЭТ 49-2-2006 к государственному первичному специальному эталону единицы давления для области низких абсолютных давлений ГЭТ 49-80, а также регламентирует передачу единицы измерений от рабочих эталонов к средствам измерений

В качестве рабочих эталонов во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева» были разработаны и исследованы установки УВПЭ и УВПМЭ, предназначенные для измерений потока газа в вакууме, а также поверки и калибровки мер потока газа в вакууме (течей гелиевых). Установки позволяют предприятиям самостоятельно проводить поверку и калибровку средств измерений.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Фомин Дмитрий Михайлович – руководитель группы научно-исследовательской лаборатории государственных эталонов и научных исследований в области измерений низкого абсолютного давления и вакуума (ORCID: 0000-0002-0264-2491) ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева», г. Санкт-Петербург, D.M. Fomin@vniim.ru

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ И НАНОСТРУКТУРЫ

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФК КОЛЛОИДНЫХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ

О.М. Медведева, А.Р. Ибрагимов, Е.В. Панфилова, Д.Ю. Шрамко

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ, КОЛЛОИДНАЯ ПЛЕНКА, ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕ, ФОТОННАЯ ЗАПРЕЩЕННАЯ ЗОНА

TECHNOLOGY OF OBTAINING PC COLLOIDAL FILMS BY CENTRIFUGATION

O.M. Medvedeva, A.R. Ibragimov, E.V. Panfilova, D.Yu. Shramko

KEYWORDS

PHOTONIC CRYSTALS, COLLOIDAL FILM, CENTRIFUGATION, PHOTONIC BAND GAP

Последние несколько десятков лет в квантовой электронике и оптике непрерывно возникали задачи миниатюризации оптических элементов, и, в то же время, повышались требования к качеству оптического излучения, передаваемого через них. Более сложной задачей представлялось управление параметрами излучения с помощью этих элементов, такими как амплитуда, фаза излучения, поляризация, а также управление его пространственными спектральными характеристиками. При этом перед специалистами возникала непростая задача выбора материалов, из которых эти элементы изготавливаются. Одним из вариантов решения данной проблемы стали фотонные кристаллы.

Фотонные кристаллы (ФК) – это оптические материалы, которые часто изготавливаются путем самосборки сферических частиц в периодически расположенные структуры. Коллоидные сборки привлекательны благодаря возможности настройки их размеров и трехмерной структуре. Ожидается, что ФК произведут революцию в оптике и оптоэлектронике, на их основе будут созданы высокоэффективные светоизлучающие элементы, оптические переключатели, волноводы, а в перспективе и сверхбыстрые оптические компьютеры.

Несмотря на большое количество методов получения таких пленок, их изготовление с регулируемой структурой до сих пор остается проблемой. В данной статье показан метод центрифугирования, осуществляемый в пробирке. За счет «обезвоживания» частиц кремнезема во время центрифугирования самопроизвольное образование капиллярных водяных мостиков между частицами обеспечивает связывание и предварительную усадку собранного массива на границе раздела жидкостей. Таким образом, получаемая структура имеет меньше трещин.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Медведева Олеся Михайловна – Студент, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва,
(ORCID: 0000-0002-7267-8254), e-mail: mom-bmstu@mail.ru

Ибрагимов Артем Рустамович – Аспирант, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва,
(ORCID: 0000-0001-9689-1837), e-mail: ibragimovar@bmstu.ru

Панфилова Екатерина Вадимовна – Доцент, кандидат технических наук, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, (ORCID: 0000-0001-7944-2765), e-mail: panfilova.e.v@bmstu.ru

Шрамко Дарья Юрьевна – Ассистент, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва,
e-mail: shramkodu@mail.ru

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЗНАЧЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

А.Д. Купцов, С.В. Сидорова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ТОНКИЕ ПЛЕНКИ, ТОЛЩИНА, ТЕХНОЛОГИИ, РАСПЫЛЕНИЕ, ОСТАТОЧНЫЕ
НАПРЯЖЕНИЯ

EVALUATION OF THE EFFECT OF THE THICKNESS OF THIN-FILM MULTILAYER COATINGS ON THE VALUES OF RESIDUAL STRESSES

A.D. Kouptsov, S.V. Sidorova

KEYWORDS

THIN FILMS, THICKNESS, TECHNOLOGIES, SPUTTERING, RESIDUAL STRESSES

Остаточным напряжениям подвержены как однослойные, так и многослойные тонкопленочные покрытия. Многослойный кластер позволяет обеспечить требования к надежности и функциональным возможностям формируемых деталей. Кроме того, последовательность из пленок полупроводник-металл-диэлектрик подвержена влиянию остаточной напряженности, которая может быть распределена как на границе раздела пленки с подложкой, так в пространстве между ними. Исследования показывают увеличение растягивающих или сжимающих напряжений при увеличении толщины пленки, что свидетельствует о важности контроля параметра толщины при формировании многослойных структур

Существуют прямые и косвенные научно-исследовательские решения для определения и контроля толщины пленок и скорости их осаждения с заданными технологическими режимами работы оборудования. Проводить оценку толщины сформированного слоя возможно при помощи оптических, механических, зондовых и других методов измерения. Составленная классификация позволяет выбрать разрушающие и неразрушающие методы измерения толщины, а также методы, оценивающие толщину в процессе формирования покрытия.

Целью работы является сравнение методов измерения толщины тонкопленочного покрытия для определения средней скорости осаждения материала на подложку.

Работа направлена на формирование эмпирических зависимостей толщины пленки от времени осаждения. Толщина пленки измерялась зондовым, оптическим и энергетическим методами. Описывается методика подготовки подложки к нанесению и обеспечению разности высот плоскостей пленки и подложки.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Купцов Алексей Дмитриевич – аспирант 2 года (ORCID 0009-0002-3997-9722). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: alex-kouptsov@yandex.ru

Сидорова Светлана Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры (ORCID: 0000-0002-3002-1246). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: sidorova_bmstu@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОЛЛОИДНЫХ ПЛЁНОК ПОЛИСТИРОЛА

И.О. Азарнин, А.Р. Ибрагимов, Е.В. Панфилова, Л.Л. Колесник

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ТЕРМООБРАБОТКА, ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ, КОЛЛОИДНЫЕ ПЛЁНКИ ПОЛИСТИРОЛА

STUDY OF THE PROCESS OF HEAT TREATMENT OF COLLOIDAL POLYSTYRENE FILMS

I.O. Azarnin, A.R. Ibragimov, E.V Panfilova, L.L. Kolesnik

KEYWORDS

HEAT TREATMENT, PHOTONIC CRYSTALS, COLLOIDAL POLYSTYRENE FILMS

Фотонные кристаллы являются крайне перспективным материалом. На их основе разрабатываются сложные оптические устройства, а также с их помощью возможно производить сложные манипуляции со световым потоком.

Ранее кремнезем был основным материалом для получения фотонных кристаллов, но с развитием новых областей (медицина, сенсорика и т.д.) возникла необходимость создавать структуры из других материалов – биологически совместимых или с лучшими оптическими характеристиками

Коллоидные плёнки полистирола – массив полимерных частиц, один из новых материалов, активно разрабатываемых на сегодняшний день. Полистирол может использоваться для создания структур с более выраженной фотонной запрещенной зоной. Однако, такие плёнки недостаточно прочны и могут повреждаться при физическом контакте. В статье изучается один из методов упрочнения таких фотонных кристаллов – термообработка.

Для проведения термообработки были получены методом spin-coating 20 образцов коллоидных плёнок на основе частиц полистирола и кремниевой подложки. Каждый образец был обработан при различных режимах – температуре, времени, диаметре частиц способе нагрева и в разной среде. Основное влияние на прочность получаемых структур оказывали время и температура нагрева.

Для анализа структур была проведена спектрофотометрия всех образцов и СЭМ-микроскопия 10 термообработанных плёнок полистирола. Анализ полученных данных показал, что между частицами образуются так называемые «мостики», которые упрочняют структуру. При этом ширина этих мостиков вместе с характерном размером частиц увеличивается при росте температуры термообработки. Это происходит до тех пор, пока характерный размер не достигнет критического значения и частицам станет некуда расти. В этот момент начинает образовываться монолитная структура и целостность кристалла нарушается – пропадает фотонная запрещенная зона.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА КОМПОНОВКИ СИСТЕМЫ МАГНЕТРОННОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

О.Э. Алиханов, А.И. Беликов, Р.И. Зайнуллин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, МАГНЕТРОННОЕ НАНЕСЕНИЕ, ПОКРЫТИЕ, ВАКУУМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

MAGNETRON DEPOSITION SYSTEM LAYOUT SELECTION FOR THE COMPLEX SHAPE PARTS COATS BY THE COMPUTER MODELING

O.E. Alihanov, A.I. Belikov, R.I. Zainullin

KEYWORDS

COMPUTER MODELING, MAGNETRON DEPOSITION, COATING, VACUUM EQUIPMENT

Расширение номенклатуры изделий, на которые необходимо наносить тонкопленочные покрытия методом магнетронного распыления мишени в вакууме, с обеспечением при этом высоких требований к их равномерности, требует создания эффективных инструментов моделирования процесса осаждения на произвольные 3D-объекты. Эффективность в данном случае определяется как возможность в кратчайшие сроки выбрать оптимальное компоновочное решение технологической системы, обеспечивающее высокую производительность при соблюдении требований по равномерности покрытия. Наиболее остро проблема отсутствия инструментов моделирования процессов осаждения покрытий проявляется в случаях, когда изделиями являются крупноразмерные объекты сложной пространственной конфигурации и/или традиционные технологические решения (например, использование многопозиционной технологической оснастки с планетарной схемой движения изделий) не применимы, требуются расчеты. В этих случаях, при определении оптимального взаимного расположения источника и изделия, невозможно использовать упрощенные аналитические модели, основанные на интегрировании потоков, распыляемых с элементарных участков мишени и осаждающихся на участки поверхности объекта.

Для создания универсального инструмента решения таких задач использовался дискретный подход, на основе которого авторами была разработана программа «TFDepositionR» (свидетельство о регистрации RU2022685121). Программа формирует распределение толщины покрытия, осажденного путем распыления мишени за некоторое время на поверхность модели произвольного 3D-объекта, представленную триангулярной сеткой. На базе имеющейся экспериментальной установки магнетронного нанесения покрытий проводилась апробация программы, по результатам которой была подтверждена корректность примененных подходов и разработанных алгоритмов.

В дальнейшем программа использовалась при разработке технологической системы установки нанесения покрытий MoS_2 на крупноразмерные болты М64 для международного экспериментального термоядерного реактора ITER. Разработанное программное решение обеспечило возможность перебора и расчета различных вариантов компоновки оснастки и позволило в кратчайшие сроки выбрать предпочтительное технологическое решение на основе четырех магнетронов и двух позиций вращения.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алиханов Орхан Эльдар Оглы – магистр (ORCID: 0000-0002-3218-4962). МГТУ им.Н.Э.Баумана, г.Москва. e-mail: orhan.alihanov@gmail.com

Беликов Андрей Иванович – кандидат технических наук, доцент (ORCID: 0000-0003-1036-9058). МГТУ им.Н.Э.Баумана, г.Москва. e-mail: belikov@bmstu.ru

Зайнуллин Рустам Ильшатovich – магистр (ORCID: 0009-0009-3022-1369). МГТУ им.Н.Э.Баумана, г.Москва. e-mail: rustam.zainullin@bk.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ КОЛЛОИДНЫХ ПЛЕНОК ПОЛИСТИРОЛА

А.Р. Ибрагимов, В.С. Мальцев, К.Р. Минько, Као Ван Хоа, Е.В. Панфилова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ФОТОННЫЙ КРИСТАЛЛ (ФК), КОЛЛОИДНЫЕ ПЛЕНКИ, КОЛЛОИДНЫЙ ПОЛИСТИРОЛ,
ПЛАЗМЕННОЕ ТРАВЛЕНИЕ

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF PLASMA-CHEMICAL ETCHING OF COLLOIDAL POLYSTYRENE FILMS

A.R. Ibragimov, V.S. Maltsev, K.R. Min'ko, Cao Van Hoa, E.V. Panfilova

KEYWORDS

PHOTONIC CRYSTAL, COLLOIDAL FILM, COLLOIDAL POLYSTYRENE, PLASMA ETCHING

В настоящее время одной из наиболее распространенных структур фотонного кристалла является плотно упакованный коллоидный кристалл. Он состоит из пространственных упорядоченных сферических коллоидных микрочастиц. В этой кристаллической структуре сферы расположены близко друг к другу с симметричной гексагональной структурой. Однако плотно упакованные ФК не являются лучшими топологиями для реализации фотонной запрещенной зоны. Недавно в нескольких научных работах было показано, что структуры с неплотной упаковкой могут улучшить характеристики фотонной щели. Неплотно упакованные ФК представляют собой равномерно распределённые гексагонально-симметрично сферы, расстояние между которыми сферами больше, чем их диаметр.

Варьируя плотностью упаковки, можно изменять параметры инверсной структуры, форму и размер наночастиц, получаемых в процессе микросферной литографии. Наиболее технологичным способом получения структуры с заданной плотностью упаковки микросфер является плазмохимическое травление готовой плотноупакованной ФК пленки. В результате изменяется не только плотность упаковки, но и диаметр микросфер.

Объектом исследования в данной работе являются монослойные фотонно-кристаллические структуры на основе микросфер полистирола, полученные методом вертикального осаждения. Показаны результаты экспериментальных исследований влияния параметров процесса плазменной обработки на параметры коллоидной структуры. Дано объяснение механизму процесса.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А.Р.Ибрагимов – аспирант, МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва, (ORCID: 0000-0001-9689-1837), ibragimovar@bmstu.ru

В.С.Мальцев – студент, МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва, malzev.vladislav.99@gmail.com

К.Р.Минько – студент, МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва, (ORCID: 0000-0003-4959-536X), konstantin.minko@ya.ru

Е.В.Панфилова – доцент, кандидат технических наук, МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва, (ORCID: 0000-0001-7944-2765), panfilova.e.v@bmstu.ru

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СЛОИ ДЛЯ ГИБКИХ СИСТЕМ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

А.Х. Абдуев, А.Ш. Асваров, В.В. Беляев, Д.В. Генералов, Д.В. Николаева, В.В. Саенко,
Е.А. Сметанин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ПРОЗРАЧНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ, ПОДВИЖНОСТЬ, АМОРФИЗАЦИЯ, МАГНЕТРОННОЕ
РАСПЫЛЕНИЕ, ПРИМЕСЬ

FUNCTIONAL LAYERS FOR FLEXIBLE INFORMATION DISPLAY SYSTEMS

A.Kh. Abduev, A.Sh. Asvarov, V.V. Belyaev, D.V. Generalov, D.V. Nikolaeva, V.V. Saenko,
E.A. Smetanin

KEYWORDS

TRANSPARENT ELECTRODES, MOBILITY, AMORPHIZATION, MAGNETRON SPUTTERING,
IMPURITY

Изучены основные тенденции и прогнозы создания нового поколения функциональных слоев для гибких устройств отображения информации. Рассмотрены оптимальные технологические методы формирования прозрачных электродов и диэлектрических слоев, а также перспективных альтернативных материалов для активноматричных структур ЖК (OLED) дисплеев. Изучены пути снижения себестоимости гибких компонентов большой площади на полимерных рулонных носителях.

Одной из ключевых технологических задач формирования требуемых слоев при температурах синтеза в окрестностях 1000С является разработка новых материалов и технологий, свободных от классических пороков, сопровождающих традиционные магнетронные методы: наличие дефектных подслоев, наличие межзеренных границ с низкой воспроизводимостью тонкой структуры и стехиометрии границ, относительно большой рельеф поверхности слоев. Особое место уделено изучению перспектив создания функциональных аморфных (рентгеноаморфных) слоев и, в частности, слоев с модулированным легированием на основе коммерчески привлекательных материалов.

Работа была выполнена в рамках проекта РНФ № 22-19-00157.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абдуев Аслан Хаджимуратович – кандидат физико-математических наук, (ORCID: 0000-0002-3948-1206). Государственный университет просвещения, Московская обл. e-mail: a_abduev@mail.ru

Асваров Абил Шамсудинович - кандидат физико-математических наук, (ORCID: 0000-0001-6426-5006). Институт физики Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Махачкала.

Беляев Виктор Васильевич. - доктор технических наук, профессор, (0000-0003-0553-9358). Государственный университет просвещения, Московская обл.

Генералов Дмитрий Владимирович – аспирант (0009-0009-5481-3713). Российский университет дружбы народов, Москва. e-mail: 1042200024@rudn.ru

Николаева Дарья Владимировна – аспирант (0009-0000-0481-1933). Российский университет дружбы народов, Москва. e-mail: darnik.dn2@gmail.com

Саенко Владимир Владимирович – аспирант (ORCID: 0009-0009-1529-165X). Российский университет дружбы народов. г. Москва. e-mail: vvsaenko@mail.ru

Сметанин Егор Александрович - аспирант. (0009-0003-9237-8624). Российский университет дружбы народов, Москва. e-mail: tujh98@mail.ru.

ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЕНОК ОКСИДА ИНДИЯ-ОЛОВА МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

А.Ф. Белянин, Е.П. Гребенников, Н.И. Сушенцов, П.В. Пащенко, М.А. Тимофеев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ОКСИД ИНДИЯ-ОЛОВА, МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ, ПРОЗРАЧНЫЕ ПРОВОДНИКИ

PREPARATION OF INDIUM-TIN OXIDE FILMS BY MAGNETRON SPUTTERING AT ROOM TEMPERATURE

A.F. Belyanin, E.P. Grebennikov, N.I. Sushentsov, P.V. Paschenko, M.A. Timofeev

KEYWORDS

INDIUM-TIN OXIDE, MAGNETRON SPUTTERING, TRANSPARENT CONDUCTORS

Пленки оксида индия–олова (In–Sn) получали методом реактивного ВЧ-магнетронного распыления мишени из In–Sn с использованием установки SCM651 (Alcatel). Пленки наносили на подложки из стекла и полимерных материалов. Перед осаждением пленок оксида In–Sn на подложки из полимерных материалов магнетронным распылением наносили пленку Ti наноразмерной толщины. При формировании пленок оксида In–Sn использовалась отдельная подача Ar и O₂. Температура подложки после завершения процесса не превышала 320 К. Были получены пленки толщиной ~200 нм, представляющие твердый раствор оксидов In и Sn, состава 90 мас.% In₂O₃ и 10 % SnO₂. Пленки оксида In–Sn имели поверхностное сопротивление <100 Ом/□, коэффициент пропускания в видимой области длин волн составлял ~85–90%.

Пленки осаждались как на вращающиеся, так и на неподвижные подложки, что позволяло получать рентгеноаморфные и формировать при комнатной температуре на неориентирующих подложках пленки с упорядоченным строением кристаллической фазы. Полученные пленки меняли свои свойства за счет изменения соотношения концентраций кристаллических и аморфных нанокластеров, составляющих материал. Изучено влияние на свойства пленок оксида In–Sn таких параметров процесса распыления, как расстояние от подложки до мишени, температура, мощность разряда, а также состав, давление и расход газовой фазы.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Белянин Алексей Федорович – доктор технических наук, профессор, МИРЭА – РТУ, Инновационно-инжиниринговый центр; Москва, e-mail: belyanin@mirea.ru

Гребенников Евгений Петрович – доктор технических наук, доцент, МИРЭА – РТУ, Инновационно-инжиниринговый центр; Москва, e-mail: grebennikov@mirea.ru

Сушенцов Николай Иванович – кандидат технических наук, зав. каф., Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, e-mail: sniyola@mail.ru

Пащенко Павел Владимирович – кандидат технических наук, ст. научный сотрудник, МИРЭА – РТУ, Инновационно-инжиниринговый центр; e-mail: pvpastchenko@gmail.com

Тимофеев Михаил Аркадьевич – канд. физ.-мат. наук, вед. научный сотрудник, НИИ ЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова; Москва; e-mail: mikel1948@inbox.ru

ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

ИСПЫТАНИЯ ПОСАДОЧНЫХ МОДУЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ МЕЖПЛАНЕТНЫХ СТАНЦИЙ В ВАКУУМНОЙ КАМЕРЕ ВК-48

П.Н. Берёзко, А.Ю. Кочетков

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМНАЯ КАМЕРА, ТЕРМОВАКУУМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

TESTING OF LANDING MODULES OF AUTOMATIC INTERPLANETARY STATIONS IN THE VK-48 VACUUM CHAMBER

P.N. Berezko, A.U. Kochetkov

KEYWORDS

THERMAL-VACUUM TEST CHAMBER, THERMAL-VACUUM TESTING

На территории АО «НПО Лавочкина» имеется кубическая вакуумная камера объемом 2000 куб.м, которая может быть дооснащена до термовакуумной. ВК-48 была спроектирована в 1970-х годах как термовакуумная, однако в силу обстоятельств не была оснащена рядом систем, и использовалась для испытаний крупногабаритных изделий на герметичность. Компонировка космического аппарата требует размещения в вакуумной камере относительно поля тяжести Земли либо вертикально (наибольший габарит-высота), либо горизонтально (наибольший габарит-длина). Также на габариты влияют различные выносные конструкции: солнечные батареи, антенны, фермы с приборами и оборудованием. Габариты рабочего объёма имеющейся вакуумной камеры предусматривают возможность проведения испытаний космических аппаратов целиком, в том числе проведение в ней наземной отработки посадочных модулей автоматических межпланетных станций в условиях приближенных к условиям атмосферы и поверхности изучаемой планеты.

Анализ возможных вариантов формы корпуса термовакуумной камеры однозначно показывает, что выбор вакуумной камеры в виде куба оптимален с точки зрения испытаний в ней космических аппаратов с негерметичным приборным контейнером, а с точки зрения надёжности и достоверности получаемых результатов, кубическая термовакуумная камера более предпочтительна, чем цилиндрическая.

В кубической вакуумной камере типа ВК-48 можно разместить дополнительное оборудование, предназначенное для имитации атмосферы и поверхности изучаемых планет, приборы для видео и инфракрасной съёмки испытуемого изделия, а также аппаратуру контроля геометрических параметров при тепловых нагрузках, так как имеются "слепые" зоны, в которые не попадает тепловое излучение от имитатора Солнца.

В связи с вышеуказанным, целесообразно ввести в эксплуатацию рабочее место по тепловакуумным испытаниям изделий предприятия, базируясь на доработке ВК-48.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Берёзко Павел Николаевич – ведущий инженер, (ORCID: 0009-0001-3811-0913) АО «НПО Лавочкина», г. Химки Московской обл. e-mail: BerezkoPN@laspace.ru

Кочетков Алексей Юрьевич – начальник отдела. АО «НПО Лавочкина», г. Химки Московской обл. e-mail: KochetkovAIU@laspace.ru

ИСПЫТАНИЯ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ СВАРНЫХ ШВОВ ТЕРМОВАКУУМНЫХ УСТАНОВОК СПОСОБОМ НАКЛАДНОЙ КАМЕРЫ (ВАКУУМНОЙ ПРИСОСКИ) С ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ НЕ МЕНЕЕ $6,62 \cdot 10^{-9}$ МЗ ПА/С.

Е.В. Жировов, А.М. Зверев, В.А. Кобзев, И.А. Лозанов, К.В. Сметанин, Ф.А. Феимов, А.С. Шавин, С.Б. Нестеров. И.В. Удод.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ГЕРМЕТИЧНОСТЬ, ТЕРМОВАКУУМНЫЕ УСТАНОВКИ, СВАРНЫЕ ШВЫ, НАКЛАДНЫЕ КАМЕРЫ.

LEAKPROOFNESS TESTS OF WELDS OF THERMOVACUUM INSTALLATIONS BY THE METHOD OF AN OVERHEAD CHAMBER (VACUUM SUCTION CUP) WITH A SENSITIVITY OF AT LEAST $6.62 \cdot 10^{-9}$ M³ PA/S.

E.V. Zhirovov, A.M. Zverev, V.A. Kobzev, I.A. Lozanov, K.V. Cream, F.A. Feimov, A.S. Shavin, S.B. Nesterov. And.V. Hoopoe.

KEYWORDS

TIGHTNESS, THERMAL VACUUM INSTALLATIONS, WELDS, OVERHEAD CHAMBERS.

Оборудование для испытания на герметичность поверхности установок способом накладной камеры (вакуумные присоски) с чувствительностью не менее $6,62 \cdot 10^{-9}$ м³ Па/с.

Предлагается комплект оборудования для проведения испытаний на вакуумную герметичность поверхностей оборудования (установок) способом накладной камеры (вакуумные присоски), обеспечивающей чувствительность не менее $6,62 \cdot 10^{-9}$ м³ Па/с.

Комплект состоит из вакуумной присоски, изготовленной по особой технологии с применением малогазящих материалов, обеспечивающих необходимые условия герметичности, а также гелиевого течеискателя, вакуумного насоса, контрольной течи «Гелит - 1», арматуры и соединительных шлангов.

Присоска накладывается на испытываемую поверхность (сварной шов, патрубок, элемент конструкции, подозрительное место с наличием видимых дефектов и т.п.), объем между проверяемой поверхностью и объемом присоски вакуумируется до необходимого для испытаний вакуума, с обратной стороны поверхности (изделия) производится обдув контрольным газом (гелием). По величине сигнала на течеискателе определяется качество поверхности под присоской. Контрольная течь «Гелит – 1» служит для калибровки оборудования.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Нестеров С. Б. д.т. н., проф. РНТВО им. акад. С. А. Векшинского ORCID 0000-0002-7457-4213

Е.В. Жировов АО «Криогенмонтаж»

А.М. Зверев АО «Криогенмонтаж»

В.А. Кобзев АО «Криогенмонтаж»

И.А. Лозанов, АО «Криогенмонтаж»

К.В. Сметанин, АО «Криогенмонтаж»

Ф.А. Феимов, АО «Криогенмонтаж»

А.С. Шавин АО «Криогенмонтаж»

И.В. Удод АО «Криогенмонтаж»

БИОМЕДИЦИНСКИЕ ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ С АНТИАДГЕЗИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Щур П.А Войтухов М.Р Ходырев Т.В

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

АНТИАДГЕЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ, АНТИМИКРОБНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ФТОРУГЛЕРОДНЫЕ ПЛЕНКИ, ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.

STUDY OF THE SURFACE PARAMETERS OF FLUOROCARBON COATINGS WITH ANTIADHESION PROPERTIES

Shchur P.A. Voytukhov M.R. Khodyrev T.V.

KEYWORDS

ANTIADHESIVE COATINGS, ANTIMICROBIAL COATINGS, ION-PLASMA TECHNOLOGIES, FLUOROCARBON FILMS, POLYMER MATERIALS.

Один из основных негативных факторов, влияющих на сохранение эксплуатационных свойств полимеров при их использовании в различных областях науки и техники - это биодеструкция, которая составляет более 20% всех повреждений. Биодеструкция - это разложение органического материала под воздействием микроорганизмов. В работе исследованы образцы на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ), так как этот полимер широко используется в авиации, космонавтике, электронике, медицине, упаковочной промышленности, биотехнологиях и других отраслях науки и техники.

В работе были проведены исследования влияния параметров модифицированной поверхности полимерного материала на первоначальную адгезию микроорганизмов. Для создания покрытий были использованы методы ионно-плазменной технологии. Производилась ионная обработка поверхности ПЭТФ и последующее нанесение двухкомпонентной газовой смеси C_6H_{12} и CF_4 , чтобы создать антиадгезионные покрытия на поверхности полимера. Различное соотношение компонентов в газовой смеси было использовано при нанесении такого покрытия.

Факторами, определяющими антиадгезионные свойства, являются: химический состав (на поверхности создается среда, неподходящая для микроорганизмов), поверхностный заряд (создается заряд, отталкивающий микроорганизмы от поверхности полимера) и специфический рельеф (расстояние между пиками рельефа меньше диаметра микроорганизма, что затрудняет их прикрепление к поверхности). Цель этого исследования - изучить основные факторы, влияющие на антиадгезионные свойства фторуглеродных покрытий на поверхности полиэтилентерефталата, включая химический состав, поверхностный заряд и рельеф поверхности.

В результате исследования были получены следующие результаты:

1. Использование ионно-плазменной обработки ПЭТФ в вакууме с газовой смесью CF_4 (40%) + C_6H_{12} (60%) приводит к появлению антиадгезионных свойств из-за определенных параметров поверхности: максимальное содержание фтора (34%),

минимальный поверхностный заряд ($-0,2$ мкКл/м²) и расстояние между пиками рельефа менее 200 нм.

2. Максимальное содержание фтора на поверхности фторуглеродного покрытия, созданного на поверхности ПЭТФ, достигается в области "переходных" процессов (от 30% до 60% содержания CF₄ в газовой смеси CF₄ + C₆H₁₂).

3. Минимальное значение среднеквадратического отклонения шероховатости поверхности, средней высоты пиков рельефа и среднего расстояния между пиками рельефа наблюдается также в области "переходных" процессов, в частности при 60% содержании CF₄ в газовой смеси CF₄ + C₆H₁₂.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Щур Павел Александрович – Кандидат технических наук. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Волоколамское шоссе, 4, 125993, Москва, Россия E-mail: shur-pavel@mail.ru

Войтухов М.Р. – студент. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Волоколамское шоссе, 4, 125993, Москва, Россия E-mail: makarvoytuh@gmail.com

Ходырев Т.В. – студент. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Волоколамское шоссе, 4, 125993, Москва, Россия E-mail: xtimur7@gmail.com

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ В ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ И ГИБРИДНОЙ ПЛАЗМЕ

Т.М. Васильева, М.Н. Васильев, Л.М. Василяк

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВАЯ ПЛАЗМА, ГИБРИДНАЯ ПЛАЗМА, ПОЛИМЕРНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ПОЛИСИЛАЗАН

OBTAINING OF POLYMER COATINGS IN ELECTRON-BEAM AND HYBRID PLASMAS

T.M. Vasilieva, M.N. Vasiliev, L.M. Vasilyak

KEYWORDS

ELECTRON-BEAM PLASMA, HYBRID PLASMA, POLYMERIC COATINGS, POLYSILAZANE

Целью настоящей работы является прямое доказательство применимости пучково-плазменных реакторов и реакторов гибридного типа для создания органических и неорганических покрытий на поверхности полимерных субстратов.

Эксперименты проводили в плазмохимическом реакторе гибридного типа, в котором возможно получать большие устойчивые объемы сильнонеравновесной электронно-пучковой плазмы, генерируемой электронным пучком (ЭП) при его инжекции в плотные газообразные среды, находящиеся в форвакуумном диапазоне давлений ($0,1 < P_m < 10$ кПа), а также гибридной плазмы (ГП), образующийся при одновременном воздействии на плазмообразующую среду ЭП и ВЧ-разряда. При этом были исследованы:

- осаждение полиэтилена на поверхность частиц углерода и плоских подложек из полиэтилентерефталата;
- синтез покрытий на основе неорганического прекурсора полисилазана (пергидрополисилазан, РНПС) на органических полимерных подложках и их дальнейшая плазмохимическая модификация.

Осаждённые на поверхность полиэтилентерефталата полиэтиленовые слои имели однородную и регулярную складчатую структуру с достаточно плотной упаковкой, состоящую из глобулярных кластеров с диаметром ~ 10 мкм. При плазменно-стимулированной полимеризации пергидрополисилазана, нанесённого на поверхность подложек из полиэтилентерефталата и полиметилметакрилата непосредственно перед обработкой в ГП аргона, были получены покрытия с контактным углом смачивания по воде $\theta_w = 71,5 \pm 4,7^\circ$. Данные характеристики оставались стабильными в течение по крайней мере двух месяцев после обработки. Модификация в гибридной плазме аргона и кислорода пергидрополисилазана, нанесённого на поверхность полимерных субстратов методом Spin-Coating за 24 часа до плазмохимического воздействия, позволила получить РНПС-покрытия с более высокой гидрофильностью ($\theta_w = 40-50^\circ$).

Работа была выполнена в рамках гранта РФФИ № 21-79-30062.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Васильева Татьяна Михайловна – доктор технических наук, доцент (ORCID: 0000-0001-6103-6195). Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва. e-mail: tmvasilieva@gmail.com

Васильев Михаил Николаевич – доктор технических, профессор (ORCID: 0000-0002-7586-5573). Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва. e-mail: mvasiliev2006@rambler.ru

Василяк Леонид Михайлович – доктор физико-математических наук, профессор (ORCID: 0000-0001-6982-3038). Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва. e-mail: vasilyak@yandex.ru

УПРАВЛЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ПРОЦЕССАМИ В РЕАКЦИОННОМ ОБЪЕМЕ ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННЫХ РЕАКТОРОВ ФОРВАКУУМНОГО ДАВЛЕНИЯ

Ч.В. Дык, М.К. Никитин, М.Н. Васильев, Т.М. Васильева

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ НЕРАВНОВЕСНАЯ ПЛАЗМА, ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ РЕАКТОР
ФОРМВАКУУМНОГО ДАВЛЕНИЯ, НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ

CONTROL OF NON-STATIONARY PROCESSES IN A REACTION VOLUME OF BEAM-PLASMA REACTORS OF FOREVACUUM PRESSURE

T.V. Duc, M.K. Nikitin, M.N. Vasiliev, T.M. Vasilieva

KEYWORDS

NON-TEMPERATURE NON-EQUILIBRIUM PLASMA, FOREVACUUM PRESSURE PLASMA-
CHEMICAL REACTOR, NON-STATIONARY PROCESSES

В экспериментах с пучково-плазменным реактором форвакуумного давления выявлены закономерности, позволяющие управлять плотностью энерговыделения варьированием давления и химического состава плазмообразующего газа. Для реакционных камер цилиндрической геометрии (трубок, люминесцирующих под воздействием электронного пучка) по результатам измерения интегральной интенсивности свечения в нескольких поперечных сечениях трубки, установлено, что:

- При любом давлении плазмообразующего газа P_m профиль интенсивности излучения $B(z)$ имеет максимум B_{max} на некотором расстоянии от точки инъекции ЭП z , причем это расстояние уменьшается с ростом плотности плазмообразующего газа. При увеличении P_m этот максимум сдвигается в направлении к выводному устройству, т.е. в сторону меньших z , а уменьшение давления приводит к сдвигу максимума функции $B(z)$ в противоположном направлении, т.е. к дальнему от выводного устройства концу трубки.
- При увеличении расстояния z между выводным устройством и сечением, в котором проводится измерение интенсивности излучения плазмы, максимальное значение функции $B(P_m)$ уменьшается, причем это максимальное значение достигается при меньшем P_m . Уменьшение давления газа приводит к сдвигу максимума функции $B(P_m)$ в противоположном направлении.
- При прочих равных условиях положение максимума функции $B(z)$ зависит от молекулярной массы плазмообразующего газа: чем тяжелее газ, тем ближе к точке инъекции ЭП находится этот максимум.

Получены экспериментальные данные о времени высвечивания распадающейся электронно-пучковой плазмы в различных спектральных диапазонах и установлены характерные времена различных фаз распада ЭПП.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Чинь Ван Дык – студент магистратуры Московского физико-технического института, г. Долгопрудный, Московская обл. e-mail: ducphuc0311@gmail.com

Никитин Максим Константинович – студент магистратуры Московского физико-технического института, г. Долгопрудный, Московская обл. e-mail: nikitin.mk@phystech.edu

Васильев Михаил Николаевич – доктор технических, профессор (ORCID: 0000-0002-7586-5573). Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва. e-mail: mvasiliev2006@rambler.ru

Васильева Татьяна Михайловна – доктор технических наук, доцент (ORCID: 0000-0001-6103-6195). Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва. e-mail: tmvasilieva@gmail.com

ЭМИССИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИСТОЧНИКИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПРИБОРАХ И УСТРОЙСТВАХ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НАНЕСЕНИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА НИКЕЛЕВЫЙ КАТОД МЕТОДОМ КАТАФОРЕЗА И ЕГО ЭМИССИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Д.И. Селиверстов, М.В. Дыхнов, Д.В. Бычков, Н.Е. Кожевникова, А.В. Шуманов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ТЕРМОЭЛЕКТРОННЫЙ КАТОД, ОКСИДНЫЙ КАТОД, ТЕРМОЭМИССИЯ, КАТАФОРЕЗ, РАБОТА ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНА

STUDY OF APPLYING A COATING BASED ON TRIPLE BARIUM-STRONTIUM-CALCIUM CARBONATE ON A NICKEL CATHODE BY CATHORESIS AND EMISSION PROPERTIES

D.I. Seliverstov, M.V. Dykhnov, D.V. Bychkov, N.E. Kozhevnikova, A.V. Shumanov

KEYWORDS

THERMIONIC CATHODE, OXIDE CATHODE, TERMOEMISSION, CATHORESIS, ELECTRONIC WORK FUNCTION

Электроракуумные приборы СВЧ диапазона (ЭП СВЧ) широко используются в различных сферах народного хозяйства таких как радиолокация, связь, телевидение, медицина, атомная энергетика и многие другие.

Из всех типов эффективных катодов наибольшее широкое применение в приборах СВЧ нашли оксидные катоды, которые сочетают в себе низкую работу выхода электрона, эффективность, долговечность, работу при относительно небольших температурах. В производстве оксидных катодов в качестве эмиссионно-активного вещества используются тройные карбонаты бария-стронция-кальция различных марок, которые вводятся в состав эмиттеров различными технологическими методами.

Основной задачей данной работы являлась отработка режимов технологического процесса, обеспечивающего получение покрытия с заданной толщиной и равномерностью распределения компонентов тройного карбоната бария-стронция-кальция. Были проведены измерения эмиссионных характеристик, рассчитаны значения эффективной работы выхода для данного катода и рассмотрена топография поверхности катода до и после активирования.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Селиверстов Дмитрий Игоревич – инженер-технолог отделения катодно-вакуумных систем, г. Москва, АО «Плутон». Студент МИРЭА-Российский технологический университет.

Дыхнов Михаил Викторович – студент МИРЭА-Российский технологический университет.

Бычков Даниил Владимирович – ведущий инженер-технолог отделения катодно-вакуумных систем, г. Москва, АО «Плутон». Аспирант МИРЭА-Российский технологический университет.

Кожевникова Наталья Евгеньевна – начальник лаборатории эмиссионно-активных соединений отделения катодно-вакуумных систем, г. Москва, АО «Плутон».

Шуманов Алексей Владимирович – начальник отделения катодно-вакуумных систем, г. Москва, АО «Плутон».

СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНАЯ ПРОДУКЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ООО «КАТОД».

П. Г. Нечаев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ДИОДНЫЕ И ТРИОДНЫЕ МАГНИТОРАЗРЯДНЫЕ НАСОСЫ, НАСОСЫ С РАСПЫЛЯЕМЫМ И НЕРАСПЫЛЯЕМЫМ ГЕТТЕРОМ, СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНЫЕ ШИБЕРНЫЕ ЗАТВОРЫ И КЛАПАНА.

ULTRA-HIGH VACUUM PRODUCTS MANUFACTURED BY LLC "KATOD".

P. G. Nechaev,

KEYWORDS

DIODE AND TRIODE MAGNETIC DISCHARGE PUMPS, PUMPS WITH A SPRAYABLE AND NON-SPRAYABLE GETTER, ULTRA-HIGH VACUUM GATE VALVES AND VALVES.

Новосибирский завод ООО «Катод» ведущий в России производитель электронно-оптических преобразователей (ЭОП) второго и третьего поколений. При этом до 70% технологического оборудования, используемого на предприятии, разработано и изготовлено нашими сотрудниками. В текущей международной ситуации, наша организация оказалась готовой предложить отечественным производителям сверхвысоковакуумную продукцию своего производства. Отдельным направлением нашей деятельности становится производство современных насосов для получения высокого и сверхвысокого вакуума, а также шиберных затворов и вентилей с уплотнением по меди и витону. Выпускаемая нами продукция, по своим характеристикам, соответствует лучшим мировым образцам.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.

Нечаев Павел Георгиевич – главный инженер по вакуумной технике отдела 110-10. ООО «Катод», 630047, Новосибирск, Россия. E-mail: katod1009@ngs.ru

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ООО “КАТОД”

А. А. Бельтиков

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

СВЕРХВЫСОКИЙ ВАКУУМ, ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ, ПОДГОТОВКА ВАКУУМНЫХ СИСТЕМ

FEATURES OF THE DEVELOPMENT AND OPERATION OF ULTRA-HIGH VACUUM EQUIPMENT OF LLC “KATOD”

A. A. Beltikov

KEYWORDS

ULTRA HIGH VACUUM, IMPORT SUBSTITUTION, PREPARATION OF VACUUM SYSTEMS

Новосибирский завод ООО “Катод” ведущий в России производитель электронно-оптических преобразователей (далее ЭОП) второго и третьего поколений.

Качество готовой продукции напрямую зависит от качества и надёжности оборудования включённых в технологическую цепочку. Очень строгие требования к оборудованию обусловлены применением вакуума. Мы единственные в мире кто использует поточный принцип при сборке ЭОП. Любой незапланированный простой чреват огромными издержками. Наше оборудование постоянно модернизируется.

Вновь разрабатываемое оборудование проходит все стадии, от первого эскиза, до пуска-наладочных работ. Все работы проводятся сотрудниками нашей компании. Мы накопили огромный опыт и готовы поделиться им с другими. Использование покупных комплектующих не гарантирует бесперебойность работы. 70% технологического оборудования, используемого на предприятии, разработано и изготовлено нашими сотрудниками.

Поверхности, находящиеся в вакууме, должны быть не просто чистыми, а должны быть свободны от микроскопических частиц, газов и паров, вредно действующих на обрабатываемое изделие и саму вакуумную систему. Для себя мы выработали необходимую технологию изготовления и подготовки деталей, работающих в вакуумных системах.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Бельтиков Антон Александрович – зам. гл. конструктора по оборудованию ООО “Катод”, РФ, г. Новосибирск, ООО “Катод”, 630047, e-mail: katod@beltikov@ngs.ru

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО МЕТАЛЛОКСИДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ КАТОДОВ СВЧ ПРИБОРОВ

Н.П. Горбунова, Н.Е. Кожевникова, Н.Е. Леденцова, А.В. Шуманов, В.И. Капустин,
И.П. Ли

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

НАНОМАТЕРИАЛЫ, КАТОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, РЕНТГЕНОФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ

OBTAINING AND INVESTIGATION OF PROMISING METAL OXIDE MATERIAL FOR CATHODES OF MICROWAVE DEVICES

N.P. Gorbunova, N.E. Kozhevnikova, N.E. Ledentsova, A.V. Shumanov, V.I. Kapustin, I.P. Li

KEY WORDS

NANOMATERIALS, CATHODE MATERIALS, X-RAY PHASE ANALYSIS.

Разработана технология нанесения нанопорошка вольфрама-рения на частицы тройного карбоната бария-стронция-кальция. Получены рентгенограммы образцов исходного и металлизированного тройного карбоната бария-стронция-кальция с использованием метода рентгенофазового анализа и рассчитаны размеры кристаллитов для каждого образца. С использованием метода растровой электронной микроскопии исследовано распределение элементов в полученном металлооксидном материале.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Шуманов Алексей Владимирович, директор отделения катодно-вакуумных систем. АО «Плутон», г. Москва.

Ли Илларион Павлович, заместитель генерального директора по научно-технологическому развитию, доктор технических наук. АО «Плутон», г. Москва.
E-mail: i.li@pluton.msk.ru

Капустин Владимир Иванович, главный специалист отделения катодно-вакуумных систем, доктор физико-математических наук, профессор. АО «Плутон», г. Москва.

ЭМИССИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ МЕТАЛЛОПОРИСТЫХ ВОЛЬФРАМ-БАРИЕВЫХ КАТОДОВ С РАЗЛИЧНЫМИ СОСТАВАМИ ЭМИССИОННО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА

Д.В. Бычков, И.В. Фомин, Н.Е. Леденцова, А.В. Шуманов, Л.М. Борисова, И.П. Ли, В.И. Капустин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ТЕРМОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ, МЕТАЛЛОПОРИСТЫЙ КАТОД, АЛЮМИНАТ БАРИЯ-КАЛЬЦИЯ, РАБОТА ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ

EMSSION PROPERTIES OF DISPENSER TUNGSTEN-BARIUM CATHODES WITH DIFFERENT COMPOSITIONS OF THE EMISSION ACTIVE SUBSTANCE

D.V. Bychkov, I.V. Fomin, N.E. Ledentsova, A.V. Shumanov, L.M. Borisova, I.P. Li, V.I. Kapustin

KEYWORDS

THERMIONIC EMISSION, DISPENSER CATHODE, BARIUM-CALCIUM ALUMINATE,
ELECTRONIC WORK FUNCTION

В настоящее время требования к электровакуумным СВЧ приборам (ЭВП) возрастают. Эксплуатационные параметры сильно зависят от источника электронов, который в них используется. В большинстве таких приборов, в частности лампах бегущей волны, источниками электронов являются термоэмиссионные металлопористые катоды (МПК), пропитанные эмиссионно-активным веществом (АВ). Для того чтобы повысить плотность тока эмиссии катода, а также увеличить долговечность приборов, постоянно создаются новые и совершенствуются существующие технологии изготовления МПК. Настоящая работа посвящена исследованию эмиссионных свойств катодов с различными фазовыми составами АВ.

Работа выхода с катода является одним из самых главных его параметров в работе ЭВП, однако, как часто отмечается, минимальная величина работы выхода не всегда обеспечивает стабильную работу катода.

В данной работе был проведен сравнительный анализ эмиссионных параметров катодов с различными составами АВ, полученных методом совместного осаждения компонентов:

- 1) $3\text{BaO}\cdot 0,5\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- 2) $2,5\text{BaO}\cdot 0,4\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- 3) $3\text{BaO}\cdot \text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- 4) $4\text{BaO}\cdot \text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3$

Эмиссионные свойства катодов оценивались по работе выхода для каждого типа АВ, полученной в результате обработки вольтамперных характеристик (ВАХ) методом полного тока. Полученные результаты, на наш взгляд, следует учитывать при выборе состава АВ с учетом условий эксплуатации катода в приборе.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Бычков Даниил Владимирович, ведущий инженер-технолог отделения катодно-вакуумных систем. АО «Плутон», г. Москва. Аспирант РТУ МИРЭА кафедры наноэлектроники. E-mail: d.bychkov@pluton.msk.ru

Фомин Илья Владимирович, инженер-технолог III кат. отделения катодно-вакуумных систем. АО «Плутон», г. Москва. Студент РТУ МИРЭА кафедры наноэлектроники.

Леденцова Наталья Евгеньевна, начальник лаборатории отделения катодно-вакуумных систем, кандидат технических наук. АО «Плутон», г. Москва.
E-mail: n.ledencova @pluton.msk.ru

Шуманов Алексей Владимирович, директор отделения катодно-вакуумных систем. АО «Плутон», г. Москва.

Борисова Людмила Михайловна, начальник лаборатории отделения катодно-вакуумных систем. АО «Плутон», г. Москва.

Ли Илларион Павлович, заместитель генерального директора по научно-технологическому развитию, доктор технических наук. АО «Плутон», г. Москва.
E-mail: i.li@pluton.msk.ru

Капустин Владимир Иванович, главный специалист отделения катодно-вакуумных систем, доктор физико-математических наук, профессор. АО «Плутон», г. Москва.

АВТОЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА ГРАФЕНА И УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТЕНОК

А.Ф. Белянин, В.В. Борисов, Н.И. Сушенцов, А.Л. Талис, Е.Р. Павлюкова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОСТЕНКИ, ГРАФЕН, АВТОЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА

FIELD EMISSION PROPERTIES OF GRAPHENE AND CARBON NANOWALLS

A.F. Belyanin, V.V. Borisov, N.I. Sushentsov, A.L. Talis, E.R. Pavlyukova

KEYWORDS

CARBON NANOWALLS, GRAPHENE, FIELD EMISSION PROPERTIES

Пленки графена и углеродных наностенок (УНС) выращивали методом CVD на подложках из кремния (УНС), а также из стекла и медной фольги (графен). Методами спектроскопии комбинационного рассеяния света, электронной микроскопии и рентгеновской дифрактометрии было показано, что пленки графена состояли из не связанных атомными связями слоев графена, а пленки УНС – из изогнутых пластин, сформированных взаимосвязанными одинаково ориентированными слоями графена.

Изучено влияние строения эмитирующих слоев графена на эксплуатационные свойства автоэмиссионных катодов на их основе (порог автоэмиссии, плотность эмиссионных центров, неоднородность автоэмиссии по поверхности автокатаода и др.). Рассмотрены причины деградации характеристик автокатодов на основе графеновых структур. Использование спектроскопии комбинационного рассеяния света позволяло контролировать функциональные свойства углеродных пленок, определяющие эксплуатационные характеристики автокатодов, в частности, диагностировать деградацию эмитирующих графеновых структур. Установлена неоднородность величины и плотности катодного тока, вызванная нестабильностью микроструктуры слоев графена при работе автокатодов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Белянин Алексей Федорович – доктор технических наук, профессор, МИРЭА – РТУ, Инновационно-инжиниринговый центр; Москва, e-mail: belyanin@mirea.ru

Борисов Владимир Викторович – ведущий программист, НИИ ЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова; Москва, e-mail: borvv1947@mail.ru

Сушенцов Николай Иванович – кандидат технических наук, зав. каф., Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, e-mail: sniyola@mail.ru

Талис Александр Леонидович – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, e-mail: talishome@mail.ru

Павлюкова Елена Раилевна – старший научный сотрудник, Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, e-mail: elena.pavlyukova@cplire.ru

Вакуумная наука и техника

Тезисы
XXX международной научно-технической конференции
«Вакуумная наука и техника»
рес. Дагестан, г. Махачкала, НОК «Журавли»
2023, 10-14 октября

ООО «Электровакуумные технологии»

<https://vacuum.org.ru>

info@vacuum.org.ru

Подписано в печать 21.12.2023

Электронное издание

