Министерство науки и высшего образования РФ
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)
Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева
Российское вакуумное общество им. акад. С. А. Векшинского
Институт проблем машиноведения РАН
Euro-Asian Cooperation of National Metrology Institutions
(Евро-Азиатская кооперация национальных метрологических институтов – КООМЕТ)
НПО «Измеритель», ООО «АС-Техникс», ООО «ВЛС-Инжиниринг»,
ООО «Научные приборы и системы», ООО НПП «Универсал Прибор»,
ООО «ФЕРРИ ВАТТ», АО «Интек Аналитика», АО «ВАКУУМ.РУ»,
ООО «Современное вакуумное оборудование», группа компаний «Криосистемы»

23–25 июня 2026
Санкт-Петербург, Россия

- - - - - - - - - - - - - - - - - - -

June 23–25, 2026
St. Petersburg, Russia
33st All-Russian Conference with International Participation
«VACUUM TECHNIQUE AND TECHNOLOGY – 2026»

Сборник тезисов докладов 33-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ – 2026»

23–25 июня 2026 г.
Санкт-Петербург

Вакуумная техника и технологии – 2026. Тезисы докладов 33-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. 23–25 июня 2026 г./ под ред. Д. К. Кострина, С. А. Марцынюкова. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2026. – 40 с.

ISBN 978-5-7629-3667-5

Сборник тезисов докладов составлен по материалам докладов, представленных на 33-ю Всероссийскую научно-техническую конференцию с международным участием. В докладах изложены результаты исследований в области физики вакуума, вакуумметрии, масс-спектрометрии и контроля герметичности. Рассмотрены актуальные вопросы получения вакуума, создания вакуумного оборудования и разработки новых технологических процессов. Особое внимание уделено решению задач вакуумной техники в формировании пленок и покрытий плазменными и смежными методами, изучению свойств покрытий и методам их исследования, новым материалам покрытий, в том числе наноматериалам, новым областям их использования, разработке современного оборудования и технологических процессов, применению вакуумных технологий в промышленности и научных исследованиях и, в частности, в атомной промышленности, металлургии и добывающих отраслях.

Организационный комитет

Потрахов Н. Н., д. т. н., проф., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Россия, Санкт-Петербург – председатель
Кострин Д. К., д. т. н., проф., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Россия, Санкт-Петербург
Марцынюков С. А., к. т. н., доц., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Россия, Санкт-Петербург
Гук К. К., к. т. н., доц., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Россия, Санкт-Петербург
Холопова Е. Д., к. т. н., доц., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Россия, Санкт-Петербург
Шарковский Д. С., аспирант, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Россия, Санкт-Петербург

Программный комитет

Шелудько В. Н., д. т. н., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Россия, Санкт-Петербург – председатель
Розанов Л. Н., д. т. н., проф., СПбПУ Петра Великого, Россия, Санкт-Петербург – почетный председатель
Шаповалов В. И., д. т. н., проф., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Россия, Санкт-Петербург – сопредседатель
Тетерук Р. А., к. т. н., ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Россия, Санкт-Петербург – сопредседатель
Бецофен С. Я., д. т. н., проф., МАИ, Россия, Москва
Бурмистров А. В., д. т. н., проф., КНИТУ, Россия, Казань
Воробьёв М. С., д. т. н., с. н. с., ИСЭ СО РАН, Россия, Томск
Желонкин Я. О., к. т. н., ООО «ФЕРРИ ВАТТ», Россия, Казань
Жировов Е. В., АО «Криогенмонтаж», Россия, Москва
Зарвин А. Е., к. ф.-м. н., доц., НГУ, Россия, Новосибирск
Капустин Е. Н., к. т. н., АО «Вакууммаш», Россия, Казань
Коваль Н. Н., д. т. н., проф., ИСЭ СО РАН, Россия, Томск
Корнеев С. В., к. т. н., доц., БНТУ, Беларусь, Минск
Кузнецов В. Г., д. т. н., ФГБУН ИПМаш РАН, Россия, Санкт-Петербург
Лозован А. А., д. т. н., проф., МАИ, Россия, Москва
Марколия А. И., д. ф.-м. н., акад. АНА, СФТИ, Абхазия, Сухум
Нестеров С. Б., д. т. н., проф., Российское вакуумное общество, Россия, Москва
Одиноков В. В., д. т. н., проф., ОАО НИИТМ, Россия, Москва
Орлов А. В., ЦНИИ Электрон, Россия, Санкт-Петербург
Панфилов Ю. В., д. т. н., проф., МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия, Москва
Полянский В. А., д. т. н., проф., ФГБУН ИПМаш РАН, Россия, Санкт-Петербург
Пронин А. Н., ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, Россия, Санкт-Петербург
Сушенцов Н. И., к. т. н., доц., ПГТУ «ВОЛГАТЕХ», Россия, Йошкар-Ола
Тумаркин А. В., д. т. н., проф., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Россия, Санкт-Петербург
Чернышенко А. А., к. т. н., ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, Россия, Санкт-Петербург

Ответственность за достоверность сведений и сохранение
государственной или корпоративной тайны несут авторы
публикаций

Содержание

Развитие линейки базового ряда НВК, выпускаемых АО «Криогенная техника» 8
В. В. Абоскалов

Двухступенчатая криоловушка для климатических камер имитирующих условия космического пространства 8
М. В. Алещенко

Создание и исследование оборудования для высокочувствительного контроля герметичности ЭВП 8
С. А. Бушин

Импульсное лазерное осаждение Ni суперсплава 9
М. И. Васильев, Ю. Д. Дудник, А. А. Сафронов, В. Н. Ширяев, О. Б. Васильева

Влияние внутренних витков на откачные характеристики безмасляного спирального вакуумного насоса 9
К. И. Власенкова, А. А. Райков, А. В. Бурмистров

О разделении вторичных биоразлагаемых магниевых сплавов дистилляцией в вакууме 10
В. Н. Володин, А. О. Мукангалиева, С. А. Требухов, А. В. Ниценко, К. А. Линник

Разработка компактного терморезистивного вакуумметра Мерадат-ВИТ08Т на основе преобразователя СК-ТС6 10
Д. А. Воронов

Развитие прогреваемых сверхвысоковакуумных клапанов, затворов и разъёмных соединений 11
В. В. Вязовецков, Л. К. Кузнецова, Ю. С. Шпанский

Экспериментальное изучение сверхвысоковакуумных прогреваемых разъёмных соединений с проходным диаметром 250 мм 11
В. В. Вязовецков, Н. П. Бобырь, Д. А. Козлов, Л. К. Кузнецова, А. В. Спицын, Н. О. Степанов, Д. И. Черкез, Ю. С. Шпанский

Контроль герметичности термовакуумной камеры с совместным применением гелиевого течеискания и акустической эмиссии 11
К. В. Гречанников, М. Н. Терентьев

Метод контроля оптических поверхностей, сформированных ионным травлением в вакууме, с применением мультиволновой интерферометрии 12
Д. В. Дорофеев, Д. К. Кострин

Улучшение структуры магнито- и электроуправляемых полимерных композитов для систем виброизоляции 12
У. А. Ерохина, В. А. Бутко, С. В. Сидоренко, В. С. Щербакова, А. М. Базиненков

Моделирование ионно-плазменного осаждения пленочных покрытий $(Ba,Sr,Ca)CO_3$ 13
Г. А. Жабин

Реализация методики контроля герметичности разъёмных и неразъёмных соединений, а также патрубков корпусов вакуумных камер: выбор оборудования и технология испытаний на этапе монтажа 13
Е. В. Жировов, А. М. Зверев

Процессы синтеза и роста наноразмерных структур 14
А. А. Иванов, Д. К. Кострин, В. И. Марголин, Нгуен Вьет Ан, А. И. Протченко, А. А. Рассадина, В. А. Тупик, Фам Конг Че, Н. Н. Шарова, И. И. Шолина

Операционные системы реального времени на отечественных RISC-V микроконтроллерах в вакуумных системах и установках 14
Д. С. Иванов, М. С. Ковтун

Вакуумные технологии в торакальной хирургии 15
П. М. Ионов, А. Л. Акопов, С. Ю. Дворецкий, Р. П. Мишра, А. И. Петрунина

Получение тонких пленок никеля и алюминия методом электронно-лучевого испарения с прогнозируемыми оптическими постоянными 15
А. Н. Исамов, Ю. О. Просовский, О. Ф. Просовский, В. А. Смольянинов, Г. В. Солопов, Д. Н. Петрачков

Особенности цифровизации метрологического обеспечения вакуумных измерений 16
В. В. Кайсина, Р. Э. Кувандыков, Р. А. Тетерук, А. А. Чернышенко

Повышение эффективности рабочего процесса винтового вакуумного насоса 16
А. Е. Капустин, А. А. Райков, А. В. Бурмистров

Особенности формирования подложки для фотокатода конденсаторного типа 17
Р. А. Каракулов, Р. И. Нуртдинов, А. Ю. Соколов, А. С. Долотов

Современные гелиевые течеискатели. Перспективы развития и основные технические характеристики 17
А. В. Кондратьев, И. Т. Аманбаев

Технико-экономические аспекты использования гибридных систем откачки при вакуумной обработке жидких сплавов в металлургии 17
С. В. Корнеев

Высокоскоростное вакуумно-дуговое нанесение покрытий на поверхность графита при высоких температурах 18
В. Г. Кузнецов, Т. А. Курбанов

Уникальный опыт компании «Оптикон» – как пример частной инициативы в области производства продукции для сверхвысокого вакуума 18
К. А. Куныгин, П. Г. Нечаев

Микроплазменная струя как физико-техническая основа модернизации медицинских методов локального воздействия на биологические ткани 19
В. Н. Лесных, К. И. Пученков

Разработка высоковольтного источника питания для магниторазрядных насосов 19
В. Н. Лесных, К. И. Пученков, М. В. Моисеев

Фрезерование листового стеклотекстолита твердосплавным инструментом с алмазным и алмазоподобным износостойкими покрытиями 20
А. П. Литвинов, С. В. Фёдоров

Источники отрицательных ионов для ускорителей заряженных частиц 20
З. Г. Люллин, С. А. Марцынюков, Д. К. Кострин

Источники положительных ионов для ускорителей заряженных частиц 21
З. Г. Люллин, С. А. Марцынюков, Д. К. Кострин

Разработка и исследование элементов устройств извлечения и формирования пучков заряженных частиц ускорительных систем 21
З. Г. Люллин, Д. К. Кострин

Моделирование процесса формирования тонких пленок в среде COMSOL Multiphysics 22
К. М. Лях, С. А. Марцынюков, Д. К. Кострин

Теплообмен в многолопастном насосе внешнего сжатия типа Рутс 22
И. А. Малин, А. А. Райков, А. В. Бурмистров

Исследование условий получения покрытий оксинитрида титана реактивным испарением титана в дуговом разряде низкого давления 23
А. И. Меньшаков, Ю. А. Меньшакова

Комбинированное управление электронным пучком в источнике с многодуговым сеточным плазменным эмиттером 23
М. А. Мокеев, Д. А. Горьковская, В. Н. Девятков, М. С. Воробьёв, А. А. Гришков, Н. Н. Коваль, Р. А. Картавцов

Влияние температуры на трибологические и газодинамические процессы в сверхвысоковакуумном планетарно-резьбовом механизме линейного перемещения 24
Мьо Чжо Хлаинг, В. П. Михайлов

Моделирование динамики газовых потоков и системы управления СВВ планетарно-резьбового ввода линейного перемещения 24
Мьо Чжо Хлаинг, В. П. Михайлов

Осаждение пленок оксида хрома методом реактивного магнетронного распыления на постоянном токе 25
А. В. Николаев, Д. С. Шарковский

Металлокерамическая трубка с повышенным потоком нейтронов для малогабаритной каротажной аппаратуры 25
Н. С. Носиков, С. В. Сыромуков

Молекулярно-динамическое моделирование роста и структурной эволюции DLC-пленок на кремниевой подложке 26
Ю. В. Панфилов, Мьо Ти Ха

Подготовка инженеров для электронного машиностроения 26
Ю. В. Панфилов

Квантово-механические исследования энергии активации и времени жизни атомов Ba на поверхности термокатода Ba-W: влияние морфологии поверхности 27
А. А. Петрунин

Влияние вида и конструкции десублиматора на расчет вакуумного насоса 27
Р. С. Полищук, А. Г. Шерстюков

Системы оптического контроля толщины наносимых оптических покрытий. Современное состояние и перспективы развития 28
Ю. О. Просовский, О. Ф. Просовский, А. Н. Исамов, В. А. Смольянинов, Г. В. Солопов

Исследование сопряжённого теплообмена в бесконтактных вакуумных насосах 28
А. А. Райков, А. В. Бурмистров, Е. Н. Капустин

Установка для исследования работы токовых источников паров щелочных металлов 29
А. И. Рахмятуллин, А. Б. Попугаев, А. Ю. Соколов, А. С. Долотов

Исследования высокоточных мембранно-емкостных вакуумметров баратрон с помощью лазерного интерференционного масляного манометра 29
И. В. Садковская, А. И. Эйхвальд

Подача парогазовых смесей в вакуумную камеру на основе отечественных регуляторов расхода 30
С. В. Сажнев

Интерактивный учебный комплекс «ОСТРОВОК» 30
С. В. Сидорова, А. Д. Купцов, С. В. Кирьянов, А. М. Наумова, Е. С. Щербак, С. А. Хохлун, А. М. Руденко

Остаточные молекулы воды при формировании в вакууме нанокомпозиционных покрытий TiO_2–Ni 31
С. В. Сидорова, А. Д. Купцов, С. В. Кирьянов, А. Л. Хтай, Е. С. Щербак, А. М. Наумова, И. Е. Пименов

Плазмохимическое травление соединений АЗВ5 31
С. В. Сидорова, А. А. Фельде

Эволюция методов управления расходом газа в вакуумных установках: переход от аналоговых натекателей к цифровым расходомерам с LabVIEW-управлением 32
В. А. Смольянинов, О. Ф. Просовский, А. Н. Исамов, Ю. О. Просовский, Г. В. Солопов

Технология получения диэлектрического зеркала в широком спектральном диапазоне 32
Г. В. Солопов, Ю. О. Просовский, О. Ф. Просовский, А. Н. Исамов, В. А. Смольянинов

Исследование физических параметров тонкопленочной многослойной структуры Al-Ni 32
Н. И. Сушенцов, Д. Е. Шашин, А. Д. Дьячков, А. Л. Романов, К. А. Волков

Применение магнитореологических и электрореологических жидкостей в системах виброизоляции оборудования вакуумной техники 33
Е. А. Тимошенко, В. Е. Сенюшкина, К. В. Фадеев, М. А. Шелковый, М. Е. Жуков, А. М. Базиненков

Генерация радиально сходящегося электронного пучка в источнике с многодуговым сеточным плазменным катодом 33
М. С. Торба, М. С. Воробьёв, С. Ю. Дорошкевич, Н. Н. Коваль, А. А. Гришков, Е. А. Иоппа

Об очистке сурьмы карботермического восстановления от натрия дистилляцией в вакууме 34
С. А. Требухов, В. Н. Володин, Б. К. Кенжалиев, А. В. Ниценко, К. А. Линник

Модуляция потока экстрагируемых ионов в газонаполненных нейтронных трубках 34
Ю. Г. Трифонова, И. А. Каньшин, С. П. Масленников

Управление структурными свойствами сегнетоэлектрических оксидных тонких пленок 35
А. В. Тумаркин, А. Богдан, А. Р. Карамов, Е. Н. Сапего, О. Е. Зайцев

Изготовление и монтаж бесшовного кольцевого вакуумного уплотнителя «Трапеция 18» на фланцевом соединении барокамеры 35
И. В. Удод

Нейтральные и слабоионизованные молекулярные пучки: особенности формирования и регистрации в условиях сверхзвукового расширения 36
В. Э. Художитков, А. Е. Зарвин, В. В. Каляда

36

Современное состояние и перспективы развития отечественной вакуумметрии
А. А. Чернышенко

Планирование физического эксперимента 37
В. И. Шаповалов

Повышение качества вакуумных процессов осаждения сульфидных покрытий, формируемых распылением стехиометрических мишеней 37
М. А. Шарапков, А. И. Беликов, Н. М. Синявин, Синьсинь Ван

Магнетрон для осаждения пленки трехкомпонетного сплава 38
Д. С. Шарковский, А. В. Николаев

Влияние термического отжига на структуру и свойства покрытия Al-Si-N 38
Шаша У, С. П. Бычков

Применение вакуумной техники и арматуры при разработке и эксплуатации вакуум-сублимационных установок 39
И. А. Шорсткий

Вакуумные технологии в исследовании процесса истечения жидкости в разреженное пространство 39
А. С. Яскин, А. Е. Зарвин, В. В. Каляда, К. А. Дубровин, В. Э. Художитков

Т Е З И С Ы Д О К Л А Д О В

РАЗВИТИЕ ЛИНЕЙКИ БАЗОВОГО РЯДА НВК, ВЫПУСКАЕМЫХ АО «КРИОГЕННАЯ ТЕХНИКА»

В. В. Абоскалов

АО «НТК «Криогенная техника», Омск, Россия

E-mail: info@cryontk.ru

В данной статье рассматривается актуальная тема импортозамещения в контексте развития линейки базового ряда НВК. Импортозамещение затрагивает сферу применения вакуумного оборудования, где доля зарубежных технологий и продукции традиционно была высока. АО «НТК «Криогенная техника» осуществляет замену на насосы отечественного производства с соответствием параметров откачки и интеграции в систему эксплуатанта. АО «НТК «Криогенная техника» выпускает насосы с различными диаметрами условного прохода. Данная статья раскрывает тему создания НВК 500 в составе блока криооткачки с двумя охладителями Гиффорда–МакМагона. Данные НВК поставлены в рамках развития отечественных конкурентоспособных решений на установку электронно-лучевой сварки.

ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ КРИОЛОВУШКА ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ КАМЕР ИМИТИРУЮЩИХ УСЛОВИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

М. В. Алещенко

ООО «Научно-производственная фирма «РЕОМ», Санкт-Петербург, Россия

E-mail: npf@reom.ru

Зачем это нужно – контекст и проблема. Испытания космической электроники в вакуумных камерах – обязательный этап квалификации. Платы площадью в несколько квадратных метров нагреваются до +60 °C и выше, выделяя воду, органику, остатки флюса. Почему «очевидное» решение не работает. Шевронная криоловушка при −70 °C геометрически перехватывает молекулярный поток – но только в молекулярном режиме течения, то есть ниже ~10^{-3} Торр. Двухступенчатая архитектура: логика решения. Ступень 1: механический холодильник, –70 °C. Ступень 2: азотная ловушка, –196 °C – подключается по требованию. Физика за кадром – для любопытного читателя. Число Кнудсена: почему при 10^{-5} Торр молекула «видит» только стенки, а при 1 Торр – соседей. Для трубы ДУ250 молекулярный режим начинается ниже ~5×10^{-5} Торр. Практический результат и тиражируемость. Решение масштабируется: от небольших камер ДУ100 до крупных стендов ДУ400 и выше. Стоимость защиты ТМН на порядок ниже стоимости его ремонта или замены.

СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ЭВП

С. А. Бушин

ФГУП «ВНИИА им. Н. Л. Духова», Москва, Россия

E-mail: vniia4@vniia.ru

Целью данной работы являлось представление обзора работ, проводимых в разное время в стенах ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» по разработкам, связанным с контролем герметичности ЭВП на откачных вакуумных постах (ОП). Испытания на герметичность

сопряжены с определенными проблемами. Среди них следует выделить свойства течей изменять свою проводимость в зависимости от разных воздействий внешней среды, а также в результате влияния некоторых технических особенностей используемого вакуумного оборудования. Решение обозначенных проблем должно строиться на концепции внедрения в производство новых методических решений и замены устаревшего оборудования на новое. В этой связи в свое время во ВНИИА были разработаны и внедрены современный ОП, высокоэффективная азотная ловушка, экпериментальная течеискательная модульная система с пороговой чувствительностью не более $5 \cdot 10^{-15}$ м^3·Па/с, а также инструкции по высокочувствительному контролю герметичности ЭВП и др. [1].

Литература

[1] Методические и аппаратные средства для контроля герметичности ЭВП / С. А. Бушин, С. Г. Давыдов, В. О. Ревазов, Р. Х. Якубов // Сб. тез. 2-ой научн.-практ. конф. «Физико-технические интеллектуальные системы-2023», Москва. 2023. С. 57.

ИМПУЛЬСНОЕ ЛАЗЕРНОЕ ОСАЖДЕНИЕ NI СУПЕРСПЛАВА

М. И. Васильев, Ю. Д. Дудник, А. А. Сафронов, В. Н. Ширяев, О. Б. Васильева

ФГБУН Институт электрофизики и электроэнергетики РАН, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: milavas@mail.ru, julia_dudnik-s@mail.ru

Проведены исследования импульсного лазерного осаждения (PLD) суперсплава, аналогичного CMSX-4 в атмосфере гелия при фоновом давлении ~0.007 Па. Абляция мишени осуществлялась эксимерным лазером KrF λ 248 нм длительностью импульса ~20 нс. Лазер был сфокусирован на площади 3 мм² на поверхности мишени под углом падения ~40°, а расстояние между точкой абляции и центром подложки составляло ~2 см. Получено, что гомоэпитаксиальный рост пленки суперсплава никеля происходил при температуре подложки 1125 К, энергии импульса 2 Дж/см^2, частоте повторения импульсов 10 Гц и времени осаждения 90 мин. Для образцов, фазовый состав и морфология поверхности которых подтверждены методами XRD и AFM, измерены спектры излучения лазерного факела (plume plasma), записаны и обработаны в диапазонах RGB цветные изображения плазменного факела [1]. Получено подтверждение наличия линий излучения ионов Ni, Ta, Co, Cr, Al, W, Re и Mo в плазменном факеле.

Литература

[1] Исследование спектральных характеристик плазменного факела при лазерной абляции гидроксиапатита кальция / Ю. Д. Дудник, М. И. Васильев, А. А. Сафронов и др. // Оптика и спектроскопия. 2025. Т. 133, № 10. С. 1036–1040.

ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННИХ ВИТКОВ НА ОТКАЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЗМАСЛЯНОГО СПИРАЛЬНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

К. И. Власенкова, А. А. Райков, А. В. Бурмистров

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

E-mail: minaltyn2000@mail.ru

Проведено экспериментальное исследование влияния количества витков спирали, расположенных в центральной части спирального безмасляного вакуумного насоса, на его откачные характеристики. Для этого с определенным шагом в корпусе насоса добавлены отверстия с заглушками. Открывая заглушки в определенной последовательности, можно изменять момент начала процесса нагнетания и, таким образом, исключать из работы центральные витки спирали на заданную величину. Эксперимент показал, что

при общем числе витков 5.5 оборотов исключение из работы до 2.5 центральных витков практически не влияет на остаточное давление и быстроту действия, однако увеличивает шум, потребляемую мощность и нагрев, особенно при низких давлениях. Это объясняется тем, что за счет большого радиуса кривизны внешние витки спирали в точках минимального зазора оказывают намного большее сопротивление обратным перетеканиям, чем внутренние. Поэтому исключение центральных витков с малыми радиусами кривизны стенок увеличивает перетекания незначительно. Однако, при этом проявляется эффект недожатия газа, в результате чего возрастает потребляемая мощность, увеличиваются пульсации на выхлопе и температура. При дальнейшем снижении числа витков остаточное давление резко возрастает, а быстрота действия падает.

О РАЗДЕЛЕНИИ ВТОРИЧНЫХ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ ДИСТИЛЛЯЦИЕЙ В ВАКУУМЕ

В. Н. Володин, А. О. Мукангалиева, С. А. Требухов, А. В. Ниценко, К. А. Линник

АО «Институт металлургии и обогащения» Satbayev University, Алматы, Казахстан

E-mail: volodinv_n@mail.ru

Одним из перспективных способов переработки биоразлагаемых магниевых сплавов может быть их дистилляционное разделение в вакууме с переводом магния и других летучих составляющих в паровую фазу и концентрированием мало летучих примесей (олова, серебра) в кубовом остатке. Нами на основании границ фазового перехода жидкость – пар двойных систем рассмотрена возможность дистилляционной переработки магниевых сплавов, легированных оловом, серебром и кальцием. Установлено, что разделение сплавов магния с оловом и серебром не представляет технологических затруднений, а сплавов магния с кальцием затруднено из-за сопоставимых величин давления пара. Признано целесообразным совместное выделение Mg и Ca в коллективный конденсат и накопление менее летучих компонентов (Sn, Ag) в кубовом остатке, которые могут быть использованы для приготовления и корректировки состава биоразлагаемых сплавов.

Благодарности
Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант AP26196623).

РАЗРАБОТКА КОМПАКТНОГО ТЕРМОРЕЗИСТИВНОГО ВАКУУММЕТРА МЕРАДАТ-ВИТ08Т НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СК-ТС6

Д. А. Воронов

ООО «НПП «Системы контроля», Пермь, Россия

E-mail: voronov-termodat@mail.ru

На предприятии ООО «НПП «Системы контроля» разработан терморезистивный вакуумметр Мерадат-ВИТ08Т. Основное отличие новой модели от серийно выпускаемых вакуумметров Мерадат-ВИТ заключается в изменении архитектуры прибора. В настоящее время вакуумметры Мерадат-ВИТ состоят из двух основных частей: электронного блока управления и манометрического преобразователя, соединенных между собой кабелем. При этом манометрический преобразователь не содержит встроенной электроники, а формирование и обработка электрических сигналов осуществляется внешним электронным блоком (прибором). Вакуумметр Мерадат-ВИТ08Т построен на основе манометрического преобразователя СК-ТС6. В данной модели электронный блок, обеспечивающий обработку сигналов манометрического преобразователя, размещён непосредственно на преобразователе. Передача значения давления осуществляется в цифровом виде по про-

мышленному интерфейсу RS-485 с использованием протоколов Modbus-ASCII или Modbus-RTU. Такое конструктивное решение позволило создать компактный цифровой вакуумметр, удобный для применения в современных вакуумных системах.

РАЗВИТИЕ ПРОГРЕВАЕМЫХ СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНЫХ КЛАПАНОВ, ЗАТВОРОВ И РАЗЪЁМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В. В. Вязовецков[1], Л. К. Кузнецова[1], Ю. С. Шпанский[1, 2]

[1] Национальный центр «Курчатовский институт», Москва, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет МЭИ», Москва, Россия

E-mail: Vyazovetskov_VV@nrcki.ru, Kuznetsova_LK@nrcki.ru, Shpanskiy_YS@nrcki.ru, ShpanskyYS@mpei.ru

Целью доклада являются предложения более надёжного конструктивного выполнения сверхвысоковакуумных прогреваемых фланцев, клапанов и затворов. Рассматривается физика возникновения натекания в соединениях при термоциклировании. Представляются новые признаки выполнения деформационных схем в крупных прогреваемых устройств. Рассматривается новая методика испытаний прогреваемых разъёмных соединений. Обсуждаются задачи разработки новых прогреваемых сверхвысоковакуумных фланцев, клапанов и затворов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНЫХ ПРОГРЕВАЕМЫХ РАЗЪЁМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПРОХОДНЫМ ДИАМЕТРОМ 250 ММ

В. В. Вязовецков[1], Н. П. Бобырь[1], Д. А. Козлов[1], Л. К. Кузнецова[1], А. В Спицын[1], Н. О. Степанов[1], Д. И. Черкез[1], Ю. С. Шпанский[1, 2]

[1] НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия
[2] Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия

E-mail: Vyazovetskov_VV@nrcki.ru, Bobyr_NP@nrcki.ru, Kozlov_DA@nrck.ru, Kuznetsova_LK@nrcki.ru, Spitsyn_AV@nrcki.ru, Cherkez_DI@nrcki.ru, Shpanskiy_YS@nrcki.ru, ShpanskyYS@mpei.ru

Целью работы является представление результатов изучения герметизации новых сверхвысоковакуумных цельнометаллических разъёмных соединений в процессе их термоциклирования. Обсуждаются существующие конструкции прогреваемых фланцев. Новыми являются предложения признаков выполнения деформационных схем и методики испытаний. По сравнению с фланцами, выполненными по ГОСТ 26526–85, изучаемые образцы допускали значительно большее количество циклов срабатывания.

КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ТЕРМОВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ С СОВМЕСТНЫМ ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕЛИЕВОГО ТЕЧЕИСКАНИЯ И АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

К. В. Гречанников[1], М. Н. Терентьев[2]

[1] АО «НПО им. С. А. Лавочкина», Химки, Россия
[2] ФГАОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия

E-mail: hitairmax@mail.ru

Целью работы является разработка метода комплексного мониторинга герметичности термовакуумной камеры (ТВК) в режиме реального времени при проведении испыта-

ний изделий космической техники. Обеспечение герметичности ТВК, используемых для испытаний космической техники, является одним из ключевых условием получения достоверных результатов испытаний. Нарушение герметичности может привести к ухудшению вакуумных условий, нарушению температурного режима и повреждению испытываемого оборудования. В настоящее время для контроля герметичности термовакуумных камер широко используются гелиевые методы течеискания, однако они обладают рядом недостатков Основная идея заключается в совместном использовании методов гелиевого течеискания и акустической эмиссии. Предложена структура системы мониторинга, включающая датчики АЭ, модуль обработки сигналов и подсистему течеискания. Датчики АЭ размещают с учётом формы камеры и внутренних конструкций, что обеспечивает сочетание точности и надёжности локализации утечек газа. Комбинированный подход позволит повысить точность локализации и сократить время поиска течи по сравнению с использованием только течеискателя.

МЕТОД КОНТРОЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, СФОРМИРОВАННЫХ ИОННЫМ ТРАВЛЕНИЕМ В ВАКУУМЕ, С ПРИМЕНЕНИЕМ МУЛЬТИВОЛНОВОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Д. В. Дорофеев, Д. К. Кострин

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

E-mail: watson213@yandex.ru

В настоящее время наблюдается активное развитие оптики и вакуумно-плазменных технологий производства ее узлов. Одним из наиболее перспективных направлений является асферическая оптика, применяемая, например, в системах виртуальной и дополненной реальности, а также в устройствах медицинского назначения. Можно отметить, что асферические линзы требуют высокой точности производства, таким образом, во избежание брака требуется высокая точность контроля новых линз. Для данных задач используются различные приборы, такие как профилограф, однако сканирование поверхности в этом случае занимает много времени, и при этом данный метод имеет большую погрешность. Одним из перспективных методов контроля асферических поверхностей является мультиволновая интерферометрия, которая позволяет повысить точность контроля линз, а также производить контроль грубообработанных заготовок и линз с диффузно отражающими покрытиями. В докладе представлены результаты разработки метода контроля асферических линз при помощи мультиволновой интерферометрии, что потребовало разработки тест-объекта высокой точности изготовления, для получения которого использовался метод ионного травления в вакууме.

УЛУЧШЕНИЕ СТРУКТУРЫ МАГНИТО- И ЭЛЕКТРОУПРАВЛЯЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ СИСТЕМ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ

У. А. Ерохина, В. А. Бутко, С. В. Сидоренко, В. С. Щербакова, А. М. Базиненков

ФГАОУ ВО МГТУ им. Н. Э. Баумана (НИУ), г. Москва, Россия

E-mail: eroxinaulyana2005@mail.ru, butkovladislava@gmail.com

Магнито- и электроуправляемые полимеры относятся к классу композиционных интеллектуальных материалов и могут быть успешно применены в качестве активных элементов систем виброизоляции прецизионного вакуумного оборудования. Наличие дефектов в структуре диэлектрического эластомера (ДЭ), например, пор, приводит к снижению электрической прочности и неравномерной деформации под действием электрического поля. Дефекты в структуре магнитореологического эластомера (МРЭ)

ухудшают его реологический и механический отклик на управляющее магнитное поле, снижая эффективность работы устройств на его основе. В работе рассмотрена операция вакуумной дегазации в технологии изготовления эластомерных композитов. Для ДЭ предложена двухэтапная вакуумная дегазация, удаляющая микропоры и обеспечивающая равномерную толщину слоя. Для МРЭ применена вакуумная дегазация наряду с введением в состав тиксотропного вещества. Показано, что вакуумная обработка получает получить эластомерные активные элементы систем виброизоляции с минимальными дефектами.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ОСАЖДЕНИЯ ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ (BA,SR,CA)CO_3

Г. А. Жабин

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

E-mail: gazhabin@istokmw.ru

С применением алгоритмического языка Python и метода Монте-Карло разработана расчетная модель транспорта распылённых частиц при ионно-плазменном распылении многокомпонентной мишени (Ba,Sr,Ca)CO_3. Модель учитывает энергозависимые сечения рассеяния, изотропные бинарные столкновения в смеси газа (Ar + CO_2), угловое распределение вылета с индивидуальными показателями степени n для каждого оксида, распределение Томпсона с эмпирическим множителем Ke и экспоненциальный профиль эрозии. Сравнение с экспериментальными данными по составу и толщине пленок при 0.12 Па показало среднюю евклидову точность модели по металлам 0.34 %, по полному составу 0.48 %. На оптимальном радиусе подложки расчетная толщина пленки воспроизводится с погрешностью 1.2 %, что находится в пределах погрешности измерений и подтверждает высокую точность модели. Выполнены предсказания состава плёнки для давлений 0.10–0.15 Па, которые могут быть использованы для оптимизации технологических режимов напыления эмиссионных покрытий [1].

Литература

[1] Жабин Г. А. Оптимизация напыления покрытий микрокатодов с применением искусственных нейронных сетей // Сб. научн. ст. 9-ой Международн. научн.-практ. конф. «Радиоинфоком-2025». Москва, МИРЭА. 2025. С. 688–693.

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ РАЗЪЁМНЫХ И НЕРАЗЪЁМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, А ТАКЖЕ ПАТРУБКОВ КОРПУСОВ ВАКУУМНЫХ КАМЕР: ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ИСПЫТАНИЙ НА ЭТАПЕ МОНТАЖА

Е. В. Жировов, А. М. Зверев

АО «Криогенмонтаж», Москва, Россия

E-mail: zverev_am@cryomont.com

Целью проведения работ, согласно описываемому методу, является подтверждение соответствия требованиям конструкторской документации герметичности вновь выполненных разъёмных и неразъёмных соединений, а также патрубков для навесного оборудования корпуса вакуумной камеры при локальном вакуумировании контролируемых соединений и патрубков с использованием накладных вакуумных камер. Применение масс-спектрометрического метода контроля с использованием накладных вакуумных камер, обеспечивает выявление течей непосредственно после сборки отдельных её элементов и позволяет устранить их до начала монтажа смежных систем и оборудо-

вания. Отказ от такой проверки и обнаружение течи лишь на этапе вакуумирования всего корпуса изделия в целом приводит к необходимости дополнительных работ по демонтажу навесного оборудования камер или его полной разборки для устранения выявленного дефекта (утечки), что существенно увеличивает материальные затраты.

Литература

[1] Патент ИЗ RU №2616344 C1. Способ изготовления вакуумной рамки и вакуумная рамка, полученная этим способом.

ПРОЦЕССЫ СИНТЕЗА И РОСТА НАНОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР

А. А. Иванов[1], Д. К. Кострин[1], В. И. Марголин[1], Нгуен Вьет Ан[1], А. И. Протченко[2], А. А. Рассадина[1], В. А. Тупик[1], Фам Конг Че[1], Н. Н. Шарова[2], И. И. Шолина[1]

[1] СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Россия
[2] АО «НИИ «ФЕРРИТ-ДОМЕН», Санкт-Петербург, Россия

E-mail: v.margolin@mail.ru

Изучение эффектов слабых и ультраслабых воздействий, электромагнитных (ЭМ) и прочих полей на различные системы, особенно наноразмерные, сомнений не вызывает. Стандартная технология синтеза предусматривает реализацию на поверхности подложки гладкой однородной пленки, с которой производятся дальнейшие технологические операции с целью получения необходимой структуры. Гораздо более интересным является использование технологических приемов и методик, позволяющих получать сразу же необходимую структуру на поверхности подложки, и, желательно по всей ее поверхности. Наиболее целесообразным в этом плане представляется использование соответствующим образом структурированного специального физического агента, в роли которого использовалось структурированное ЭМ поле. Для осуществления процессов структуризации ЭМ поля применялись дифракционные решетки (ДР) сложной формы, представляющие собой искусственным образом синтезированную штриховую голограмму с размером штриха менее микрона и являющуюся чрезвычайно сложной криволинейной дифракционной структурой, созданной по определенному алгоритму. ЭМ-излучение после взаимодействия со структурой ДР участвует в процессе синтеза наноразмерной пленки, обеспечивая несиловое воздействие на процесс синтеза.

ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ RISC-V МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ В ВАКУУМНЫХ СИСТЕМАХ И УСТАНОВКАХ

Д. С. Иванов[1, 2], М. С. Ковтун[1, 2]

[1] ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Санкт-Петербург, Россия
[2] ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия

E-mail: vacuum@vniim.ru, d.ivanov.games@yandex.ru, lena465mist@mail.ru

Обеспечение единства измерений в области низких абсолютных давлений и вакуума относится к числу приоритетных задач отечественной метрологии. Необходимость в повышении точности, воспроизводимости и производительности измерений, а также в исключении человеческого фактора стимулирует переход к автоматизированным системам управления (АСУ) вакуумных систем и установок. Такие АСУ требуют обеспечения многозадачности и параллельного выполнения алгоритмов управления, для чего, как правило, используются операционные системы реального времени (ОСРВ). С переходом на отечественную компонентную базу актуальным становится вопрос применения ОСРВ на российских микроконтроллерах с архитектурой RISC-V. В работе приве-

ден обзор и экспериментальное сравнение как отечественных, так и зарубежных ОСРВ, используемых в вакуумметрических установках, разрабатываемых ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» и ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого». Сформированы рекомендации по выбору операционной системы в зависимости от решаемых задач автоматизации, требуемой степени обеспечения технологической независимости и метрологических характеристик разрабатываемых вакуумметрических установок.

ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТОРАКАЛЬНОЙ ХИРУРГИИ

П. М. Ионов[1, 2], А. Л. Акопов[2], С. Ю. Дворецкий[2], Р. П. Мишра[2], А. И. Петрунина[2]

[1] СПб ГБУЗ «Городская Покровская больница», Санкт-Петербург, Россия
[2] Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: ionovpavelm@mail.ru

Использование отрицательного давления в современной медицине позволяет решать многие задачи, в том числе лечебно-диагностические. Активное дренирование ран (полостей) оказывает значительное физическое и биологическое воздействие на ткани, стимулируя репаративные процессы. Это позволяет улучшить результаты лечения пациентов. Цель работы продемонстрировать эффективность вакуумных технологий в торакальной хирургии. Развитие осложнений у части больных, связанных с вакуумным дренированием, требует дифференцированного подхода к выбору метода лечения и новых технических решений. В настоящий момент вакуумная терапия является важным звеном комплексного лечения ран и продолжает развиваться в контексте персонализированной медицины.

ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК НИКЕЛЯ И АЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ИСПАРЕНИЯ С ПРОГНОЗИРУЕМЫМИ ОПТИЧЕСКИМИ ПОСТОЯННЫМИ

А. Н. Исамов, Ю. О. Просовский, О. Ф. Просовский, В. А. Смольянинов, Г. В. Солопов, Д. Н. Петрачков

АО «ОНПП «Технология» им. А. Г. Ромашина», Обнинск, Россия

E-mail: lab37@technologiya.ru

С развитием области оптоэлектроники, все большее распространение получают металл-диэлектрические покрытия. При производстве подобных оптических конструкций крайне важно учитывать особенности и взаимосвязи производственных факторов, определяющих конечные свойства полученных тонких пленок алюминия и никеля. Целью данной работы являлась выработка оптимальных технологических параметров, позволяющих контролируемо и, что немаловажно, воспроизводимо от процесса к процессу получать тонкие пленки металлов методом электронно-лучевого испарения. В работе представлены ключевые технологические решения, позволяющие наносить тонкие пленки алюминия и никеля с прогнозируемыми оптическими постоянными. Проведен анализ оптических постоянных полученных пленок, с учетом различных производственных факторов и проведена оценка влияния данных факторов на оптические постоянные. На основании проведенного исследования определены оптимальные параметры, позволяющие получать тонкие пленки металлов.

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВИЗАЦИИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВАКУУМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

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

ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Санкт-Петербург, Россия

E-mail: r.e.kuvandykov@vniim.ru

В статье рассматривается техническая реализация цифровизации метрологического обеспечения в области измерений давления, вакуумных измерений. Приведены результаты работ по автоматизации регистрации измеренных значений измерительных данных вакуумметрической установки и параметров окружающей среды, проведенных научно-исследовательской лабораторией госэталонов и научных исследований в области измерений низкого абсолютного давления вакуума ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева. Сделаны выводы о перспективности найденных решений. ПАК измерения, регистрации и контроля параметров окружающей среды, разработанный во ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» позволяет автоматизировать труд поверителя, снизить риски ошибок при проведении метрологических работ, обеспечить выполнение формальных требований к условиям проведения процедур поверки и калибровки, а также может быть использован на предприятиях для контроля условий рабочих мест. Выбранная в процессе разработки ПАК структурная схема системы позволяет реализовать сразу несколько уровней «пирамиды автоматизации», ввести в метрологическую практику планы и задачи, поставленные в концепции «Индустрия 4.0». ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» приглашает все заинтересованные организации к партнёрству и дальнейшему совместному сотрудничеству в этом направлении.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ВИНТОВОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

А. Е. Капустин[1, 2], А. А. Райков[1], А. В. Бурмистров[1]

[1] ФГБОУ ВО «КНИТУ», Казань, Россия
[2] АО «Вакууммаш», Казань, Россия

E-mail: kapustinae@vacma.ru

В работе с целью повышения эффективности рабочего процесса винтового вакуумного насоса исследованы различные профили роторов. Выполнен анализ влияния профиля на величину обратных перетеканий газа через щелевые каналы роторного механизма. Расчёты проводимости каналов проведены для молекулярного и вязкостного режимов течения газа при варьировании шага винта, величин профильных зазоров и давлений на входе и выходе из канала. Для сравнения интегральных характеристик разработана «камерная» математическая модель винтового насоса, допускающая изменение профилей роторов. На основе полученных данных установлены закономерности влияния профиля роторов на эффективность винтовых вакуумных насосов различных конструкций. Установлено, что насос с роторами эвольвентно-циклоидального профиля обеспечивает снижение обратных перетеканий от 10 до 15 % и, следовательно, является более «герметичным» решением по сравнению с насосом, имеющим симметричный профиль ротора. Благодаря этому появляется возможность уменьшить число витков ротора, что при сохранении габаритов и остаточного давления позволяет получить большую быстроту действия.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЛОЖКИ ДЛЯ ФОТОКАТОДА КОНДЕНСАТОРНОГО ТИПА

Р. А. Каракулов, Р. И. Нуртдинов, А. Ю. Соколов, А. С. Долотов

ФГУП «ВНИИА им. Н. Л. Духова», Москва, Россия

E-mail: ruslankarakulov@yandex.ru

В рамках исследования причин возникновения дефектов проводящей подложки для фотокатода установлено, что ключевыми факторами являются особенности материалов и параметры их нанесения. Установлено, что наиболее подходящим рабочим давлением магнетронного распыления слоя ITO является минимально возможное для конкретного типа оборудования – в установке SCM это $2.0 \cdot 10^{-3}$ Торр. Температура подложки при этом должна быть в диапазоне 240 ... 250 °C, что обеспечивает формирование стехиометрической пленки и отсутствие внутренних дефектов. Плотность мощности разряда и частоту следует устанавливать такими, при которых отсутствует капельная фаза в покрытии. Ввиду активных восстановительных процессов в контактной зоне фотокатода и ITO проводящий слой необходимо защищать барьерным покрытием. Сравнение наиболее распространенных материалов, применяемых для подобных целей, выявило наибольшую эффективность диоксида кремния (SiO_2). При этом толщина ITO выбирается исходя из рабочей длины волны будущего прибора (550 нм) для достижения просветляющего эффекта с обеспечением минимального поверхностного сопротивления (не более 45 Ом/□). Главное требование к SiO_2 – сплошность. В результате получена технология формирования бездефектной двухслойной подложки в едином вакуумном цикле для фотокатода конденсаторного типа.

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕЛИЕВЫЕ ТЕЧЕИСКАТЕЛИ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

А. В. Кондратьев, И. Т. Аманбаев

НПО «Геликон», ООО, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: Andrey.Kondratev@gelikonspb.ru

Целью доклада является описать представление о положении на российском рынке гелиевых масс-спектрометрических течеискателей. Отдельно указать состояние производства отечественных приборов. Донести до слушателей важность понимания основных характеристик течеискателей. Дать представление о разнице терминов чувствительности гелиевых течеискателей и чувствительности метода контроля герметичности.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ ОТКАЧКИ ПРИ ВАКУУМНОЙ ОБРАБОТКЕ ЖИДКИХ СПЛАВОВ В МЕТАЛЛУРГИИ

С. В. Корнеев

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

E-mail: kompvak79@yandex.by

Целью работы являлось обоснование оптимальных условий применения и преимуществ использования гибридных систем откачки при вакуумной обработке жидкой стали в металлургии, включающих как пароэжекторные вакуумные насосы, так и механические вакуумные насосы. Основная идея заключается в комбинировании двух типов откачных систем с использованием их преимуществ и минимизацией недостатков при работе в определенных диапазонах давления. При построении оптимальной гибридной систе-

мы возможно сокращение расхода энергоресурсов при одновременном улучшении качественных показателей работы системы. Способ решения задачи заключался в определении характеристик работы трех типов вакуумных систем на основе пароэжекторных насосов, на основе механических насосов и гибридной системы. Проанализированы как технические, так и экономические аспекты использования гибридных систем откачки. Результаты расчетов характеристик и анализа работы систем показывают, что при построении систем вакуумной откачки или их модернизации для определенных металлургических процессов вакуумной обработки таких, например, как RH-процесс при определенном диапазоне масс обрабатываемого металла (80–160 тонн) наиболее оптимальны гибридные системы.

ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ВАКУУМНО-ДУГОВОЕ НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ ГРАФИТА ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В. Г. Кузнецов, Т. А. Курбанов

ФГБУН Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: kvgipme@gmail.com

Применительно к мощным электровакуумным приборам, таким как СВЧ лампы бегущей волны, клистроны импульсного и непрерывного действия, магнетроны, ВЧ мощные генераторные лампы, рентгеновские трубки, в том числе с вращающимся анодом, разрабатываются технологии вакуумно-дугового нанесения металлов на элементы конструкций приборов из графита. Особенность технологии состоит в том, что практически весь испаренный материал с поверхности катода вакуумно-дугового испарителя осаждается на поверхности графита. При этом скорость нанесения металлического покрытия на графит может достигать 1 мкм в секунду. Покрытие из молибдена наносилось на торцевую поверхность графитового стержня диаметров 40 мм. В работе представлены математические выражения для расчета скорости эрозии материала катода, мощности, расходуемой на испарение материала, мощности, выделяющейся на электродах, площади анода, как коллектора электронов и др. Результаты работы позволили на основе новых технологий и конструкций решить проблему обеспечения прочностных соединений металлических деталей с углеродными.

Благодарности
Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации для ИПМаш РАН (тема № 124041500009-8).

УНИКАЛЬНЫЙ ОПЫТ КОМПАНИИ «ОПТИКОН» – КАК ПРИМЕР ЧАСТНОЙ ИНИЦИАТИВЫ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ДЛЯ СВЕРХВЫСОКОГО ВАКУУМА

К. А. Куныгин, П. Г. Нечаев

ООО «Оптикон», Новосибирск, Россия

E-mail: sales-opticon@bk.ru

В рамках прошедшей в Санкт-Петербурге конференции «Вакуумная техника и технология-2025» остро стоял вопрос об обеспечении технологического суверенитета России в вакуумном машиностроении [1]. Под технологическим суверенитетом понималась «возможность разрабатывать и возможность производить». Один из ответов на этот вопрос, дает Новосибирское предприятие ООО «Оптикон». В докладе представляется обзор продукции для отраслей, связанных с высоким и сверхвысоким вакуумом.

Литература

[1] Капустин Е. Н., Капустин А. Е. Перспективы обеспечения технологического суверенитета России в вакуумном машиностроении // Труды 32-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Вакуумная техника и технологии-2025». 2025. С. 17.

МИКРОПЛАЗМЕННАЯ СТРУЯ КАК ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ОСНОВА МОДЕРНИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ МЕТОДОВ ЛОКАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТКАНИ

В. Н. Лесных, К. И. Пученков

ООО «ПАРАМЕРУС», Курск, Россия

E-mail: Liesnykh.00@mail.ru

Цель работы – обосновать применение микроплазменной струи как физико-технической основы модернизации медицинских методов локального воздействия на биологические ткани. Объект исследования – обработка кожных образований микроплазменным разрядом. Основная идея заключается в учете не только коагулирующего эффекта, но и физико-химических факторов воздействия. В зоне контакта плазменной струи с кожей формируются заряженные частицы, кислород- и азотсодержащие соединения, локальный нагрев и УФ-излучение, что может влиять на результат процедуры и выбор режима обработки. В работе использованы результаты экспериментального исследования микроплазменной струи в сильно неоднородном электрическом поле и первичная клинико-техническая апробация серийного коагулятора. Проведена обработка различных кожных образований с фотофиксацией исходного состояния, зоны воздействия и результата после процедуры. Полученные данные рассматриваются как основа для уточнения конструкции электрода, режимов питания, геометрии разрядного промежутка и алгоритма управления прибором. Показано, что модернизация таких устройств должна учитывать физико-химическое взаимодействие разряда с поверхностью кожи.

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ МАГНИТОРАЗРЯДНЫХ НАСОСОВ

В. Н. Лесных, К. И. Пученков, М. В. Моисеев

ООО «ПАРАМЕРУС», Курск, Россия

E-mail: info@paramerus.com

В докладе рассмотрен специализированный программируемый высоковольтный источник питания (серий SHVLP-IP и THVLP), предназначенный для питания магниторазрядных (ионно-распылительных) насосов всех типов. Основная идея заключается в обеспечении вакуумных систем надежным устройством, способным стабилизировать напряжение, ограничивать мощность и использовать ток разряда как технологический сигнал для прецизионной оценки давления. Предложенный путь решения представляет собой создание высокоточных источников питания с выходным напряжением до 7 кВ, обеспечивающих прецизионную метрологию тока с минимальным шагом от 100 нА. Ключевой особенностью приборов является поддержка автоматического многоступенчатого режима, который последовательно снижает выходное напряжение по мере уменьшения тока нагрузки. Данный алгоритм обеспечивает ускоренный запуск насоса, предотвращает избыточное распыление материала и снижает тепловую нагрузку на катоды в режиме сверхвысокого вакуума. Аппаратная часть включает в себя полный набор защит: быстродействующую дуговую защиту с настраиваемым временем восстановления, а также защиты от короткого замыкания, перегрева, перенапряжения и превышения мощности. Для

удаленного управления по протоколам ModBus RTU и TCP, мониторинга и автоматизации разработано программное обеспечение, позволяющее настраивать сценарии, строить графики в реальном времени и вести непрерывное логирование процесса откачки.

ФРЕЗЕРОВАНИЕ ЛИСТОВОГО СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА ТВЕРДОСПЛАВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ С АЛМАЗНЫМ И АЛМАЗОПОДОБНЫМ ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

А. П. Литвинов, С. В. Фёдоров

ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия

E-mail: ya@artemlitvinov.ru

Целью работы является сравнительное исследование обрабатываемости стекловолокна FR4 в условиях сухого фрезерования твердосплавными инструментами с углеродными покрытиями (алмаз и DLC) и мониторинг кинетики резания с помощью акустической эмиссии. Инструмент с алмазным покрытием обеспечил наилучшее качество поверхности с минимальной шероховатостью R_A = 0.2 мкм. Применение износостойких покрытий позволило увеличить скорость резания в 1.3–1.7 раза. Вибрационные сигналы показали, что частотные диапазоны до 20 кГц и от 33 до 48 кГц достаточно информативны при диагностике процесса фрезерования стекловолокна. Установлена взаимосвязь между значениями параметра отношение среднеквадратичных амплитуд НЧ- и ВЧ-сигналов K_f и шероховатостью поверхности обработанной стекловолоконной пластины.

Благодарности
Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-19-00694).

ИСТОЧНИКИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ ДЛЯ УСКОРИТЕЛЕЙ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

З. Г. Люллин[1, 2], С. А. Марцынюков[1], Д. К. Кострин[1]

[1] Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия
[2] НИИЭФА им. Д. В. Ефремова, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: dkkostrin@mail.ru

В докладе рассмотрены основные подходы к конструированию источников отрицательных ионов, создающих пучки атомов с дополнительным электроном, при этом ион H^- является наиболее часто создаваемым отрицательным ионом. Физические процессы, связанные с образованием отрицательных ионов, до сих пор полностью не изучены, но в целом их можно описать как процессы обмена зарядами, а также их поверхностного и объемного образования. В различных типах источников может преобладать один из данных процессов, однако все три процесса могут вносить вклад в общий ток извлекаемых отрицательных ионов. Первыми источниками ионов H^- были устройства, основанные на эффекте перезарядки, осуществляемом двумя способами: с помощью фольги или газов. Различные источники, первоначально предназначенные для получения положительных ионов, были адаптированы и модифицированы для получения ионов H^-. Тип используемого источника зависит от того, какие типы ионов требуются и какой ток пучка необходим. Во всех крупных лабораториях, работающих с источниками ионов H^-, продолжается интенсивная работа по их разработке.

ИСТОЧНИКИ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ИОНОВ ДЛЯ УСКОРИТЕЛЕЙ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

З. Г. Люллин[1, 2], С. А. Марцынюков[1], Д. К. Кострин[1]

[1] Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия
[2] НИИЭФА им. Д. В. Ефремова, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: dkkostrin@mail.ru

В докладе рассмотрены основные подходы к конструированию ионных источников, которые могут быть сконфигурированы для получения однозарядных положительных ионов, при этом некоторые из них лучше подходят для получения многозарядных тяжелых положительных ионов. Существует множество гибридных типов источников, которые сочетают в себе функции из разных типов источников. Тип используемого источника зависит от того, какие типы ионов требуются и какой ток пучка необходим. При выборе источника ионов целесообразно руководствоваться следующими основными принципами. Для источников протонов с требуемым током до 100 мА очевидным выбором является источник ионов с микроволновым разрядом, поскольку он обеспечивает исключительный срок службы и надежность. Для источников протонов с током до 500 мА единственным вариантом является дуоплазматрон. Для получения тяжелых или многозарядных ионов наилучшим вариантом является источник с циклотронным резонансом. Для ионов с высоким уровнем заряда наилучшим вариантом является электронно-лучевой источник ионов.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ УСТРОЙСТВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ УСКОРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

З. Г. Люллин[1, 2], Д. К. Кострин[1]

[1] Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия
[2] Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д. В. Ефремова, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: lullin@luts.niiefa.spb.su

В докладе рассматриваются основные этапы разработки и экспериментальных исследований макетов мишенно-ионных устройств с поверхностным источником ионов для отладочных работ на масс-сепараторном комплекса «ИРИНА» на высокопоточном реакторе ПИК в НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ (г. Гатчина, Ленинградская область). Экспериментально определены диапазоны токов накала и температур, обеспечивающие устойчивую эмиссию ионного пучка на уровне десятков наноампер. Также приводятся данные по проведению исследований структурных и химических изменений углеродных перезарядных фольг циклических ускорителей после воздействия высокоэнергетических пучков частиц с целью изучения возможностей повышения их долговечности и совершенствования технологии изготовления. Установлена роль армирующих и базовых слоев в инициировании разрушения и снижении ресурса фольг, получены экспериментальные зависимости, позволяющие оценить срок службы фольг без проведения испытаний на дорогостоящем оборудовании.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК В СРЕДЕ COMSOL MULTIPHYSICS

К. М. Лях, С. А. Марцынюков, Д. К. Кострин

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

E-mail: sergm2006@mail.ru

В докладе рассматривается моделирование процесса осаждения тонких пленок в программном комплексе COMSOL Multiphysics и оценка равномерности покрытия при различных условиях формирования пленки. В работе рассмотрены модели термического вакуумного испарения с единственным источником и двумя одновременно работающими источниками [1], а также для возможного сравнения с ними модель химического осаждения. Продемонстрированы двумерные распределения толщины пленок по поверхности подложки, рассчитаны минимальные, максимальные и средние значения толщины, а также коэффициенты равномерности покрытий. Показано, что характер распределения толщины при термическом испарении определяется геометрией расположения источников и подложки, а при химическом осаждении – особенностями газового потока и переноса прекурсора.

Литература

[1] Electronic structure and plasmonic activity in co-evaporated Ag-In bimetallic alloys / R. Todorov, T. Hristova-Vasileva, V. Katrova et al. // J. Alloys Compd. 2022. Vol. 897. P. 163253.

ТЕПЛООБМЕН В МНОГОЛОПАСТНОМ НАСОСЕ ВНЕШНЕГО СЖАТИЯ ТИПА РУТС

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

ФГБОУ ВО «КНИТУ», Казань, Россия

E-mail: hoyki550@gmail.com

Двухроторный насос типа Рутса (ДВН), как и другие бесконтактные насосы, чувствителен к условиям теплообмена. В вакууме отвод теплоты от ротора существенно ограничен, поэтому при неравномерном нагреве корпуса и ротора тепловые деформации могут приводить к заклиниванию. В связи с этим исследование теплообмена в рабочей полости насоса представляет собой актуальную задачу. В работе выполнено расчётное и экспериментальное исследование температур рабочих элементов ДВН с двух-, трёх- и четырёхлопастными роторами. В ходе эксперимента получены зависимости температур роторов и корпуса от входного давления при различных частотах вращения. Для расчётного определения температур решалась задача сопряжённого теплообмена в двумерной постановке. Газодинамический расчёт проводился в пакете численного CFD-моделирования. Полученные среднеинтегральные по обороту ротора температуры и коэффициенты теплоотдачи передавались в численную модель теплопередачи в стационарной постановке, по результатам решения которой определялось распределение температур в элементах корпуса и роторах. Для применения в инженерных расчётах на основе обработки полученных данных выведена формула, описывающая зависимость температуры роторов от температуры корпуса, частоты вращения и числа лопастей. Максимальное расхождение с экспериментальными данными не превышает 2.8 %.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ОКСИНИТРИДА ТИТАНА РЕАКТИВНЫМ ИСПАРЕНИЕМ ТИТАНА В ДУГОВОМ РАЗРЯДЕ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

А. И. Меньшаков[1, 2], Ю. А. Меньшакова[1, 2]

[1] Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия
[2] УРФУ им. Первого президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

E-mail: menshakovandrey@mail.ru

Работа посвящена исследованию особенностей получения покрытий TiON методом реактивного испарения титана электронным потоком из плазмы разряда с самонакаливаемым полым катодом в среде Ar + O_2 + N_2. В работе приведены результаты зондовой и спектральной диагностики плазмы и оценки степени диссоциации O_2 и N_2, а также результаты исследования состава, структуры и свойств получаемых покрытий. Показано, что данный метод обеспечивает не только высокие скорости испарения металла, но и высокую степень диссоциации O_2 и N_2, а также высокую плотность ионного тока, что позволяет получать плотные нанокристаллические покрытия с достаточно высокой скоростью осаждения.

Благодарности
Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 25-29-01705).

КОМБИНИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В ИСТОЧНИКЕ С МНОГОДУГОВЫМ СЕТОЧНЫМ ПЛАЗМЕННЫМ ЭМИТТЕРОМ

М. А. Мокеев, Д. А. Горьковская, В. Н. Девятков, М. С. Воробьёв, А. А. Гришков, Н. Н. Коваль, Р. А. Картавцов

Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия

E-mail: ma.mokeev@hcei.ru

В работе исследована генерация и комбинированное управление модулированным электронным пучком субмиллисекундной длительности в источнике электронов «СОЛО» с многодуговым сеточным плазменным эмиттером и двухсеточной системой управления. Регулирование тока пучка осуществлялось за счёт совместного изменения тока дугового разряда, определяющего концентрацию эмиссионной плазмы, и напряжения между анодной и эмиссионной сетками, задающего потенциальный барьер для плазменных электронов вблизи эмиссионной границы. Такой подход позволяет формировать заданный временной профиль тока в ускоряющем промежутке и изменять мгновенную мощность электронного пучка в пределах 0.1–10 МВт в течение одного импульса. Полученные результаты могут быть использованы при разработке источников электронов с управляемым энерговкладом электронно-пучковой обработки материалов.

Благодарности
Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (РНФ 26-19-00927) https://rscf.ru/project/26-19-00927/.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНОМ ПЛАНЕТАРНО-РЕЗЬБОВОМ МЕХАНИЗМЕ ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Мьо Чжо Хлаинг, В. П. Михайлов

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

E-mail: myokyawhlaing51@gmail.com

В условиях СВВ разрушение сорбционного слоя приводит к ювенильному контакту и росту коэффициента трения до 1.9 [1], а механически стимулированное газовыделение при разрушении микроконтактов нагружает вакуумную систему [2]; определяющую роль в обоих процессах играет температура рабочих поверхностей. Разработанная модель трибологических и газодинамических процессов в ПРМ показывает: нагрев с 293 до 473 K уменьшает число циклов до когезионного режима с 200–400 до 50–80, увеличивает пиковую силу трения на 40–60 % и давление в камере на порядок величины, что позволяет назначать допустимый температурный диапазон ещё на этапе проектирования.

Литература

[1] Деулин Е. А., Басманов М. С. Вакуумные механизмы ядерной и космической техники. М.: Горячая линия – Телеком, 2019. 388 с.

[2] Peressadko A. G., Nevshupa R. A., Deulin E. A. Mechanically stimulated outgassing from ball bearings in vacuum // Vacuum. 2002. Vol. 64, № 3–4. P. 451–456.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СВВ ПЛАНЕТАРНО-РЕЗЬБОВОГО ВВОДА ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Мьо Чжо Хлаинг, В. П. Михайлов

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

E-mail: myokyawhlaing51@gmail.com

Линейные манипуляторы сверхвысокого вакуума применяются для позиционирования объектов при давлениях порядка 10^{-10} Па [1]. При работе планетарно-резьбового ввода линейного перемещения возникает механически стимулированное газовыделение, влияющее на параметры вакуумной системы [2]. В среде MATLAB Simulink разработана динамическая модель газовых потоков и системы управления приводом. Показано, что амплитуда пульсаций давления может служить диагностическим признаком износа твёрдосмазочных покрытий. Разработанная модель обеспечивает диагностику состояния механизма и повышение точности позиционирования.

Литература

[1] Mechanics and Physics of Precise Vacuum Mechanisms / E. A. Deulin, V. P. Mikhailov, Y. V. Panfilov, R. A. Nevshupa. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010. 234 p.

[2] Deulin E. A., Mikhailov V. P., Emelianenko R. O. System of vacuum mechanisms failure prediction based on outgassing flows dynamic // IOP Conf. Series: MSE. 2018. Vol. 387. P. 012016.

ОСАЖДЕНИЕ ПЛЕНОК ОКСИДА ХРОМА МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

А. В. Николаев, Д. С. Шарковский

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

E-mail: vishapovalov@mail.ru

Цель данной работы состояла в изучении условий осаждения пленок оксида хрома методом реактивного магнетронного распыления хромовой мишени на постоянном токе в смеси Ar + O_2. На начальном этапе были изучены условия работы мишени магнетрона в оксидном режиме. Для этого были измерены вольтамперные характеристики (ВАХ) магнетрона при давлении аргона 5 мторр, входном потоке кислорода в диапазоне (6–10) $см^3$/мин и токе разряда в диапазоне (1–5) А. Измерение ВАХ сопровождалось контролем процесса распыления с помощью оптической эмиссионной спектроскопии. Установлено, что мишень магнетрона при заданных условиях устойчиво работает в оксидном режиме. При этом в спектрах испускания разряда наблюдались относительно интенсивные линии хрома, свидетельствующие о том, что распыленный поток содержит наряду с молекулами оксида хрома свободные атомы металла.

Благодарности
Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-01003.

МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКАЯ ТРУБКА С ПОВЫШЕННЫМ ПОТОКОМ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНОЙ КАРОТАЖНОЙ АППАРАТУРЫ

Н. С. Носиков, С. В. Сыромуков

ФГУП «ВНИИА им. Н. Л. Духова», Москва, Россия

E-mail: nicasns@yandex.ru

Диаметр каротажной аппаратуры для геофизических исследований в значительной степени определяется габаритами запаянной трубки, используемой в импульсном генераторе нейтронов. Для геофизических исследований «тонких» нефтегазовых скважин в том числе через насосно-компрессорные трубы применяется аппаратура импульсного нейтрон-нейтронного каротажа АИНК-43П с нейтронным генератором ИНГ-08. Для более информативных методов, таких как импульсный нейтронный гамма-спектрометрический каротаж скважин малого диаметра, в России до сих пор использовалось импортное оборудование. Сейчас во ФГУП «ВНИИА» им. Н. Л. Духова разрабатывается малогабаритная аппаратуры импульсного нейтронного гамма-спектрометрического каротажа АИНК-50С. В частности, разработана малогабаритная нейтронная трубка ГНТ3-30 диаметром 30 мм с потоком 2.4×10^8 нейтр./с и ресурсом не менее 1000 ч. Длительность фронтов нейтронных импульсов ГНТ3-30 составляет 500 нс. Нейтронной трубки с таким набором параметров в России до сих пор не существовало. В докладе представлены результаты испытаний ГНТ3-30. Они показали, что отечественная трубка ГНТ3-30 соответствует требованиям аппаратуры импульсного нейтронного гамма-спектрометрического каротажа для прибора малого диаметра.

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА И СТРУКТУРНОЙ ЭВОЛЮЦИИ DLC-ПЛЕНОК НА КРЕМНИЕВОЙ ПОДЛОЖКЕ

Ю. В. Панфилов, Мьо Ти Ха

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

E-mail: myothiha53@gmail.com

Методом классической молекулярной динамики с потенциалом Терсоффа [1] исследованы механизмы роста DLC-покрытий на Si(100) при энергии осаждения 30 эВ. Конкуренция поверхностной адсорбции и субплантации [2] определяет фазовый состав покрытия, двухстадийную кинетику роста, аморфную топологию с плотностью 2.1–2.2 г/см³ и рост доли sp^3-связей [3]. Энергия 30 эВ соответствует нижнему порогу уплотнения, обусловливая умеренно плотную фазу и объясняя расхождение расчётных данных с экспериментом. Субплантация установлена ключевым механизмом генерации внутренних напряжений, стабилизации sp^3-центров [2], подтверждая адекватность модели и открывает перспективы оптимизации свойств DLC-покрытий.

Литература

[1] Robertson J. Diamond-like amorphous carbon // Materials Science and Engineering: R: Reports. 2002. Vol. 37. P. 129–281.
[2] Lifshitz Y., Kasi S. R., Rabalais J. W. Subplantation model for film growth from hyperthermal species // Physical Review Letters. 1989. Vol. 62. P. 1290–1293.
[3] Ferrari A. C., Robertson J. Interpretation of Raman spectra of disordered carbon // Physical Review B. 2000. Vol. 61. P. 14095–14107.

ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Ю. В. Панфилов

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

E-mail: panfilov@bmstu.ru

Для производства изделий электронной техники используется большое многообразие технологического оборудования, что не позволяет охватить все его виды в учебном процессе одной кафедры, поэтому, надо научить будущих инженеров основным принципам создания оборудования. Так, для производства изделий микроэлектроники можно выделить три принципа: 1) формирование и поддержание технологической среды, 2) использование необходимого технологического инструмента, 3) выбор оборудования по критериям быстродействия, надежности и выхода годных изделий. В современном электронном машиностроении наиболее эффективно используются технологические среды: вакуумная, газовая и атмосфера чистых производственных помещений. Основным инструментом являются электронный и ионный лучи, газоразрядная плазма, различные виды излучений: ИК-, УФ-, рентгеновское. Выбор технологического оборудования по критериям быстродействия, надежности и выхода годных изделий опирается на хорошо зарекомендовавшую себя в машиностроении теорию производительности машин [1]. Дипломная работа выполняется по тематике базового предприятия на основе результатов круглогодичных непрерывных инженерных практикумов и цикла курсовых проектов.

Литература

[1] Шаумян Г. А. Комплексная автоматизация производственных процессов. М.: Машиностроение, 1973. 639 с.

КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ И ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ АТОМОВ BA НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕРМОКАТОДА BA-W: ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ

А. А. Петрунин

Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, Саратов, Россия

E-mail: sacha.petrynin@gmail.com

Долговечность Ba-W термокатода определяется, в том числе, временем жизни атома бария в адсорбированном состоянии t и энергией активации Q. Разработана методика расчета величин t и Q с применением 1) квантово-механического метода функционала плотности в приближении сильной связи с самосогласованием поля по заряду (SCC DFTB) и 2) метода молекулярной динамики. Исследовано влияние наношероховатости поверхности (в виде пирамидальных наноструктур) на величины t и Q при различных значениях температуры 1100–1200 ºС. Установлено, что 1) величина Q находится в интервале 3.12–4.25 эВ, в зависимости от локации атомов бария, 2) величина t, соответственно, также не является постоянной и меняется в пределах ~0.03–2000 с. При увеличении температуры средняя частота столкновений Ba-атом возрастает от 2 до 2.1 ТГц. Формирование определенной морфологии наношероховатостей позволит контролировать величины t, Q и, как следствие, повысить долговечность.

Благодарности
Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания (проект № FSRR-2026-0006).

ВЛИЯНИЕ ВИДА И КОНСТРУКЦИИ ДЕСУБЛИМАТОРА НА РАСЧЕТ ВАКУУМНОГО НАСОСА

Р. С. Полищук, А. Г. Шерстюков

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

E-mail: romanpolishchuk1@yandex.ru

Работа посвящена выбору вакуумного насоса для камеры с десублиматором. Показано, что рабочее давление определяется не только объемом камеры, а суммарной газовой нагрузкой, проводимостью тракта и остаточным потоком водяного пара [2]. Сравнены внутренний десублиматор и камера-десублиматор. Первый лучше отделяет намерзшую влагу от зоны нагрева, но увеличивает объем и время откачки. Второй компактнее и может уменьшить паровую нагрузку, однако требует проверки температурной неравномерности корпуса и регенерации. Поэтому насос подбирают по эффективной быстроте на камере, исключая из расчета лишь реально улавливаемую холодной поверхностью часть пара [1, 2].

Литература

[1] ГОСТ 32974.1–2023 (ISO 21360-1:2020). Вакуумная технология. Стандартные методы измерения характеристик вакуумных насосов. Ч. 1. Общие положения. М.: Росстандарт, 2023.

[2] Гуйго Э. И., Журавская Н. К., Каухчешвили Э. И. Сублимационная сушка пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1966. 357 с.

СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ НАНОСИМЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Ю. О. Просовский, О. Ф. Просовский, А. Н. Исамов, В. А. Смольянинов, Г. В. Солопов

АО «ОНПП «Технология» им. А. Г. Ромашина», Обнинск, Россия

E-mail: lab37@technologiya.ru

В настоящее время, рост требований к наносимым тонкопленочным оптическим покрытиям в вакууме (для нужд лазерных, волоконно-оптических систем, систем телекоммуникаций) приводит к тому, что существующие системы оптического контроля не справляются с поставленной задачей. Целью данной работы являлся анализ существующих систем прямого оптического контроля толщины наносимых оптических покрытий и оценка современного состояния отрасли в РФ. Проведенное исследование показало, что существует острая необходимость создания высокоточной системы прямого монохроматического контроля толщины наносимых оптических покрытий, точность которой существенно выше, чем у существующих аналогов систем прямого контроля. В нашей лаборатории была создана подобная система, обладающая необходимыми точностными характеристиками, позволяющая решать самые сложные задачи по нанесению оптических покрытий. Представлен узкополосный интерференционный светофильтр, полученный при помощи данной системы методом электронно-лучевого испарения и показывающий перспективы дальнейшего развития данного направления.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРЯЖЁННОГО ТЕПЛООБМЕНА В БЕСКОНТАКТНЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСАХ

А. А. Райков[1], А. В. Бурмистров[1], Е. Н. Капустин[2]

[1] Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия
[2] АО «Вакууммаш», Казань, Россия

E-mail: cators@yandex.ru

В работе обобщены результаты исследований сопряжённого теплообмена в бесконтактных вакуумных насосах. Представлена единая итерационная методика, объединяющая камерную термодинамическую модель с конечно-элементным расчётом температурных полей рабочих элементов. Рассмотрены особенности теплообмена в условиях разрежённого газа: учёт числа Кнудсена, коэффициента аккомодации и дополнительного теплового потока при перетеканиях. Верификация на примере спирального, винтового [1] и двухроторного насоса типа Рутс с быстротой действия 12.65 и 115 м^3/ч соответственно, показала расхождение с экспериментом не более 4–11 %. Показано, что пренебрежение распределённым температурным полем рабочих элементов даёт дополнительную погрешность расчёта рабочего процесса до 7 %. Полученные данные о тепловых деформациях рабочих элементов позволяют обоснованно назначать монтажные зазоры и прогнозировать критические режимы работы насосов.

Литература

[1] Consideration of heat exchange in screw vacuum pump model / A. A. Laskin, R. R. Yakupov, A. A. Raykov et al. // AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2784. P. 030001.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ТОКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ПАРОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

А. И. Рахмятуллин, А. Б. Попугаев, А. Ю. Соколов, А. С. Долотов

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», Москва, Россия

E-mail: AIRakhmyatullin@vniia.ru

Для подачи пара щелочного металла в вакуумный объем в процессе формирования фотокатодов на основе антимонидов щелочных металлов чаще всего применяют токовые источники, генерирующие пар металла в результате химической реакции компонентов их реакционной смеси. При разработке таких источников актуальным становится экспериментальная оценка их рабочих характеристик. Для решения этой задачи разработана вакуумная установка, включающая масс-спектрометр для анализа состава вакуума, вакуумметр для измерения общего давления, кварцевый датчик для регистрации массового потока генерируемого металла и термопарный ввод для контроля температуры источника. Представлены результаты исследований токовых источников паров калия и цезия на данной установке.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ МЕМБРАННО-ЕМКОСТНЫХ ВАКУУММЕТРОВ БАРАТРОН С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО МАСЛЯНОГО МАНОМЕТРА

И. В. Садковская, А. И. Эйхвальд

ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Санкт-Петербург, Россия

E-mail: I.V.Sadkovskaya@vniim.ru

Особенности применения высокоточных мембранно-емкостных вакуумметров Баратрон 690/698A компании MKS Instruments (точность 0.05…0.08% от измеряемой величины) при измерении низкого абсолютного давления были изложены в 2014 г. [1]. Целью проведенных во ВНИИМ исследований являлась оценка дрейфа калибровочных характеристик Баратронов с ВПИ 13 и 1333 Па из состава государственного вторичного эталона давления 2.1.ZZB.0121.2015. Благодаря исследованиям, проведенным с 2014 по 2026 год с помощью лазерного интерференционного масляного манометра из состава ГПЭ абсолютного давления ГЭТ 101, был получен вид калибровочных кривых вакуумметров Баратрон и выявлен их «уход» от первоначальной калибровки, который в диапазоне давления от 0.1 до 13 Па составил от 3.2 до 0.25 %. Таким образом для получения высшей точности измерений с помощью Баратрона следует учитывать его калибровку, полученную на ГПЭ, что особенно важно при измерении давлений ниже 10 Па.

Литература

[1] Садковская И. В., Эйхвальд А. И. Особенности применения мембранно-емкостных вакуумметров при измерении низкого абсолютного давления // Вакуумная техника и технология. 2014. Т. 23, № 1. С. 45–46.

ПОДАЧА ПАРОГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ В ВАКУУМНУЮ КАМЕРУ НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ РАСХОДА

С. В. Сажнев

ООО «ЭЛТОЧПРИБОР», Москва, Россия

E-mail: sazhnev@eltochpribor.ru

Современный уровень характеристик тонкопленочных и микроэлектронных структур предъявляет высокие требования к элементам, входящим в оборудование. Целью работы является создание прецизионных регуляторов, обеспечивающих подачу в вакуумную камеру технологического оборудования реагентов, находящихся в газовом или парогазовом состоянии. Для решения поставленной задачи разработан отечественный регулятор расхода жидкости на основе измерения перепада давлений на капилляре датчика, что обеспечивает высокоточную микроподачу жидких реагентов. Конструкция регулятора совмещает в себе прецизионный датчик с исполнительным механизмом, обеспечивающим точную миикроподачу, и микропроцессорное управление. Регулятор расхода жидкости обеспечивает подачу маловязких жидких реагентов в диапазоне до 10 г/мин. [1]. Конструкция регулятора и способ подачи реагента находятся в стадии патентования.

Литература

[1] Сажнев С. В., Князев В. И. Прецизионная подача газов в вакуумный реактор технологического оборудования с термокоррекцией внешней среды // Вакуумная наука и техника. Материалы XXVII научн.-техн. конф. с участием зарубежных специалистов. Крым, Москва, 2020. С. 123–128.

ИНТЕРАКТИВНЫЙ УЧЕБНЫЙ КОМПЛЕКС «ОСТРОВОК»

С. В. Сидорова, А. Д. Купцов, С. В. Кирьянов, А. М. Наумова, Е. С. Щербак, С. А. Хохлун, А. М. Руденко

МГТУ имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия

E-mail: sidorova@bmstu.ru

Современные сферы производства применяют высокотехнологическое оборудование, обеспечивающее качество разрабатываемых изделий и устройств. Основные методы обучения операторов работе на технологическом оборудовании: наставничество, инструктаж, электронное обучение, практические упражнения, симуляторы виртуальной реальности. Реализация данных методов обучения содержит недостатки и эти подходы не обеспечивают и ограничивают тактильный и мышечный контакт с органами управления, а виртуальные системы требуют значительных финансовых затрат, и не каждый оператор способен выдержать такую практику по медицинским показаниям. Целью работы является создание симулятора технологической установки для освоения алгоритма управления и анализа режимов формирования тонкопленочных наноструктур. В работе представлено описание стратегии построения двойников оборудования и разработанный уникальный комплекс «ОСТРОВОК» (I.S.L.A.N.D. – Innovative System for Localized Automated Nanostructure Deposition), позволяющий безопасно, наглядно и с максимальной эффективностью демонстрировать современные технологические процессы; моделировать и совершенствовать инновационные инженерные решения; обеспечивать обучение студентов в условиях технологических ограничений; проводить повышение квалификации работников профильных организаций.

ОСТАТОЧНЫЕ МОЛЕКУЛЫ ВОДЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ В ВАКУУМЕ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ TIO_2–NI

С. В. Сидорова[1], А. Д. Купцов[1], С. В. Кирьянов[1], А. Л. Хтай[1], Е. С. Щербак[1], А. М. Наумова[1], И. Е. Пименов[2]

[1] МГТУ имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия
[2] ФГУП «НАМИ», Москва, Россия

E-mail: sidorova@bmstu.ru

Оксидные металлические нанокомпозиционные покрытия могут использоваться в качестве функциональных элементов датчиков полей и газовых сред. Рассматривается композиционное покрытие на основе диоксида титана и наноразмерных структур никеля – TiO_2–Ni. Адсорбция H_2O на поверхности подложки и растущего слоя способна изменять поверхностную энергию, условия миграции осаждаемых атомов, плотность зарождения островков и процессы их последующего объединения. Данный фактор особенно важен для покрытий на основе TiO_2. Целью работы является определение способов борьбы с молекулами воды при формировании наноразмерных покрытий и структур. В работе приведены результаты молекулярно-динамического моделирования взаимодействия TiO_2–Ni с молекулами H_2O, на основании которого определены температурные режимы. Определена конфигурация композиционной мишени для формирования слоя TiO_2–Ni. Предложена модернизация источника ионов для обеспечения равномерного ассистирования. Проведены экспериментальные исследования по формированию композиционного слоя TiO_2–Ni и оценке количества молекул воды без применения выбранного способа и после его реализации. Показана эффективность выбранных режимов.

ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ A3B5

С. В. Сидорова[1, 2], А. А. Фельде[2]

[1] МГТУ имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия
[2] ФИАН имени П. Н. Лебедева, Москва, Россия

E-mail: sidorova@bmstu.ru

Для изготовления устройств оптики, фотоники, электроники на основе соединений A3B5, которые требуют избирательного удаления материала или структур с высоким соотношением сторон, необходимо применять плазменное травление. Критически важным является точно контролировать размер и геометрию рисунка с минимальными повреждениями, чтобы обеспечить функциональные характеристики устройств. Однако, соединения A3B5 обладают высокой энергией связи. Именно это затрудняет их травление и обнаруживаются различные дефекты. Правильный подбор режимов позволил бы обеспечить баланс между качеством получаемой топологии и производительностью. Целью работы является определение режимов плазменного травления для борьбы с дефектами в соединениях A3B5. В настоящей работе на основе литературных источников рассмотрены возможные дефекты, возникающие при ICP-травлении соединений A3B5. Анализ данных позволил установить рекомендуемые интервалы параметров ICP-травления соединений A3B5: состав газовой среды и мощности источника и смещения, для минимизирования дефектов. Обнаружено, что избыточная мощность смещения вызывает деградацию боковых стенок через локальный перегрев и микротравление границ зёрен. Это указывает на существование верхнего предела мощности для каждого конкретного материала. Рекомендованы режимы плазменного травления соединений A3B5 для уменьшения дефектов.

ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ ГАЗА В ВАКУУМНЫХ УСТАНОВКАХ: ПЕРЕХОД ОТ АНАЛОГОВЫХ НАТЕКАТЕЛЕЙ К ЦИФРОВЫМ РАСХОДОМЕРАМ С LABVIEW-УПРАВЛЕНИЕМ

В. А. Смольянинов, О. Ф. Просовский, А. Н. Исамов, Ю. О. Просовский, Г. В. Солопов

АО «ОНПП «Технология» им. А. Г. Ромашина», Обнинск, Россия

E-mail: lab37@technologiya.ru

Воспроизводимость вакуумных технологических процессов – магнетронного распыления, электронно-лучевого испарения, плазмохимического травления, очистки тлеющим разрядом – критически зависит от точности и стабильности подачи рабочих газов. Наиболее распространенными устройствами, регулирующими подачу газа, являются регулирующие клапаны (натекатели). Однако, данные устройства имеют ряд недостатков и ограничений. Целью данной работы являлся применение современных технологических решений (т. н. флоу-контроллеров). Для достижения поставленной задачи в работе приводится сравнение «классических» натекателей и современных «флоу-контроллеров». Представлены принципы работы ранее перечисленных устройств, ключевые преимущества. Показан процесс интеграции «флоу-контроллера» в систему управления вакуумной установки при помощи логическо-ориентированного языка программирования LabView.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА В ШИРОКОМ СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ

Г. В. Солопов, Ю. О. Просовский, О. Ф. Просовский, А. Н. Исамов, В. А. Смольянинов

АО «ОНПП «Технология» им. А. Г. Ромашина», Обнинск, Россия

E-mail: lab37@technologiya.ru

В связи с развитием отрасли лазерной техники и научных исследований и телекоммуникаций в последние годы, широкое распространение получили диэлектрические зеркала. Несмотря на ряд преимуществ диэлектрических зеркал (перед металлическими), получение подобных оптических конструкций сопряжено с определенными технологическими трудностями. Целью данной работы являлась отработка технологического процесса получения диэлектрического зеркала во всем видимом спектральном диапазоне излучения. В данной работе показаны проблемы, возникающие в процессе получения данной оптической конструкции. Приведены технологические решения, позволяющие успешно решить поставленную задачу. Результатом данной работы является успешное получение диэлектрического зеркала в широком спектральном диапазоне. Приведена спектральная характеристика полученного зеркала и проведена оценка его параметров.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ AL-NI

Н. И. Сушенцов, Д. Е. Шашин, А. Д. Дьячков, А. Л. Романов, К. А. Волков

ПГТУ, Йошкар-Ола, Россия

E-mail: RomanovA@volgatech.ru

Целью настоящей работы является исследование физических параметров тонкопленочной многослойной структуры Al-Ni. Формирование осуществлялось на установке, конструкция камеры и подложкодержателя которой позволяют получить цельную пленку,

которая не расслаивалась бы в процессе горения [1]. Исследование параметров осуществлялось устройством, которое позволяет осуществлять контроль следующих параметров: выделяемая энергия, энергия активации, скорость фронта горения. Сравнение теоретических значений и полученными в ходе данного эксперимента показало разницу между ними. Разброс энергии активации можно объяснить небольшой неравномерностью структуры по толщине или окислением поверхности самой пленки. Разница между такими параметрами как выделяемая энергия и скорость фронта реакции может быть объяснена присутствием в структуре кислорода, азота и других газов.

Литература

[1] Шашин Д. Е., Сушенцов Н. И. и др. Создание тонкопленочных многослойных структур методом магнетронного распыления и их элементный анализ // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2025. Т. 68. № 5. С. 417–426.

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ В СИСТЕМАХ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ВАКУУМНОЙ ТЕХНИКИ

Е. А. Тимошенко, В. Е. Сенюшкина, К. В. Фадеев, М. А. Шелковый, М. Е. Жуков, А. М. Базиненков

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

E-mail: katetimmy2006@mail.ru

Пассивные системы виброизоляции вакуумного оборудования неэффективны на низких частотах из-за резонанса. В работе предлагается использовать активные системы на основе магнито- и электрореологических жидкостей [1]. МРЖ обеспечивает быстродействие (1–10 мс) [2], но создаёт магнитные поля; ЭРЖ не создаёт полей, но уступает по вязкости и чувствительна к влажности [1], поэтому выбор определяется требованиями к чистоте магнитной обстановки.

Литература

[1] MR- and ER-Based Semiactive Engine Mounts: A Review / M. Elahinia, C. Ciocanel, T. M. Nguyen, S. Wang // Smart Materials Research. 2013. Vol. 2013. P. 831017.

[2] Ou J. P., Guan X. C. Magnetorheological Fluid and Smart Damper for Structural Vibration Control // Proceedings of SPIE. 2000. Vol. 3988. P. 151–156.

ГЕНЕРАЦИЯ РАДИАЛЬНО СХОДЯЩЕГОСЯ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ИСТОЧНИКЕ С МНОГОДУГОВЫМ СЕТОЧНЫМ ПЛАЗМЕННЫМ КАТОДОМ

М. С. Торба, М. С. Воробьёв, С. Ю. Дорошкевич, Н. Н. Коваль, А. А. Гришков, Е. А. Иоппа

Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия

E-mail: ms.torba@hcei.ru

Представлены результаты исследований по генерации радиально сходящегося электронного пучка в источнике с многодуговым сеточным плазменным катодом. Проведены эксперименты, которые ориентированы на повышение стабильности работы источника и увеличение тока радиально сходящегося пучка. Проведены зондовые измерения параметров эмиссионной плазмы дугового разряда, коллекторные измерения с использованием секционированного коллектора из нержавеющей стали для измерения плотности и распределения тока радиально сходящегося электронного пучка. Результаты,

полученные при проведении экспериментов, позволили вывить ряд недостатков в используемой конфигурации плазменного эмиттера, что послужило основанием для его модернизации, заключающейся во внедрении в систему секционированного полого анода. Это позволило значительно уменьшить неоднородность азимутального распределения плотности тока радиально сходящегося электронного пучка и позволило проводить обработку поверхности металлических изделий за один импульс.

Благодарности
Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (РНФ 26-19-00927) https://rscf.ru/project/26-19-00927/.

ОБ ОЧИСТКЕ СУРЬМЫ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОТ НАТРИЯ ДИСТИЛЛЯЦИЕЙ В ВАКУУМЕ

С. А. Требухов, В. Н. Володин, Б. К. Кенжалиев, А. В. Ниценко, К. А. Линник

АО «Институт металлургии и обогащения» Satbayev University, Алматы, Казахстан

E-mail: alina.nitsenko@gmail.com

При карботермическом восстановлении сурьмы из антимоната натрия, промпродукта рафинирования чернового свинца, получают черновую сурьму с высоким содержанием (8–9 % до 26 %) натрия в ней. Одним из способов рафинирования сурьмы, исходя из величин давления пара натрия и сурьмы, могло бы быть вакуум-дистилляционное разделение элементов. На основании опубликованных экспериментальных данных рассчитана температура кипения сплавов системы сурьма – натрий, установлено наличие интерметаллического соединения Na_3Sb, образующего две квазибинарные системы Sb – Na_3Sb и Na_3Sb – Na. Поскольку указанное содержание натрия (от 31,5 – 34,4 ат. % до 65,0 ат. % Na) соответствует концентрационному интервалу первой из них, границы фазового перехода жидкость – пар при атмосферном давлении (101,3 кПа) и в вакууме (0,133 кПа) рассчитаны для квазибинарной системы Sb – Na_3Sb. Установлено, что дистилляционная очистка черновой сурьмы от натрия не представляется возможной.

Благодарности
Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант BR24992757).

МОДУЛЯЦИЯ ПОТОКА ЭКСТРАГИРУЕМЫХ ИОНОВ В ГАЗОНАПОЛНЕННЫХ НЕЙТРОННЫХ ТРУБКАХ

Ю. Г. Трифонова, И. А. Каньшин, С. П. Масленников

ФГУП «ВНИИА им. Н. Л. Духова», Москва, Россия

E-mail: puzzlinka8@gmail.com

Нейтронные генераторы с газонаполненными нейтронными трубками (ГНТ) используются для решения научно-прикладных задач в области ядерной медицины, геофизики, разработки систем безопасности и элементного анализа вещества [1, 2]. Повышение эффективности нейтронных методов анализа за счёт повышения стабильности генерации импульсов нейтронного излучения является актуальной задачей. Для её решения предложена конструкция ГНТ с модулирующим экстрагирующим электродом, проведены экспериментальные исследования и моделирование процессов в ГНТ с разной геометрией системы электродов. Полученные результаты согласуются с расчетными данными, что свидетельствует о применимости предложенной конструкции электродов для обеспечения модуляции ионного потока в ГНТ.

Литература
[1] Мамедов Н. В. Физические основы генерации ионных пучков в плазменных источниках нейтронных трубок. М.: Буки Веди, 2021. 388 с.
[2] Рачков Р. С., Пресняков А. Ю., Юрков Д. И. Исследование влияния магнитного поля скважины на нейтронную трубку геофизической аппаратуры // Атомная энергия. 2019. № 126(6). С. 334–337.

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫМИ СВОЙСТВАМИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОКСИДНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК

А. В. Тумаркин, А. Богдан, А. Р. Карамов, Е. Н. Сапего, О. Е. Зайцев

Электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

E-mail: avtumarkin@yandex.ru

Целью данной работы является исследование структуры и электрических свойств сегнетоэлектрических пленок титаната бария-стронция, полученных методом высокочастотного осаждения с использованием подходов, позволяющих за счет варьирования технологических параметров в процессе роста влиять на структуру осаждаемой пленки. Данные подходы позволяют корректировать дефекты решетки в процессе роста пленки и, таким образом, улучшать ее электрофизические характеристики. Структурированные в процессе роста пленки демонстрируют преимущественную ориентацию (h00), в то время как стандартная пленка является поликристаллической. Анализ сравнительных вольт-фарадных характеристик конденсаторов на основе исследованных пленок позволяет сделать вывод о преимуществах структурированных пленок в управляемости и уровне диэлектрических потерь по сравнению со стандартными пленками, что является перспективным результатом для сверхвысокочастотных применений сегнетоэлектрических материалов.

Благодарности
Данная работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках гранта FSEE-2025-0010.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И МОНТАЖ БЕСШОВНОГО КОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМНОГО УПЛОТНИТЕЛЯ «ТРАПЕЦИЯ 18» НА ФЛАНЦЕВОМ СОЕДИНЕНИИ БАРОКАМЕРЫ

И. В. Удод

ИП Удод И. В., Москва, Россия

E-mail: ydod66@gmail.com

Цель работы – изготовление уплотнительного профиля на фланцевом соединении барокамеры Ø5240 мм и обеспечение герметичности, соответствующей II классу по ГОСТ Р 50.05.01–2018 по результатам его монтажа. Был выбран литьевой способ изготовления в качестве рабочего с заливкой в подготовленную кольцевую форму. Практики изготовления уплотнительного вакуумного профиля методом холодного литья в точную форму до сих пор не зафиксировано. Также нет описанной практики по применению канавки «ласточкин хвост» на фланцах диаметром более 1055 мм. Для оптимального соотношения «Твердость/текучесть» были проведены лабораторные работы, изготавливалась литьевая оснастка различного сечения, проводись наблюдения деформации уплотнителя с имитацией нагрузки. Опытным путем для изготовления профиля был подобран литьевой материал отечественного изготовителя с линейной усадкой менее 0.1 %. Проведённый кон-

троль герметичности после монтажа фланцев барокамеры подтвердил герметичность уплотнителя, соответствующего второму классу герметичности по ГОСТ Р 50.05.01–2018.

Литература

[1] ГОСТ Р 50.05.01–2018. Унифицированные методики. Контроль герметичности газовыми и жидкостными методами.

НЕЙТРАЛЬНЫЕ И СЛАБОИОНИЗОВАННЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПУЧКИ: ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ В УСЛОВИЯХ СВЕРХЗВУКОВОГО РАСШИРЕНИЯ

В. Э. Художитков[1, 2], А. Е. Зарвин[1, 2], В. В. Каляда[1, 2]

[1] Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
[2] Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: v.khudozhitkov@g.nsu.ru

Целью данной работы является рассмотрение методологических проблем формирования молекулярных пучков из сверхзвуковых потоков с кластерами, а также путей решения этих проблем. В данной работе определены принципы выбора оптимального расстояния сопло–скиммер в различных условиях. Установлены особенности изменений интенсивности мономеров в кластированном пучке от давления торможения и расстояния сопло–скиммер. Определено, что эффективность фокусировки заряженных кластеров снижается при росте масс частиц. Обоснована привлекательность использования методов ионизации газового потока высоковольтным электрическим пучком в струе и электрическим разрядом в диффузоре сопла для получения кластерных ионов.

Благодарности

Исследование выполнено на оборудовании Центра коллективного пользования «Прикладная физика» Новосибирского государственного университета при финансовой поддержке Российским научным фондом (грант 25-79-30031, https://rscf.ru/project/25-79-30031/).

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВАКУУММЕТРИИ

А. А. Чернышенко

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург, Россия

E-mail: vacuum@vniim.ru

Объектом нашего исследования является система вакуумных измерений (вакуумметрия) в российской науке и практике. Предметом исследования, на котором сосредоточим фокус нашего внимания в докладе – современное состояние и возможные перспективные направления развития. Нам представляется обоснованным, говоря о перспективах, опираться, в том числе, на ретроспективный подход. Прежде всего, следует уточнить, хотя бы кратко, как в советское время обстояла ситуация с вакуумметрическими разработками. К сожалению, начиная с 1990-х годов, доминируют негативные оценочные суждения по поводу технологического суверенитета в этой сфере в СССР. Мы понимаем, что требуется системный и глубокий анализ вопросов «утраты» технологического суверенитета в постсоветский период, а также, утрачен ли он действительно, либо мы все же сохраняем этот ресурс хотя бы на уровне состоявшихся в советский период технологических разработок. Это подтверждает обзор сведений из госреестра по данным ФГИС «Аршин» и других источников. Уверены, что научная ретро ревизия сохранив-

шегося поможет актуализировать успешные технологические наработки, которые в угоду геополитических конъюнктур были небрежно отправлены в архивы.

ПЛАНИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В. И. Шаповалов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

E-mail: vishapovalov@mail.ru

Экспериментальное изучение любого физического процесса при двух или трех независимых переменных не вызывает трудностей. Тактика эксперимента в этих случаях сводится к выполнению серий опытов, в каждом из которых одну переменную изменяют в заданном интервале, другие при этом поддерживают на постоянных уровнях. При увеличении числа переменных такая тактика приводит к многократному возрастанию трудоемкости эксперимента вплоть до полной невозможности его выполнения. В таких случаях эффективна тактика активного эксперимента. Эта тактика основана на составлении специальных планов эксперимента, которые разрабатывают, исходя о предположении о математической модели изучаемого процесса. Чаще всего в качестве таких моделей используют полиномы первого и второго порядка. В данной работе с помощью активного эксперимента изучено высокомощное импульсное магнетронное распыление титановой мишени при четырех независимых переменных.

Благодарности
Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-01003.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВАКУУМНЫХ ПРОЦЕССОВ ОСАЖДЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ РАСПЫЛЕНИЕМ СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ МИШЕНЕЙ

М. А. Шарапков, А. И. Беликов, Н. М. Синявин, Синьсинь Ван

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

E-mail: sharapkov@yandex.ru, belikov@bmstu.ru, nikitasinyawin@yandex.ru, vansinsin@outlook.com

Процессы осаждения покрытий на основе дихалькогенидов переходных металлов и, в частности, дисульфида молибдена сопровождаются нестабильностью остаточной среды и состояния распыляемых стехиометрических мишеней, которые возникают вследствие протекания побочных химических реакций и высокой сорбционной емкости мишеней, изготавливаемых прессованием порошков. Проведенный анализ показывает, что основным источником нежелательных реакций являются молекулы воды, которые адсорбированы на внутренних поверхностях камеры, а также на поверхности и внутри самой мишени. Протекающие в процессе распыления химические реакции приводят к образованию сернистых соединений SO_2 и H_2S, которые используются в качестве контролируемых маркеров процесса в разработанном технологическом оборудовании. Выявленная корреляция между количественным содержанием SO_2 в остаточной среде и наличием кислорода в MoS_2-покрытии является инструментом для обеспечения повторяемости условий проведения процесса и получения качественных сульфидных покрытий. Внедренная система мониторинга процесса нанесения обеспечила разработку улучшенных распыляемых мишеней и комплекса мероприятий по совершенствованию технологии.

МАГНЕТРОН ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ ПЛЕНКИ ТРЕХКОМПОНЕТНОГО СПЛАВА

Д. С. Шарковский, А. В. Николаев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

E-mail: vishapovalov@mail.ru

В данной работе предложен магнетрон, предназначенный для осаждения пленок трехкомпонентных эквиатомных металлических сплавов. Магнетрон оснащен мишенью, состоящей из трех параллельных металлических пластин, установленных на его оси. Нижняя охлаждаемая водой пластина изготовлена сплошной. Средняя и верхняя пластины изготовлены из других металлов и имеют прорези в виде секторов кольца с заданным углом, расположенные симметрично относительно центра пластин. Для расчета геометрических размеров прорезей предложена методика, основанная на равенстве распыленных потоков, которые генерируют пластины. Это равенство приводит к системе алгебраических уравнений, которые предложено решать в предположении о равномерности распределения плотности тока разряда в распыляемой области мишени. В качестве иллюстративного примера выполнен расчет геометрических размеров мишени для сбалансированного магнетрона, предназначенного для осаждения пленки эквиатомного сплава $Ti_{0.33}Nb_{0.33}Mo_{0.33}$.

Благодарности
Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-01003.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЯ AL-SI-N

Шаша У, С. П. Бычков

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия

E-mail: shashau66@gmail.com, bychkov@bmstu.ru

Выполнен обзор по исследованию влияния параметров отжига (температуры, времени выдержки, способа нагрева) на свойства покрытий системы Al-Si-N, который позволяет улучшить эксплуатационные характеристики и снизить уровень внутренних дефектов.
Отжиг следует проводить в инертной атмосфере или в вакууме. Обоснован температурно-временной диапазон отжига, при котором происходит стабилизация кристаллической структуры, подавление чрезмерного роста зерен, снятие остаточных напряжений, восстановление микродефектов и др.: температура отжига в диапазоне от 600 °C до 900 °C, время выдержки в течение 1~2 часов. Рассмотрены механизмы нагрева при различных способах отжига и возможные влияния спектральных характеристик различных источников теплового излучения на покрытие. Применение быстрой термической обработки (БТО) с высокотемпературными галогенными лампами накаливания (ГЛН) обеспечивает совместное действие волнового теплового излучения и корпускулярное фотонное взаимодействие, что сокращает длительность традиционного отжига.

ПРИМЕНЕНИЕ ВАКУУМНОЙ ТЕХНИКИ И АРМАТУРЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАКУУМ-СУБЛИМАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

И. А. Шорсткий[1, 2]

[1] ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия
[2] ООО «Шелрис», Краснодар, Россия

E-mail: thegector@mail.ru

В работе представлен практический опыт применения вакуумной техники и арматуры при разработке и эксплуатации вакуум-сублимационных установок. Описаны сравнительные режимы работы роторных вакуумных насосов фирм АО Вакууммаш, Value. Представлены проблемные элементы конструкций вакуум-сублимационных установок фирм СХ Техника, Abat и Bolaike. Даны рекомендации по режимам работы вакуумной техники и оптимальные параметры давления в системах вакуум-сублимационных камер. Представлены данные изменения быстроты действия насосов вакуум-сублимационной камеры при добавлении элементов предварительной фильтрации и сорбционной ловушки.

Благодарности
Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда, ООО «Биодинамика» в рамках проекта № НТИП-25.1/3.

ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССА ИСТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В РАЗРЕЖЕННОЕ ПРОСТРАНСТВО

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

Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: yas@nsu.ru

Цель работы в адаптации компактной вакуумной установки низкой плотности ЛЭМ-ПУС-2 отдела прикладной физики ФФ НГУ для экспериментального моделирования истечения струй жидкости из субмиллиметровых отверстий и каналов в условиях длительного стационарного истечения в среду с контролируемым уровнем разрежения. Приводятся результаты апробации внесенных изменений в установку. Описываются особенности формирования стационарных микроструй маловязкой азеотропной смеси этанола 95.57 % (мас) с водой 4.43 % (мас), имеющей высокое давление насыщенных паров при температурах исследования. Приводятся экспериментальные визуализации микроструй этанола с аномальными изменениями направления и формы течения, а также случаи бифуркации струй. Обсуждается влияние различных факторов на процесс формирования микроструй. Результаты работы демонстрируют возможность изучения сложных процессов истечения микроструй жидкостей в вакуум или в заданную разреженную атмосферу на компактной вакуумной установке НГУ.

Благодарности
Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект FSUS-2025-0008) с использованием оборудования ЦКП «Прикладная физика» НГУ.

Подписано в печать 18.06.2026. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Печ. л. 2.5.
Гарнитура «Times New Roman». Тираж 100 экз. Заказ 86.

Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
197022, С.-Петербург, ул. Проф. Попова, 5Ф