

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 – KOOMET)
ООО «НПО «Группа Компаний Машиностроения и Приборостроения»
НПО «Измеритель»
ООО «Современное вакуумное оборудование»
ООО «Владимирский центр механической обработки»
ООО «Ист Вакуум»
ООО «ЕМС»
ООО «Научные приборы и системы»

25–27 июня 2024
Санкт-Петербург, Россия

June 25–27, 2024
St. Petersburg, Russia
31st All-Russian Conference with International Participation
«VACUUM TECHNIQUE AND TECHNOLOGY – 2024»



**Труды 31-й Всероссийской научно-технической
конференции с международным участием
«ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА
И ТЕХНОЛОГИИ – 2024»**

25–27 июня 2024 г.
Санкт-Петербург

Вакуумная техника и технологии – 2024. Труды 31-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. 25–27 июня 2024 г. / под ред. Д. К. Кострина, С. А. Марцынюкова и В. А. Симона. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2024. – 417 с.

ISBN 978-5-7629-3367-4

Труды составлены по материалам докладов, представленных на 31-ю Всероссийскую научно-техническую конференцию с международным участием. В материалах докладов 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., доц., 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
Симон В. А., к. т. н., асс., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Россия, Санкт-Петербург
Холопова Е. Д., к. т. н., асс., 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
Тетерук Р. А., к. т. н., ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Россия, Санкт-Петербург – сопредседатель
Шаповалов В. И., д. т. н., проф., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Россия, Санкт-Петербург – сопредседатель
Беграмбеков Л. Б., д. ф.-м. н., проф., НИЯУ «МИФИ», Россия, Москва
Бецофен С. Я., д. т. н., проф., МАИ, Россия, Москва
Бурмистров А. В., д. т. н., проф., КНИТУ, Россия, Казань
Воробьев М. С., д. т. н., с. н. с., ИСЭ СО РАН, Россия, Томск
Желонкин Я. О., к. т. н., ООО «ФЕРРИ ВАТТ», Россия, Казань
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
Колесник Л. Л., к. т. н., доц., ООО «Электровacuумные технологии», Россия, Москва
Кузнецов В. Г., д. т. н., ФГБУН ИПМаш РАН, Россия, Санкт-Петербург
Лозован А. А., д. т. н., проф., МАИ, Россия, Москва
Нестеров С. Б., д. т. н., проф., Российское вакуумное общество, Россия, Москва
Одинокое В. В., д. т. н., проф., ОАО НИИТМ, Россия, Москва
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., ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Россия, Санкт-Петербург
Сушенцов Н. И., к. т. н., доц., ПГТУ «ВОЛГАТЕХ», Россия, Йошкар-Ола
Чернышенко А. А., к. т. н., ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Россия, Санкт-Петербург

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

Содержание

18-я Международная выставка вакуумного и криогенного оборудования VacuumTechExpo. Итоги и перспективы	12
<i>С. Б. Нестеров</i>	
Поставка из дружественных стран как практическое решение некоторых текущих проблем дефицита вакуумных компонентов	15
<i>А. В. Махин, Д. С. Притула</i>	
Секция «Физические явления в вакууме и газовом разряде»	
Аппаратура и результаты измерений поступательной температуры в струях разреженных газов	19
<i>А. Е. Зарвин, Е. Д. Деринг, В. В. Каляда, К. А. Дубровин</i>	
Метод измерений скоростного отношения в струях разреженных газов	24
<i>А. Е. Зарвин, Е. Д. Деринг, Р. Г. Шарафутдинов</i>	
Перспективные области применения электрического разряда с жидким неметаллическим электродом	29
<i>З. Г. Люллин, В. А. Симон, Д. К. Кострин, С. А. Марцынюков</i>	
Изготовление лазерных мишеней для исследования гидродинамической неустойчивости Рэлея-Тейлора	33
<i>Н. А. Пхайко, Е. М. Писарев, Л. Е. Гусс, А. В. Савельев, А. Г. Казаков, В. А. Голунов, Ю. Л. Лыжина</i>	
Энергетические характеристики корпускулярной эмиссии из ионных источников пеннинговского типа	41
<i>А. Г. Садилкин</i>	
Особенности генерации кластированных пучков, ионизированных в сопле и струе	45
<i>В. Э. Художитков, А. Е. Зарвин, В. В. Каляда</i>	
Формирование протонированного аргона в сверхзвуковом кластированном потоке смеси Ar – H ₂ при ионизации электронами	50
<i>В. Э. Художитков, А. Е. Зарвин, В. В. Каляда</i>	
Основы моделирования реактивного распыления	55
<i>В. И. Шаповалов</i>	
Прямое статистическое и событийное молекулярно-динамическое моделирование течения смеси газов в турбомолекулярном насосе	61
<i>А. Н. Якунчиков, В. В. Косьянчук, А. А. Валишина</i>	
Секция «Вакуумные системы, устройства и технологическое оборудование»	
Моделирование распределения давления в вакуумной камере стенда ПЕРСТ при различном расположении средств высоковакуумной откачки	65
<i>А. С. Анциферова, Н. П. Бобырь</i>	
Результаты испытания отдельных элементов криогенной системы стенда ПЕРСТ	71
<i>Н. П. Бобырь, А. С. Анциферова, Е. Н. Егорова, А. А. Тимашиков</i>	
Повышение стабильности парообразования в испарителе диффузионного насоса	75
<i>А. Е. Брестер, В. И. Жуков, А. Н. Павленко</i>	
Орбитронный тлеющий разряд с дополнительной инжекцией электронов в ускорителе на основе несамостоятельного ВТР	79
<i>С. Ю. Дорошкевич, М. С. Воробьев, А. А. Гришков, Н. Н. Коваль, М. С. Торба, Р. А. Картавцов</i>	

Камеры с газоплазменной мишенью как источник импульсного и непрерывного нейтронного излучения	83
<i>А. К. Дулатов, Ю. В. Михайлов, И. А. Прокуратов, Б. Д. Лемешко, Д. А. Андреев, А. В. Голиков, Т. А. Григорьев, И. В. Ильичев</i>	
Применение контролируемой газовой среды при низком давлении для кварцевых резонаторов-термостатов	88
<i>С. В. Ермоленко, С. С. Коломоец</i>	
Вакуумные испытания внутрикамерных компонентов ИТЭР на примере прототипа панели первой стенки	93
<i>Д. А. Киселев, А. Н. Маханьков, С. Н. Мазаев, В. А. Васильев, Н. В. Монтан, А. А. Герваши, Д. А. Глазунов, С. В. Бобров, А. Б. Путрик</i>	
Перспективное вакуумное пучково-плазменное оборудование для реализации процессов модификации поверхности металлических материалов	98
<i>Н. Н. Коваль</i>	
Исследование применимости турбомолекулярных насосов для разделения газовых смесей	102
<i>В. В. Косьянчук</i>	
К вопросу о хладопроизводительности азотного экрана в термовакuumной камере	105
<i>А. Ю. Кочетков, П. Г. Смирнов, А. А. Филатов</i>	
Технологии для достижения сверхвысокого вакуума от ООО «Оптикон»	111
<i>К. А. Куныгин, П. Г. Нечаев</i>	
Экспериментальное исследование откачных характеристик винтового вакуумного насоса	118
<i>А. А. Ласкин, Е. Н. Капустин, А. А. Райков, А. В. Бурмистров</i>	
Создание высокого вакуума и его поддержание во всех вакуумных узлах на примере циклотронного ускорителя	123
<i>З. Г. Люллин, И. В. Лазарев, И. В. Гольтяев, Д. К. Кострин, Р. С. Смирнов</i>	
Исследовательский стенд для калибровки давления в МЛП	127
<i>Н. В. Мамедов, А. Ю. Пресняков, А. В. Губарев, А. А. Узвлок</i>	
Новый миниатюрный ускоритель изотопов водорода с торцевым магнитом в источнике ионов	136
<i>Н. С. Носиков, С. В. Сыромук</i>	
Вакуумная установка для получения ионно-плазменных покрытий трибологического назначения	141
<i>К. Н. Политыко, А. И. Воропаев, Д. С. Мантуров</i>	
Регулирование давления в вакуумной камере с помощью электронного регулятора РДЭ-22	145
<i>С. В. Сажнев, В. И. Князев</i>	
Экранированные металлокерамические катоды большого размера	148
<i>С. Ю. Соковнин, М. Е. Базезин</i>	
Применение мультикасповой магнитной системы для повышения эффективности источника быстрых нейтральных частиц	153
<i>С. А. Трифионов, К. С. Воробьев, Д. К. Кострин, С. А. Марцынюков</i>	

Установка для финишной сборки электронно-оптических преобразователей с двусторонним электронно-стимулированным обезгаживанием микроканальной пластины	157
<i>А. В. Щербаков, А. Ю. Соколов, П. И. Коновалов, И. А. Ефимов, В. В. Муханов, А. С. Долотов, Р. И. Нуртдинов, Д. С. Богданец</i>	
Влияние предварительной обработки плазмой на процесс обезгаживания ЭВП	162
<i>Н. Н. Щитов</i>	
Секция «Герметичность вакуумных систем и течеискание, вакуумные измерения»	
Направления развития тепловых вакуумметров на основе манометрического преобразователя СК-ТС6	168
<i>А. С. Агеев, Д. А. Воронов</i>	
Методы исследования потоков газовыделения материалов и устройств	173
<i>Аунг Лин Хтай, Мьо Чжо Хлаинг, Вей Мо Лин, Л. Л. Колесник</i>	
Методика определения герметичности отпаянных ЭВП СВЧ	179
<i>С. А. Вашин, В. В. Душик, А. А. Шапоренков</i>	
Обоснование выбора конструкций крупногабаритных прогреваемых сверхвысоковакуумных разъёмных соединений и методика их испытаний на герметичность	183
<i>В. В. Вязовецков, А. Е. Вязовецкова, Д. А. Козлов, Л. К. Кузнецова, Ю. С. Шпанский</i>	
Облачные технологии в метрологическом обеспечении вакуумных измерений	187
<i>Р. Э. Кувандыков, Р. А. Тетерук, А. А. Чернышенко</i>	
Емкостной датчик для измерения степени покрытия поверхностей парами воды при криогенных температурах	192
<i>Ю. В. Панфилов, Л. Л. Колесник, Г. М. Сокол</i>	
Измерение потоков лёгких газов в вакуум позволит повысить точность определения их массовой доли в твёрдой пробе и расширит возможности высоковакуумных измерений	197
<i>А. М. Полянский, А. А. Чернышенко</i>	
Особенности работы датчика вакуума типа Пирани в атмосфере гелия	202
<i>Е. В. Рутков, Е. Ю. Афанасьева, О. А. Беляева, Н. Р. Галль</i>	
Разработка и исследование установки вакуумной потокомерной масс-спектрометрической эталонной для поверки и калибровки гелиевых течей	204
<i>А. А. Чернышенко, Р. Э. Кувандыков, Н. Н. Романцов</i>	
Совершенствование нормативно-технической и научной основ области вакуумных измерений	209
<i>А. А. Чернышенко, Р. Э. Кувандыков, Д. Е. Сенатов</i>	
К вопросу о разработке метода расчета процесса теплового газовыделения материалов в процессе термовакуумной обработки ЭВП СВЧ О-типа	214
<i>Д. К. Черченко, Д. А. Комаров</i>	
Секция «Вакуумные технологии при осаждении пленок и покрытий»	
Особенности методов корректирования сопротивления токопроводящих оптических покрытий на основе ИТО при помощи источника ионов с замкнутым дрейфом электронов	226
<i>А. Ю. Буднев, О. Ф. Просовский, А. Н. Исамов, Ю. О. Просовский, В. А. Смольянинов</i>	
Ионно-плазменное напыление тонких пленок на малогабаритные детали для создания вакуумно-плотных и механически прочных узлов электровакуумных приборов	231
<i>Е. В. Горшкова, Н. И. Бабкова, А. С. Тюрина, Д. А. Бессонов, А. С. Емельянов, Д. Н. Золотых, В. И. Шестеркин</i>	

Структурные и деформационные свойства нано-SiC на Si(001) синтезированного методом замещения атомов	235
<i>А. С. Гращенко, С. А. Кукушкин</i>	
Получение гибридных интегральных схем на поверхности керамики и алмаза методами толстоплёночной технологии и вакуумного напыления	238
<i>В. М. Гурин, В. Г. Косушкин, С. А. Адарчин, М. С. Васютин</i>	
Изготовление многослойных лазерных мишеней углерод-медь-углерод методом магнетронного распыления	243
<i>Л. Е. Гусс, В. Н. Горнов, А. В. Савельев, Е. М. Писарев, О. В. Титова</i>	
Низкотемпературное химическое осаждение покрытий на основе метастабильных фаз вольфрама из газовых сред при пониженных давлениях	247
<i>В. В. Душик, А. А. Шапоренков, Е. А. Рубан, С. А. Вашин</i>	
Исследование влияния материала подложки и ее температуры нагрева на фотокаталитическую активность тонких пленок диоксида титана	251
<i>А. Д. Дьячков, Д. Е. Шашин, А. Л. Романов</i>	
Получение градиентных фотонно-кристаллических пленок методом вакуумной фильтрации	257
<i>Е. Н. Егорова, Е. В. Панфилова</i>	
Вакуумное напыление многослойных тонкопленочных резистивных структур с температурной самокомпенсацией для сверхпрецизионных чип-резисторов	261
<i>В. Д. Зуев, А. А. Рыжов, С. А. Гурин, А. Э. Шепелева, М. Д. Новичков, П. А. Гурин</i>	
Магнетрон с двухслойной мишенью для осаждения пленок бинарного сплава Ta_xTi_{1-x}	269
<i>Н. М. Иванов, В. И. Шаповалов, Д. С. Шарковский</i>	
Особенности реализации контролируемого процесса получения полупрозрачных тонких пленок алюминия методом электронно-лучевого испарения	273
<i>А. Н. Исамов, Ю. О. Просовский, О. Ф. Просовский, А. Ю. Буднев, В. А. Смольянинов</i>	
Магнетронное нанесение антиотражающего покрытия нитрида алюминия на экраны электронно-оптических преобразователей	278
<i>Р. А. Каракулов, А. А. Акопян, Р. И. Нуртдинов, А. Ю. Соколов, П. И. Коновалов, Е. Н. Фёдоров, А. Р. Ибрагимов</i>	
Изучение влияния мощности магнетронного разряда на скорость осаждения титановых покрытий из неохлаждаемой мишени	283
<i>Г. В. Качалин, К. С. Медведев, В. А. Касьяненко, А. Ф. Медников, А. Б. Тхабисимов</i>	
Программное обеспечение для синтеза поляризационных светоделителей	287
<i>Е. Н. Котликов, Н. П. Лавровская, Ю. А. Новикова, Г. В. Терещенко</i>	
Масс-спектрометрические исследования состава газовой фазы в процессе роста SiC на Si методом согласованного замещения атомов	291
<i>А. Г. Кузьмин, Ю. А. Титов, О. И. Коньков, М. Г. Воробьев, С. В. Разумов, С. А. Кукушкин</i>	
Наномасштабный монокристаллический карбид кремния на кремнии и его уникальные свойства	295
<i>С. А. Кукушкин, А. В. Осипов</i>	
Разработка методики контроля толщины ультратонких плёнок методом спектроскопии поверхностного плазмонного резонанса в процессе вакуумного напыления	298
<i>С. А. Лобастов, А. В. Анисимов, И. Ш. Хасанов</i>	

Получение порошков тройной системы $ZrO_2 - CaO - Al_2O_3$ методом индукционного переплава в «холодном» тигле	302
<i>А. Л. Митрофанов, А. А. Лозован, С. Я. Бецофен</i>	
Анализ свойств алмазоподобных углеродных покрытий, полученных методом импульсного магнетронного распыления	305
<i>Мьо Ти Ха, Лю Хаоцэ, Ли Чунцун, Л. Л. Колесник</i>	
Анализ методов нанесения тонких пленок в вакууме по критерию максимума скорости осаждения	310
<i>Ю. В. Панфилов, Ван Ифань</i>	
Синтез оксида титана вакуумно-дуговым плазменно-ассистированным методом	315
<i>Н. А. Прокопенко, Н. Н. Коваль, М. С. Воробьёв, Е. А. Петрикова, Ю. Ф. Иванов, В. В. Шугуров</i>	
Картины каналирования электронов на перовскитовых сферолитах в тонких пленках ЦТС	318
<i>В. П. Пронин, М. В. Старицын, И. П. Пронин, И. И. Хинич</i>	
Разработка прецизионного метода монохроматического контроля толщины наносимых оптических покрытий	320
<i>Ю. О. Просовский, О. Ф. Просовский, Д. Г. Денисов, А. Н. Исамов, А. Ю. Буднев, Д. Н. Петрачков, А. И. Опарин, В. А. Смольянинов</i>	
Разработка математической модели неравномерности пленки при получении многослойной структуры методом магнетронного распыления	325
<i>А. Л. Романов, Н. И. Сушенцов, Д. Е. Шашин, А. Д. Дьячков</i>	
Исследование влияния нанесенных металлических пленок на контрастность изображений, полученных методом РЭМ	330
<i>Я. А. Рудометов, А. Д. Волоховский</i>	
Влияние содержания азота при магнетронном осаждении нитрида титана и шероховатости подложек на электрофизические свойства тонкопленочных покрытий	335
<i>Ю. И. Рукина, О. И. Обрезков, Ю. В. Мартыненко, С. Л. Шевчук, М. Ю. Нагель, С. Н. Кочетов</i>	
Способ формирования в вакууме композиционного слоя с островковыми наноструктурами	341
<i>С. В. Сидорова, А. Д. Купцов, И. Е. Пименов, А. А. Фельде</i>	
Исследование адгезии лакового покрытия к тонким плёнкам оксидов металлов	346
<i>В. А. Смольянинов, Ю. О. Просовский, О. Ф. Просовский, А. Н. Исамов, А. Ю. Буднев, И. Н. Левкин</i>	
Радиационно-химический метод получения нанокompозита диоксид церия - серебро	349
<i>С. Ю. Соковнин, М. Е. Балезин, В. Г. Ильвес</i>	
Синтез наноразмерных пленок в нестандартных условиях	353
<i>В. А. Тупик, В. И. Марголин, Д. К. Кострин, Б. В. Фармаковский, И. С. Шолина</i>	
Исследование влияния ВЧ-плазмы аммиака на характеристики поверхности арсенида галлия	357
<i>А. В. Фомин, Е. А. Бекетова, С. А. Крюков, С. Х. Нажметов, А. Н. Строкачук</i>	
Моделирование неравномерности магнетронного напыления пленок при взаимном перемещении подложки и магнетрона	360
<i>В. И. Черкунов</i>	
Покрытия из высокоэнтропийных сплавов	366
<i>В. И. Шаповалов</i>	

Исследование влияния элементного состава покрытий системы Al-Si-N на их механические и оптические свойства	371
<i>У Шапа, С. П. Бычков</i>	
Линеаризованная модель осаждения ПХКП на внутренние поверхности ТВЭЛ в присутствии плазмы	376
<i>Н. Н. Щитов</i>	
Секция «Вакуумные технологии в космической и атомной отраслях, медицине, металлургии и машиностроении, добывающих отраслях, ядерной энергетике»	
Особенности фазового перехода расплав – пар теллуридов сурьмы и свинца в вакууме в условиях дистилляционной переработки полиметаллических штейнов	386
<i>В. Н. Володин, С. А. Требухов, К. А. Линник, А. В. Ниценко, Ф. Х. Тулеутай</i>	
Исследование воздействия пучка электронов с энергией 10 кэВ на перезарядные углеродные фольги	390
<i>И. В. Гольтяев, Ю. С. Барышников, С. В. Григоренко, О. Л. Вересов, И. В. Лазарев, И. А. Родионов, З. Г. Люллин, Д. К. Кострин</i>	
Повышение чувствительности массивных фотокатодов за счет регистрации истинного фотоэмиссионного тока	392
<i>П. И. Коновалов, Д. Г. Акопян, Р. И. Нуртдинов</i>	
Технология финишной сборки хронографических электронно-оптических преобразователей с применением метода переноса	397
<i>П. И. Коновалов, А. В. Сахаровский, А. Ю. Соколов, Р. И. Нуртдинов, М. П. Викулин, А. С. Долотов, И. Г. Прянишников, А. В. Шевчик</i>	
Вакуумные технологии обработки поверхности металлов катодными пятнами вакуумно-дугового разряда	402
<i>В. Г. Кузнецов</i>	
Вакуумные технологии при измерениях состава вещества	408
<i>В. А. Полянский, А. М. Полянский, Ю. А. Яковлев</i>	
Оптимизация параметров аддитивного получения образцов из стали 316L методом экструзионной печати	411
<i>Е. Е. Рюмин, М. Г. Криницын</i>	
Рафинирование некондиционного селена методом вакуумной дистилляции	414
<i>С. А. Требухов, Б. К. Кенжалиев, В. Н. Володин, Е. А. Оспанов, А. А. Шахалов, А. А. Требухов</i>	