



Научно-техническое
вакуумное общество
им. академика
С.А. Векшинского

ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА, МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ

**Тезисы XIX международной научно-технической
конференции «Вакуумная техника, материалы и
технология»**

**(Москва, ЦВК «Экспоцентр»,
01-03 апреля 2025)**

Vacuum equipment,
materials and technology

Abstracts
of the XIX international conference
(Moscow, TsVK «Ekspotsentr», 01-03 April 2025)

При поддержке



XIX международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

ББК 31.77
В 14
УДК 621.52

В 14 Вакуумная техника, материалы и технология

Тезисы XIX международной научно-технической конференции «Вакуумная техника, материалы и технология» под редакцией доктора технических наук, профессора С.Б. Нестерова М.: Электровакуумные технологии. 2025 – 160с.

ISBN 978-5-6048852-7-7

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

Издание осуществлено с авторских оригиналов.

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

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

XIX международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

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

Секция 1 - Вакуумные технологии и оборудование
Секция 2 – Криогенная техника и технологии
Секция 3 - Новые технологии и формирование тонких пленок.
Методики исследования. Технологическое
оборудование
Секция 4 - Нанотехнология и биотехнология

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

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

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА

И.А. Архаров Профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана
А.Ф. Белянин Руководитель научных программ
ОАО «ЦНИТИ «Техномаш»

В. Л. Бондаренко Заведующий кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана
А.В. Бурмистров Директор Института химического и нефтяного
машиностроения ФГБОУ ВО «КНИТУ»

А.В. Буторина Профессор РНИМУ им. Н.И. Пирогова
С.А. Бушин Главный научный сотрудник ФГУП «ВНИИА
им. Н.Л. Духова»

Т.М. Васильева Профессор МФТИ
Ю.В. Гуляев Академик, Президент Международного союза
научных и инженерных общественных
объединений

К.Е. Демихов Профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана
С.П. Друкаренко Первый вице-президент Международного союза
научных и инженерных общественных объединений

Я.О. Желонкин Генеральный директор АО «ФЕРРИ ВАТТ»
А. А. Жердев Декан МГТУ им. Н.Э. Баумана
Е.В. Жировов Председатель совета директоров
АО «Криогенмонтаж»

А.Е. Зарвин в.н.с., ИТПМ СО РАН, заведующий отделом
НГУ,

Е.Н. Капустин Генеральный директор АО «ВАКУУММАШ»
Л.Л. Колесник Генеральный директор
ООО «Электровакуумные технологии»

Н. А. Лавров Профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана
А.А. Левченко Директор института физики твердого тела РАН
И.П. Ли Заместитель генерального директора по
научно-технологическому развитию

XIX международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

| | |
|-----------------------|--|
| <i>В.В. Одинок</i> | АО «Плутон» Заместитель генерального директора АО «НИИ точного машиностроения» |
| <i>Ю.В. Панфилов</i> | Заведующий кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана |
| <i>В.В. Слепцов</i> | Заведующий кафедрой НИУ «МАИ» |
| <i>А.А. Филатов</i> | Технический директор ООО "НПО Гелиосфера" |
| <i>В.И. Шаповалов</i> | Профессор ЛЭТИ |
| <i>Е.П. Шешин</i> | Профессор Московского физико-технического института |

ОРГАНІЗАЦІЇ УЧАСТНИКИ

АО «Вакууммаш», г. Казань

АО «Криогенмонтаж», г. Москва

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

АО «ОКБ «Кристалл», г. Москва

Всероссийський науково-дослідницький інститут холодильної промисловості – філіал ФГБНУ «ФНЦ харчових систем ім. В.М. Горбатова» РАН, г. Москва

Гомельський державний університет ім. Ф. Скорины, г. Гомель

ІСПМ РАН

ІНХС РАН

Інститут загальної і неорганічної хімії ім. Н.С. Курнакова РАН, г. Москва

Інститут синтетических полімерних матеріалів ім. Н.С. Еніколопова РАН, г. Москва

ІХФ ім. Н.Н. Семенова РАН

Механіко-математический факультет МГУ ім. М.В.Ломоносова, г. Москва

МІРЭА – РТУ, Інноваційно-інжиніринговий центр, г. Москва

Московський фізико-технічний інститут, г. Долгопрудний, Московської обл.

Московський державний технічний університет ім. Н.Э. Баумана, г. Москва

Московський фізико-технічний інститут (МФТИ), г. Москва

«Московський енергетический інститут» (НІУ «МЭИ»), г. Москва

Науково-дослідницький інститут механіки МГУ, г. Москва

НІТУ «МІСіС», г. Москва

ООО «ВЛС-Інжиніринг»,

ООО «Криотехніка»

ООО «НПО Вакуумні технології», г. Москва

ООО «НПО Геліосфера», г. Санкт-Петербург

ООО «Моніторинг Вентиль і Фітінг»,

ООО "ЭПОС-Інжиніринг"

ХІХ міжнародна науково-технічна конференція
«Вакуумна техніка, матеріали і технологія» Москва,
ЦВК «Експоцентр», 01-03 квітня 2025 року

Об'єдинений інститут ядерних досліджень, г. Дубна Московської обл.

ООО «ФЕРРИ ВАТТ», г. Казань

Поволзький державний технологічний університет, г. Йошкар-Ола республіки Марій Ел

Російське науково-технічне вакуумне товариство ім. академіка С.А. Векшинського, г. Москва

ФГБОУ ВО «Московський Авіаційний Інститут» (МАІ),

ФГБОУ ВО «КНІТУ», г. Казань г. Москва

ФГУП НАМІ, г. Москва

ФІЦ ІУ РАН, г. Москва

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Секция 1. ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ | 17 |
| Российское научно-техническое вакуумное общество им. академика С.А.Векшинского и международная выставочная компания - 20 лет сотрудничества | |
| С.Б.Нестеров..... | 19 |
| Перспективы обеспечения технологического суверенитета России в вакуумном машиностроении | |
| Е.Н. Капустин, А.Е. Капустин | 22 |
| Вакуумная техника и технологии - часть Национального технологического суверенитета или Частная инициативная самоотверженность? | |
| Я.О. Желонкин | 24 |
| Применение кода “несветай” к моделированию пространственных течений разреженного газа | |
| В.А. Титарев | 27 |
| Сравнительный анализ многозаходных и однозаходных спиральных насосов | |
| К.И. Власенкова, А.А. Райков, А.В. Бурмистров, С.И. Саликеев..... | 29 |
| Температурные характеристики вакуумных насосов Рутс с многолопастными роторами | |
| И.А. Малин, А. А. Райков, С. И. Саликеев, А. В. Бурмистров..... | 31 |
| Изучение высокотемпературного поведения труднолетучих веществ в вакууме методом кнудсеновской эффузионной масс-спектрометрии | |
| Н.А. Грибченкова, А.С. Смирнов | 33 |
| Система In-In ₂ O ₃ как низкотемпературный источник газообразного оксида индия для молекулярно-лучевой эпитаксии по данным Кнудсеновской эффузионной масс-спектрометрии | |

XIX международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

| | |
|--|----|
| А.С. Смирнов, Н.А. Грибченкова | 35 |
| Инверсно-магнетронный вакуумметр Sensor One | |
| И.Ф. Ханбеков | 37 |
| Высокоскоростной вакуумный транспорт | |
| Д.А. Калинин, С.Б. Нестеров | 39 |
| Определение степени готовности термовакуумной камеры к проведению тепловакуумных испытаний | |
| А.Ю. Кочетков..... | 41 |
| Применение турбомолекулярного насоса к задачам газоразделения | |
| В.В. Косьянчук | 43 |
| Моделирование течения разреженного газа в турбомолекулярном насосе и других устройствах с быстровращающимися поверхностями | |
| А.Н. Якунчиков..... | 45 |
| Вакуумный имитатор солнца на основе светодиодов | |
| А.А. Филатов, А.А. Кишалов, П.С. Смирнов, А.А. Моисеев, С.Б. Нестеров..... | 47 |
| Оптимизация запуска вакуумной системы: ключевые аспекты эффективной работы насосов | |
| Мьо Чжо Хлаинг, Вей Мо Линн, Л. Л. Колесник..... | 49 |
| Секция 2 КРИОГЕННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ..... | 51 |
| Роторный волновой криогенератор как коммерчески эффективный аналог турбодетандера | |
| А.С. Малахов, И.А. Архаров, В.Ю. Семенов, С.Б. Малахов..... | 53 |
| Применение квазипористых структур в установках газоразделения | |
| И.А. Архаров, А.И. Миронов, А.Д. Малинникова, С.Д. Кулебякин 56 | |

XIX международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

| | |
|---|----|
| Общее криовоздействие на человека: взгляд инженера | |
| А.В. Шакуров | 59 |
| Глубокий холод и инновации. Трубопроводы и клапаны с экранно-вакуумной изоляцией | |
| А.А. Рыбалко | 61 |
| Исследование динамики изменения концентрации примесей при производстве ксенона в зависимости от времени и давления | |
| Ч. Лю, М.Ю. Куприянов | 63 |
| Проект экспериментальной установки по получению криогенных мишеней из ксенона и криптона | |
| М.В. Мурашкин..... | 65 |
| Гидродинамический расчёт тарельчатого контактного устройства ситчатого типа | |
| Е.И.Юдин, Е.С. Навасардян | 67 |
| Особенности расчета коэффициента инжекции в циклах сжижения природного газа | |
| М.А. Тиховидов, Е.С. Навасардян..... | 69 |
| Описание криогенной адсорбции на активных углях теорией объёмного заполнения микропор | |
| М.Ю. Куприянов, А.С. Мирошкин, Л. Ян | 71 |
| Контроль сорбата на охлажденной до криогенных температур поверхности в вакууме | |
| Ю.В. Панфилов, Г.М. Сокол | 73 |
| Анализ нестационарных процессов в низкотемпературных теплообменниках с применением моделей с сосредоточенными параметрами | |
| А.А. Казакова, Н.А. Лавров..... | 75 |

XIX международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

| | |
|--|----|
| Аналитический обзор методик расчёта турбонасоса жидкого водорода авиационного назначения | |
| И.А. Архаров, Д.Н. Ильинская..... | 79 |
| Проектирование двухпоточных теплообменных аппаратов на основе трижды периодических минимальных поверхностей | |
| Е.С. Навасардян, В.В. Доля..... | 82 |
| Процессы в системах хранения и подачи высокочистого инертного газа | |
| А.В. Федоров, М.Ю. Куприянов..... | 85 |
| Новые методы создания композиционных материалов на основе естественного льда для решения широкого круга задач Арктического региона | |
| Г.Ю. Гончарова..... | 87 |
| Секция 3 НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК. МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ..... | 89 |
| Перспективы применения СТМР-датчиков в космических миссиях и навигации | |
| С.В. Кирьянов, С.А. Аксенова, С.В. Сидорова..... | 91 |
| Островковые наноструктуры для газовых сенсоров | |
| А.М. Наумова, С.В. Сидорова..... | 93 |
| Система комбинированных движений для оптимизации процессов в вакууме | |
| А.М. Руденко, А.Д. Купцов, С.В. Сидорова..... | 95 |
| Антифрикционные износостойкие покрытия в системе Ti-Ni-Cr-Cu-C-N, полученные методом магнетронного распыления СВС-мишеней | |
| Ф.В. Кирюханцев-Корнеев, А.Д. Чертова, Ю.С. Погожев, Е.А. Левашов..... | 97 |

| | |
|--|-----|
| К вопросу о подаче кислорода при нанесении термобарьерных покрытий методом магнетронного распыления неохлаждаемой мишени | |
| Г.В. Качалин, К.С. Медведев, В.А. Касьяненко | 100 |
| Структура и свойства пленок Zr-Ti-B-C и Nb-Ti-B-C с улучшенными термической стабильностью и электрофизическими свойствами | |
| А.Д. Чертова, Е.А. Башкиров, Е.А. Левашов, Ф.В. Кирюханцев-Корнеев | 103 |
| Исследование влияния реактивного плазменного травления на структуру поверхности LTCC | |
| С.А. Хохлун, С.В. Сидорова | 106 |
| Воздействие тлеющего разряда постоянного тока на химическую структуру и свойства поверхности плёнок аддитивного полиэтиленнорборнена | |
| А.В. Зиновьев, М.С. Пискарёв, А.Б. Гильман, Д.А. Сырцова, А.И. Возняк, М.В. Бермешев, Е.А. Скрылева, Б.Р. Сенатулин, А.К. Гатин, А.Ю., Алентьев, А.А. Кузнецов | 108 |
| Моделирование геометрии многослойной островковой тонкой пленки для СТМР-датчика | |
| Е.С. Щербак, С.В. Сидорова | 110 |
| Формирование в вакууме композиционного островкового слоя для повышения электрической прочности конденсатора | |
| И.Е. Пименов, С.В. Сидорова | 112 |
| Разработка комплекса для позиционирования и обработки подложек в вакууме | |
| А.Д. Купцов, Г.А. Дьячков, А.М. Руденко, С.В. Сидорова | 114 |
| Исследование антифрикционных характеристик MoS ₂ -покрытий при повышенной температуре в вакууме | |
| Беликов А. И., Илларионов А. И., Синявин Н. М. | 116 |

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

| | |
|---|-----|
| Модернизированный стенд поляризации ПВДФ пленки в плазме тлеющего разряда | |
| А. Р. Зиннатуллин, Б. А. Басов, К. М. Моисеев..... | 118 |
| Универсальное решение для PVD-технологий: как одна установка может заменить несколько специализированных систем. | |
| А.С.Кривенко, И.М. Глухов | 120 |
| Строение пленок CaF_2 , выращенных молекулярно-лучевой эпитаксией на подложках из Si | |
| А.Ф. Белянин, Н.И. Сушенцов | 122 |
| Формирование медных тонкопленочных электродов на пленках ПВДФ методом магнетронного распыления | |
| К.А. Кислов, К.М. Моисеев..... | 124 |
| Выбор компоновки вакуумного оборудования магнетронного нанесения покрытий на детали сложной формы на основе моделирования | |
| А.И. Беликов..... | 126 |
| Разработка подложкодержателя с нагревом для установки магнетронного распыления | |
| С.Ю. Хыдырова, В.А. Кулаков, С.С. Романов, Т.И. Мавлявиев, М.Г. Попков, И.С. Фетисов, К.М. Моисеев | 128 |
| Разработка технологической оснастки для кварцевого микровзвешивания in situ | |
| С. Ю. Хыдырова, Б.Р. Гусейнов, И.С. Фетисов, Т.И. Мавлявиев, С.С. Романов, К.М. Моисеев | 130 |
| Оптимизация толщины защитного хромового покрытия оболочки ТВЭЛа | |
| В.К. Егоров, Е.В. Егоров, Т.В. Сеткова..... | 132 |
| Секция 4 НАНОТЕХНОЛОГИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ | 135 |

| | |
|--|-----|
| Технології мінімізації десорбційних процесів в виробництві ЕВП | |
| А.В. Парашук, Е.П. Шешин | 137 |
| Модифікування треківих мембран шляхом осаження на їх поверхності фторполімерних покриттів | |
| Л.І. Кравець, М.Ю. Яблоков, М.А. Ярмоленко | 139 |
| Дослідження поверхні вуглеродного волокна модифікованого наночастинками металів | |
| М.Р. Войтухов, Р.А. Цырков, Д.Ю. Кукушкин | 142 |
| Автокатоди на основі вуглеродних нанотрубок | |
| Сая Тхвин Наинг Зо, Е.П. Шешин..... | 144 |
| Углеродні матеріали як автокатоди для електронних пушок | |
| Чит Фон Паинг, Е.П. Шешин | 146 |
| Особливості автокатодів із вуглеродних фольг | |
| Тхет Хму Маунг, Е.П. Шешин..... | 148 |
| Органічні сонячні елементи з вуглеродними наноструктурами | |
| Д.В. Новиков, С.В. Сидорова..... | 150 |
| Дослідження впливу наноструктурування електродного матеріалу на характеристики суперконденсатора | |
| Д.Ю. Кукушкин, В.В. Слепцов, А.О. Дителева, Р.А. Цырков | 152 |
| Математичне моделювання електроімпульсного методу получення нанодисперсних систем в рідких середовищах | |
| Р.А. Цырков, Д.Ю. Кукушкин, А.О. Дителева, В.В. Слепцов | 155 |
| Обробка в тліючому розряді постійного струму – ефективний спосіб модифікації поверхні свержвисокомолекулярного поліетилену | |
| М.С. Пискарев, А.В. Зиновьев, Е.К. Голубев, А.Б. Гильман, А.А. Кузнецов, А.Н. Озерин | 158 |

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

XIX международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

Секция 1.
ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ОБОРУДОВАНИЕ

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

**РОССИЙСКОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ВАКУУМНОЕ
ОБЩЕСТВО ИМ. АКАДЕМИКА С.А.ВЕКШИНСКОГО И
МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ - 20
ЛЕТ СОТРУДНИЧЕСТВА**

С.Б.Нестеров

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

РОССИЙСКОЕ ВАКУУМНОЕ ОБЩЕСТВО, МЕЖДУНАРОДНАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ, ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА,
КРИОГЕННАЯ ТЕХНИКА, НАНОТЕХНОЛОГИЯ

**THE RUSSIAN VEKSHINSKI SCIENTIFIC AND
TECHNICAL VACUUM SOCIETY AND INTERNATIONAL
EXHIBITION COMPANY - 20 YEARS OF COOPERATION**

S.B. Nesterov

KEYWORDS

RUSSIAN VACUUM SOCIETY, INTERNATIONAL EXHIBITION
COMPANY, VACUUM EQUIPMENT, CRYOGENIC EQUIPMENT,
NANOTECHNOLOGY

20 лет назад, в апреле 2005 г., руководством Международной выставочной компании и Российского вакуумного общества было принято решение об организации специализированной выставки вакуумного оборудования.

Организатором выставки стала Международная выставочная компания MVK. Соорганизатором выставки – организатором деловой программы является РНТВО им.С.А. Векшинского.

За время существования выставки в ее работе приняли участие более 200 мировых и отечественных фирм – производителей вакуумного оборудования, в том числе из Австрии, Беларуси, Великобритании, Германии, Израиля, Китая, Кореи, Латвии,

ХІХ міжнародна науко-технічна конференція
«Вакуумна техніка, матеріали і технологія» Москва,
ЦВК «Експоцентр», 01-03 квітня 2025 року

Лихтенштейна, Словаччини, Словенії, США, Турції, України, Франції, Швейцарії, Японії.

Основні цілі виставки – демонстрація унікальних досягнень в області вакуумної техніки, матеріалів і технологій і їх просування на ринок; встановлення ділових контактів, залучення інвестицій; надання допомоги в формуванні і реалізації національних і регіональних програм в даній області.

Паралельно працювала міжнародна науко-технічна конференція «Вакуумна техніка, матеріали і технологія». В роботі конференції взяли участь представники Білорусії, Німеччини, Китаю, Кореї, Лихтенштейна, Монголії, Нідерландів, Росії, Румунії, України, М'янми. Всього опубліковано більше 900 доповідей, кількість авторів – більше 1000. Всі ці роки виставка працювала під девізом «Вакуумна техніка, криогенна техніка і нанотехнологія – три кита, на яких тримається світ високотехнологічних технологій». Цей девіз знайшов пряме відображення в назвах секцій науко-технічної конференції: вакуумна техніка і аерокосмічний комплекс; вакуумні технології і обладнання; нові технології формування тонких плівок. Методи і дослідження. Технологічне обладнання; нанотехнологія і біотехнологія; криогенна і криовакуумна техніка.

З самого початку ми озвучили відоме китайське висловлювання «пухне сто квіток, пухне сто шкіл спорядити». Сьогодні можна констатувати, що розпустилися більше 400 квіток – саме стільки організацій з Росії, ближнього і дальнього зарубіжжя взяли участь в роботі виставки і конференції.

Для підвищення ефективності виставки була корисною наступна робота: проведення різних конкурсів, наприклад «За найкращий інноваційний продукт в сфері високотехнологічних технологій», нагородження молодих учених за найкращі доповіді, нагородження медаллю академіка С.А.Векшинського видатних представників науки, освіти і промисловості, запрошення з доповідями учених і фахівців з суміжних областей знання, проведення

спеціалізованих семінарів, робота по створенню єдиної термінології, по стандартизації, публікації итогов виставки в різних спеціалізованих журналах, створення і постійне оновлення аннотированной бібліографії видань по вакуумній техніці і технології, привертання на виставку і конференцію студентів вузів, написання ними рефератів по итогам посещения, спілкування з учасниками виставки і посещение підприємств, які вони представляють, увековечивання пам'яті ушедших учених.

С 2010 року проводиться конкурс «За високі інноваційні досягнення в сфері високих технологій». Призами конкурсу відзначені 134 найкращих продуктів.

Виставка «ВакуумТехЕкспо» за час існування стала головним подією року в області вітчизняної вакуумної техніки і технології.

Не викликає сумніви, що виставка «ВакуумТехЕкспо» буде сприяти розвитку виробничих і економічних зв'язів, встановленню нових ділових і особистих контактів, обміну науко-технічною інформацією.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Нестеров Сергей Борисович – доктор технічних наук, професор (ORCID 0000-0002-7457-4213). Російське науко-технічне вакуумне товариство ім. академіка С.А.Векшинського, м. Москва. e-mail: sbnesterov@vacuum.org.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА РОССИИ В ВАКУУМНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Е.Н. Капустин, А.Е. Капустин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУММАШ, РОССИЙСКИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ

PROSPECTS FOR ENSURING RUSSIA'S TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY IN VACUUM ENGINEERING.N.

Kapustin, A.E. Kapustin

KEYWORDS

VACUUMMASH, RUSSIAN MANUFACTURER

Нам сегодня особенно важно определить дальнейшие пути развития отечественной экономики, и в том числе, важнейшей её составляющей – вакуумного машиностроения. Долгие годы рынок России был заполнен импортным, в первую очередь европейским, американским, японским оборудованием, а АО «Вакууммаш» оставалось практически единственным отечественным производителем вакуумных насосов и арматуры.

Сегодня нам брошен новый вызов – санкционные ограничения. А на рынок хлынуло китайское оборудование. И нам необходимо решить – хотим ли мы, чтобы на российских предприятиях приоритетно использовалась российская техника, в первую очередь на предприятиях Росатома, Роскосмоса, Ростеха? Или мы под видом импортозамещения будем развивать «китаезамещение» и поставлять китайское оборудование, которое порой не ремонтируется и не обслуживается?

Сегодня появляются новые российские производители, и

необходимо объединить усилия, чтобы обеспечить действительный технологический суверенитет России. АО «Вакууммаш» готово взять на себя эти функции и объединить российские компании, работающие в сфере вакуумной техники, для достижения общей цели.

Все хорошо знают - АО «Вакууммаш» был и остаётся флагманом российского вакуумного машиностроения. Инвестирует в новое производство, в кадровый потенциал. Разрабатывает и осваивает производство инновационных вакуумных насосов, без которых невозможно развитие многих отраслей промышленности. В нашем портфеле сегодня самые лучшие в мире диффузионные вакуумные насосы, которые мы долгие годы разрабатывали и поставляли компании Leybold GmbH, спиральные вакуумные насосы, насосы Рутса большой и малой производительности, винтовые вакуумные насосы, водокольцевые и пластинчато-роторные насосы, вакуумная арматура, т.е. большинство необходимого вакуумного оборудования. Однако для того, чтобы сохранять лидерские позиции нельзя стоять на месте. Необходимо разрабатывать новые виды оборудования, востребованные заказчиками. Тем более, что опыт последних лет доказал необходимость разработки и освоения производства всех необходимых средств откачки в России.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Капустин Евгений Николаевич – кандидат технических наук. АО «Вакууммаш», 420054, г. Казань, ул. Тульская, д.58. e-mail: kapustinen@vacma.ru

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

ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ - ЧАСТЬ НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА ИЛИ ЧАСТНАЯ ИНИЦИАТИВНАЯ САМООТВЕРЖЕННОСТЬ?

Я.О. Желонкин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ, НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
МИРОВЫЕ ТРЕНДЫ

IS VACUUM ENGINEERING AND TECHNOLOGY PART OF NATIONAL TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY OR PRIVATE INITIATIVE?

KEYWORDS

VACUUM TECHNOLOGY AND TECHNOLOGY, NATIONAL
TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY, TECHNOLOGICAL WORLD
TRENDS

Мировые события, свидетелями которых мы являемся в период с 2020 г по настоящее время, наглядно иллюстрируют, насколько рискованным для национальных технологических интересов является тезис «купим зарубежом». Глобализация производственных цепочек – прекрасная стратегия уменьшения себестоимости продукции и расширения географии сбыта в условиях внешнеполитического «штиля», но позволю себе метафоричное сравнение: как известно по творчеству И.К. Айвазовского - море не всегда пребывает в статичном состоянии. Следовательно, необходимо создавать собственные технологии и продукты. Но возникает вопрос: как сделать конкурентоспособный продукт в условиях, когда зарубежные аналоги доступнее, дешевле и зачастую

качественнее, особенно если речь идет о создании и «обкатке» продукта на относительно небольшом рынке РФ?

Настоящие тезисы являются кратким изложением одноименной статьи, с авторским взглядом на вопрос «Национального технологического суверенитета», с акцентом на отрасль Вакуумной техники и технологий (ВТТ).

Российская научная и производственная среда отрасли ВТТ имеет все предпосылки для успешного преодоления существующих конкурентных и технологических отставаний с другим странами при правильной и своевременной политике в отрасли, позволяющей преодолеть существующие барьеры. Выбор правильного и разумного пути – есть задача Государственной политики в области формирования стратегических целей и инструментов технологического развития, а задача производителей – быть верным своему делу и отстаивать свои интересы и стратегические интересы страны. Успех технологического лидерства в различных сферах может быть достигнут за счет **правильного баланса** между формированием Государством **стратегических целей технологического развития** со ставками на ключевых отраслях, разработкой политики поддержки с четкими показателями на продукт и плановый внутренний сбыт с последующей поддержкой экспорта, а также за счет **частной инициативной самоотверженности** исполнителей, движимых предпринимательским духом, и опирающейся на **государственные меры**, которые обеспечивают **достижимость результатов** даже в условиях ограниченного внутреннего рынка. Неправильно сбалансировав эту систему, можно пропустить очередную технологическую волну и потерять преимущества встречать новые волны. Настоящие внешнеполитические события тормозят развитие существующих лидеров, вынуждают регионализировать производственные цепочки, что открывает уникальное «окно возможностей» обнулить существующий гандикап (преимущество) индустриальных стран, чтобы «догнать и перегнать». Анализ существующей структуры мировой экономики и прогнозов развития человечества показывает, что в это «окно» идти **без ставки на Вакуумную технику и**

технологии, как фундаментальную производственную отрасль нового быта – означает снова остаться на обочине прогресса и пропустить следующую «волну» инноваций.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Я.О. Желонкин, ООО «ФЕРРИ ВАТТ», Казань, А.Кутуя 159 email:
zhelonkin.ya@ferryvatt.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ КОДА “НЕСВЕТАЙ” К
МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТЕЧЕНИЙ
РАЗРЕЖЕННОГО ГАЗА**

В.А. Титарев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

КИНЕТИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ, S-МОДЕЛЬ, РАЗРЕЖЕННЫЙ
ГАЗ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ АЭРОДИНАМИКА,
НЕСТРУКТУРИРОВАННАЯ СЕТКА, СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ
РАСЧЕТЫ

**APPLICATION OF “NESVETAY” CODE TO MODEL
THREE-DIMENSIONAL RAREFIED GAS FLOWS**

V.A. Titarev

KEYWORDS

KINETIC EQUATION, S-MODEL, RAREFIED GAS,
COMPUTATIONAL AERODYNAMICS, UNSTRUCTURED GRID,
SUPERCOMPUTER CALCULATIONS

Развитие вычислительных алгоритмов решения гиперболических уравнений на сложных расчетных сетках и рост производительности суперкомпьютеров сделал возможным моделирование пространственных течений разреженного газа на основе прямого численного решения кинетического уравнения Больцмана с точным либо модельным оператором столкновений. Для решения сложных прикладных (промышленных) задач особенно привлекательной кажется возможность использования кинетических уравнений с приближенными (модельными) операторами столкновений, так как они обладают высокой вычислительной эффективностью, обеспечивая в большинстве случаев приемлемую точность счета.

Ціль нинішньої роботи – представити короткий огляд існуючих можливостей розроблюваного автором дослідницького програмного коду Несветай (Несветай – назва річки в Ростовській області Росії) в додатку до завдань механіки разреженного газу, включаючи моделювання внутрішніх течій. Основними особливостями коду Несветай є використання довільних розрахункових сіток в фізичному і фазовому просторах, швидкий неявний метод дискретизації по часу і реалізація двохуровневої моделі паралельних обчислень, що дозволяє проводити обчислення на системах з десятками тисяч х86 ядер.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Титарев Владимир Александрович – доктор фізико-математических наук, (ORCID: 0000-0002-7106-0049). ФИЦ ИУ РАН, г. Москва. e-mail: vladimirtitirev@frcsc.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МНОГОЗАХОДНЫХ И ОДНОЗАХОДНЫХ СПИРАЛЬНЫХ НАСОСОВ

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

СПИРАЛЬНЫЙ НАСОС, МНОГОЗАХОДНАЯ СПИРАЛЬ,
ОДНОЗАХОДНАЯ СПИРАЛЬ

COMPARATIVE ANALYSIS OF MULTI-STAGE AND SINGLE-STAGE SCROLL VACUUM PUMPS

K.i. Vlasenkova, A.A. Raykov, A.V. Burmistrov, S.I. Salikeev

KEYWORDS

SCROLL VACUUM PUMP, MULTI-STAGE SCROLL, SINGLE-
STAGE SCROLL

Спиральные насосы применяются для создания безмасляного вакуума в процессах, не требующих высокой скорости откачки. Благодаря низкому остаточному давлению, компактности, малым шуму и вибрации, возможности создания чистой среды эти машины нашли применение в лабораторных и исследовательских установках. Основным недостатком классических однозаходных спиральных насосов является низкая быстрота действия, которая определяется суммарной величиной объемов всасывания, образующихся между спиральями на периферии. Увеличение количества заходов спирали, увеличивает число объемов всасывания и повышает быстроту действия. Однако при этом остаточное давление также возрастает.

Разработанная методика анализа факторов, влияющих на откачные характеристики, позволяет оценить влияние геометрии и количества заходов спиралей на геометрическую быстроту действия и коэффициент проводимости роторного механизма. Однако, в

вакуумної техніки багатоходові насоси не знайшли застосування, а для откачки використовуються комбіновані конструкції, з двох- і трьохходовими первими ступенями і одноходовою другою ступенню. В даній роботі досліджуються откачні характеристики таких насосів і зв'язь цих характеристик з геометричною швидкістю дії і коефіцієнтом провідності.

СВЕДЕННЯ ОБ АВТОРАХ

Власенкова Камила Ілшатівна — аспірант кафедри «ВТЭУ» (ORCID: 0009-0009-3275-8661). Казанський національний дослідницький технологічний університет, г. Казань, e-mail: minaltyn2000@mail.ru.

Райков Олександр Олександрович — кандидат технічних наук, доцент кафедри «ВТЭУ» (ORCID: 0000-0001-5495-7834). Казанський національний дослідницький технологічний університет, г. Казань, e-mail: alraykov@kstu.ru.

Бурмістров Олександр Васильович — доктор технічних наук, професор кафедри «ВТЭУ» (ORCID: 0000-0001-8612-540X). Казанський національний дослідницький технологічний університет, г. Казань, e-mail: burm@kstu.ru.

Салікеєв Сергій Іванович — кандидат технічних наук, доцент кафедри «ВТЭУ» (ORCID: 0000-0002-2007-4635). Казанський національний дослідницький технологічний університет, г. Казань, e-mail: salikeev_s@mail.ru.

ТЕМПЕРАТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАКУУМНИХ НАСОСІВ РУТС С МНОГОЛОПАСТНИМИ РОТОРАМИ

І.А. Малін, А. А. Райков, С. І. Салікеєв, А. В. Бурмістров

КЛЮЧОВІ СЛОВА

ДВУХРОТОРНИЙ ВАКУУМНИЙ НАСОС, ПРОФІЛЬ РОТОРІВ, БЕЗМАСЛЯНИЙ ВАКУУМ, ТЕМПЕРАТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ТЕМПЕРАТУРА НАГНІТАННЯ, CFD МОДЕЛЮВАННЯ

TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF ROOTS VACUUM PUMPS WITH MULTI-LOBED ROTORS

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

KEYWORDS

ROOTS VACUUM PUMP, ROTOR PROFILE, OIL-FREE VACUUM, TEMPERATURE CHARACTERISTICS, DISCHARGE TEMPERATURE, CFD MODELING

Розробка нових високоєфективних вакуумних насосів потребує обов'язкового попереднього математичного моделювання їх робочих процесів. В даній статті досліджуються температурні характеристики вакуумного насоса з роторами, якими є двох-, трьох- і чотирьохлопастні профілі. Для аналізу були виконані розрахунки методом CFD з використанням програмного комплексу ANSYS-CFX і технології динамічних сіток в пакеті TwinMesh.

Дослідження включало аналіз температур газу в різних точках насоса при заданих значеннях температури корпусу і ротора, а також наступне порівняння результатів моделювання з експериментальними даними. Результати показали

незначительные расхождения между данными моделирования и эксперимента, проведенного в режиме газодувки, что подтверждает высокую точность проведенного анализа.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Малин Илья Александрович (ORCID: 0009-0003-8294-4039) — аспирант кафедры «Вакуумная техника электрофизических установок». Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, e-mail: hoyki550@gmail.com.

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

Бурмистров Алексей Васильевич (ORCID: 0000-0001-8612-540X) — доктор технических наук, профессор кафедры «Вакуумная техника электрофизических установок». Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, e-mail: burm@kstu.ru.

Саликеев Сергей Иванович (ORCID: 0000-0002-2007-4635) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Вакуумная техника электрофизических установок». Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, e-mail: salikeev_s@mail.ru.

**ИЗУЧЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО
ПОВЕДЕНИЯ ТРУДНОЛЕТАЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В
ВАКУУМЕ МЕТОДОМ КНУДСЕНОВСКОЙ
ЭФФУЗИОННОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ**

Н.А. Грибченкова, А.С. Смирнов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

КНУДСЕНОВСКАЯ ЭФФУЗИОННАЯ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ,
ОКСИДЫ МЕТАЛЛОВ, ПАРООБРАЗОВАНИЕ, ПАРЦИАЛЬНОЕ
ДАВЛЕНИЕ, ЭНТАЛЬПИЯ

**STUDY OF THE HIGH-TEMPERATURE BEHAVIOR OF
NON-VOLATILE SUBSTANCES IN VACUUM BY THE
KNUDSEN EFFUSION MASS SPECTROMETRY**

N.A. Gribchenkova, A.S. Smirnov

KEYWORDS

KNUDSEN EFFUSION MASS SPECTROMETRY, METAL OXIDES,
VAPORIZATION, PARTIAL PRESSURE, ENTHALPY

Кнудсеновская эффузионная масс-спектрометрия (КЭМС) — мощный инструмент экспериментальной термодинамики, позволяющий изучать газофазные и гетерогенные равновесия в одно- и многокомпонентных системах в условиях высоких температур. КЭМС исследования систем труднолетучих оксидов металлов являются приоритетным направлением работы нашей группы. Стандартный набор данных, получаемых методом КЭМС, включает в себя качественный и количественный состав насыщенного пара, парциальные давления его компонентов, информацию о химических реакциях, сопровождающих парообразование, стандартные энтальпии этих реакций, термодинамические активности компонентов систем, стандартные энтальпии образования сложных

сполучень. Особливо ефективним при вивченні пароутворення неорганічних речовин є системний підхід, при якому індивідуальне сполучення розглядається в контексті системи елементів або простих сполучень, його утворюючих, з використанням представлень про фазові рівноваги і принципів геометричної термодинаміки. Оскільки КЭМС є динамічним методом, то в ході експерименту в результаті квазістатического процесу може змінюватися бруто і фазовий склад системи. При цьому, можливо моніторити фізико-хімічні параметри системи практично *in situ*, в відміння від інших методів термічного аналізу.

Робота виконана при фінансовій підтримці Міністерства науки Росії в межах державного завдання ІОНХ РАН.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Грибченкова Надежда Анатольевна – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник (ORCID: 0000-0003-2334-7915). Інститут загальної і неорганічної хімії ім. Н.С. Курнакова РАН, м. Москва. e-mail: gribchenkova@igic.ras.ru

Смирнов Андрей Сергеевич – молодший науковий співробітник (ORCID: 0009-0008-9594-937X). Інститут загальної і неорганічної хімії ім. Н.С. Курнакова РАН, м. Москва. e-mail: smirnovas@igic.ras.ru

СИСТЕМА IN-IN₂O₃ КАК НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ИСТОЧНИК ГАЗООБРАЗНОГО ОКСИДА ИНДИЯ ДЛЯ МОЛЕКУЛЯРНО-ЛУЧЕВОЙ ЭПИТАКСИИ ПО ДАННЫМ КНУДСЕНОВСКОЙ ЭФФУЗИОННОЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

А.С. Смирнов, Н.А. Грибченкова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

КНУДСЕНОВСКАЯ ЭФФУЗИОННАЯ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ, ПРОЦЕССЫ ПАРООБРАЗОВАНИЯ, ПАРЦИАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ, СИСТЕМА In-In₂O₃

THE In-In₂O₃ SYSTEM AS A LOW-TEMPERATURE SOURCE OF GASEOUS INDIUM OXIDE FOR MOLECULAR-BEAM EPITAXY BY KNUDSEN EFFUSION MASS SPECTROMETRY

A.S. Smirnov, N.A. Gribchenkova

KEYWORDS

KNUDSEN EFFUSION MASS SPECTROMETRY, VAPORIZATION PROCESS, PARTIAL PRESSURE, In-In₂O₃ SYSTEM

Тонкопленочные материалы на основе оксидов нашли применение в технике благодаря широкому спектру полезных свойств. Одним из способов получения высококачественных оксидных материалов в виде тонких пленок является молекулярно-лучевая эпитаксия. Традиционный подход использования оксида металла в качестве источника молекулярного пучка может быть неприменим по причине инконгруэнтного характера сублимации оксида или осложнен высокой температурой парообразования. Использование в качестве молекулярного источника гетерогенной смеси металла с его высшим оксидом перспективно для получения

газової фази постійного складу з переобладнанням в неї субоксиду металу при суттєво нижчих температурах.

В даній роботі методом Кнудсенівської еффузійної мас-спектрометрії досліджені процеси пароутворення в системі $\text{In-In}_2\text{O}_3$. Визначені якісний і кількісний склад газової фази, загальне і парціальні тиски компонентів насиченого пари і їх температурні залежності. Розраховані стандартні ентальпії гетерогенних і газозначних реакцій і утворення газозначного In_2O . Встановлено, що в гетерогенній області системи $[\text{In}(l) + \text{In}_2\text{O}_3(s)]$ брутто склад гетероазетропу при 1060К рівен 32.7 ат. % О, при хімічному складі насиченого пари 97% $\text{In}_2\text{O}(г)$.

Робота виконана при фінансовій підтримці Російського наукового фонду, проєкт № 21-13-00086.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Смирнов Андрей Сергеевич – младший научный сотрудник (ORCID: 0009-0008-9594-937X). Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, г. Москва.
e-mail: smirnovas@igic.ras.ru

Грибченкова Надежда Анатольевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник (ORCID: 0000-0003-2334-7915). Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, г. Москва. e-mail: gribchenkova@igic.ras.ru

ИНВЕРСНО-МАГНЕТРОННЫЙ ВАКУУММЕТР SENSOR ONE

И.Ф. Ханбеков

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУММЕТР, ВЫСОКОВАКУУМНЫЙ, ДАТЧИК, ФЛАНЦЫ

INVERSE MAGNETRON VACUUM GAUGE SENSOR ONE

I.F. Khanbekov

KEYWORDS

VACUUM GAUGE, HIGH VACUUM, SENSOR, FLANGES

Вакуумметр Sensor One представляет собой инверсно-магнетронный преобразователь и контроллер, объединенные в один компактный прибор. Вакуумметр измеряет давление косвенно, как функция тока, протекающего в таунсендовском разряде в измерительной трубке.

В докладе подробно рассматриваются принципы работы этого устройства, включая его конструктивные особенности и рабочие параметры, описаны основные преимущества вакуумметра, такие как высокая чувствительность и широкий диапазон измерений. Также акцентируется внимание на области применения устройства, включая научные исследования, промышленность и технологические процессы, требующие точного контроля вакуума.

Вакуумметры выпускаются в нескольких исполнениях с фланцами CF40, KF40, KF25 и клин-канавка.

Диапазон измерения вакуумметра от $1 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-9}$ Торр (относительная погрешность $\pm 15\%$).

Магнитная индукция в центре зазора магнитной системы (катода) 120 мТл.

Номинальное напряжение питания вакуумметра Sensor One составляет 15 В постоянного тока.

Вывод значений давления происходит на графический дисплей или через интерфейс RS-485, при этом вакуумметр поддерживает работу по протоколу Modbus RTU.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ханбеков Иван Фэритович – кандидат технических наук, доцент кафедры вакуумной и компрессорной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана, генеральный конструктор ООО “НПО Вакуумные технологии”

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ВАКУУМНЫЙ ТРАНСПОРТ

Д.А. Калинин, С.Б. Нестеров

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМНЫЙ ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ, УДЕЛЬНАЯ
МОЩНОСТЬ, МОДЕЛИРОВАНИЕ

HIGH SPEED VACUUM TRANSPORT

D.A. Kalinkin, S.B. Nesterov

KEYWORDS

VACUUM TUBE TRANSPORT, SPECIFIC POWER, SIMULATION

Проведение проектных и испытательных работ по высокоскоростному транспорту стало в последнее время визитной карточкой высокотехнологичных отраслей и отдельных компаний, а так же демонстратором их достижений.

Представлены результаты исследований и испытаний полноразмерных макетов и моделей таких систем (Китай, Корея, США, Россия, ...).

Основными конкурентными параметрами пассажирского транспорта являются: количество пассажиров, перевозимых за единицу времени (пассажиропоток), время или допустимые ускорения и скорость перевозки, минимальное расстояние перевозки, энергоэффективность перевозки пассажиров.

Проведение испытаний требует создания дорогостоящих комплексных стендов для отработки применяемых технических решений. Такие параметры высокоскоростного транспорта, как максимальная скорость, габариты транспортной капсулы, диаметр магистрального вакуумного трубопровода, мощности, потребляемые на разгон транспортной капсулы и обеспечение вакуума в транспортном трубопроводе, определяют размеры и конфигурацию стендов.

На основе разработанных моделей рассматривается количественная оценка влияния основных конкурентных параметров на габариты модельного стенда и обрабатываемые технологии, проводится сравнение потребностей в энергетике с существующим транспортом.

Работа была выполнена в рамках инициативной НИР.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Калинкин Дмитрий Анатольевич – кандидат технических наук, доцент (ORCID: 0009-0002-8021-9661). Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва.

e-mail: dakalinkin@yandex.ru

Нестеров Сергей Борисович – доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0002-7457-4213). Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,

г. Москва. e-mail: sbn1108@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ГОТОВНОСТИ ТЕРМОВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ К ПРОВЕДЕНИЮ ТЕПЛОВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЙ

А.Ю. Кочетков

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМНАЯ КАМЕРА, НАДЁЖНОСТЬ, ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

DETERMINATION OF THE DEGREE OF READINESS OF THE THERMAL VACUUM CHAMBER FOR CONDUCTING THERMAL VACUUM TESTS

A.IU. Kochetkov

KEYWORDS

VACCUM CHEMAER, RELIABILITY, OPERATIONAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS

Обычно, термовакуумная камера, предназначенная для тепловакуумных испытаний космических аппаратов, имеет индивидуальный проект, поэтому при её проектировании конструкторская и эксплуатационная документация выпускается не в полном объёме, а эксплуатационно-техническая документация не выпускается вовсе.

На практике, эксплуатация термовакуумной камеры и всех входящих в её состав основных и вспомогательных систем сводится к проведению планового и внепланового технического обслуживания, а в случае выхода из строя важного агрегата или системы, например вакуумного насоса, к его замене или восстановлению в авральном режиме. Проблемы, при этом, решаются по мере их поступления без прогнозирования отказов.

Термовакuumная камера должна быть готова к работе в строго определённых момент времени, который определяется графиком изготовления космического аппарата. Поскольку термовакuumная камера сложный технический объект, степень её готовности складывается из степеней готовности отдельных систем.

Наиболее близкой по эксплуатации к термовакuumной камере является эксплуатация воздушного судна, которая подразделяется на воздушную эксплуатацию (полёт) и наземную эксплуатацию (техническое обслуживание и ремонт). Здесь допустимо проведение прямых параллелей, так как проведение тепловакuumных испытаний это своего рода «полёт», а подготовка к испытаниям и послеиспытательный период является полным аналогом технического обслуживания и ремонта воздушных судов.

Для оценки готовности термовакuumной камеры подойдёт решение в виде создания цифрового эксплуатационного двойника, в котором используется подход эксплуатации воздушного судна.

Для обеспечения готовности к проведению тепловакuumных испытаний в термовакuumно камере необходимо создать её цифровой двойник - аналог комплекта эксплуатационно-технической документации, то есть создать систему технического обслуживания и ремонта по типу системы обслуживания воздушных судов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кочетков Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, АО «НПО Лавочкина», г. Химки, Московской области. e-mail: KochetkovAIU@laspase.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНОГО НАСОСА К ЗАДАЧАМ ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ

В.В. Косьянчук

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

РАЗРЕЖЕННЫЙ ГАЗ, ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНЫЙ НАСОС,
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАЗДЕЛЕНИЕ ГАЗОВЫХ
СМЕСЕЙ

APPLICATION OF TURBOMOLECULAR PUMP TO GAS SEPARATION PROBLEMS

V.V. Kosyanchuk

KEYWORDS

RAREFIED GAS, TURBOMOLECULAR PUMP, NUMERICAL
SIMULATIONS, GAS MIXTURE SEPARATION

Турбомолекулярні насоси (ТБН) активно використовуються для створення високого і сверхвисокого вакуума. При цьому відомо, що ефективність насоса сильно залежить від молекулярної маси робочого газу. Попередні роботи автора показують, що при течії суміші газів в подібних пристроях може спостерігатися ефект розділення суміші на компоненти. В даній роботі з використанням методу прямо статистичного моделювання Монте Карло досліджено течію бінарної суміші газів в турбомолекулярному насосі в плоскій постановці.

Численне моделювання показало, що робота пристрою приводить до ефективного розділення, але тільки тоді, коли турбіни ТБН працюють в так званому протиточному режимі, т.е. качають газ проти зовнішнього перепаду тиску. Параметричне дослідження показало, що всі параметри роботи пристрою – частота обертання турбін, нахил і довжина лопаток, кількість ступенів в апараті, режим розрідження – однаково впливають на

производительность: их увеличение приводит к росту коэффициента разделения и уменьшению расхода газа (и наоборот). Показано, что эффект разделения наблюдается даже при конечных числах Кнудсена в устройстве и малых скоростях вращения роторов, что не характерно для классических ТБН.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант № 23-71-10057).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Косьянчук Василий Викторович – кандидат физико-математических наук, (ORCID: 0000-0002-6990-0221). Научно-исследовательский институт механики МГУ, г. Москва.
e-mail: vasiliy_ksnk@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ РАЗРЕЖЕННОГО ГАЗА В ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНОМ НАСОСЕ И ДРУГИХ УСТРОЙСТВАХ С БЫСТРОВРАЩАЮЩИМИСЯ ПОВЕРХНОСТЯМИ

А.Н. Якунчиков

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНЫЙ НАСОС, РАЗРЕЖЕННЫЙ ГАЗ,
ВРАЩАЮЩИЕСЯ ГРАНИЦЫ

SIMULATION OF RARIED GAS FLOW IN A TURBOMOLECULAR PUMP AND OTHER DEVICES WITH FAST-ROTATING SURFACES

A.N. Yakunchikov

KEYWORDS

TURBOMOLECULAR PUMP, RAREFIED GAS, ROTATING
BOUNDARIES

В работе развит подход событийного молекулярно-динамического моделирования (EDMD) применительно к одной из наиболее востребованных задач вакуумной техники – моделирования течения смеси газов в тракте турбомолекулярного насоса (ТМН) в трехмерной постановке. Эта задача представляет серьезный вызов существующим теоретическим методам динамики разреженного газа, а именно: (1) широкий диапазон числа Кнудсена в расчетной области, (2) необходимость учета вращательных степеней свободы в молекулах газа и (3) быстровращающиеся границы расчетной области (лопатки ротора). Геометрия насоса (размер, период и наклон лопаток ротора и статора, количество ступеней) и скорости ротора варьировались, получены зависимости целевых характеристик от этих параметров. Рассмотрено несколько вариантов постановок

упрощенных задач, которые позволяют существенно снизить количество необходимых расчетов.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова, вычислительных ресурсов МСЦ РАН и инфраструктуры Центра коллективного пользования «Высокопроизводительные вычисления и большие данные» (ЦКП «Информатика») ФИЦ ИУ РАН. Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 23-71-10057.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Якунчиков Артём Николаевич – кандидат физико-математических наук, доцент (ORCID: 0000-0002-8478-7781). Механико-математический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва. e-mail: art-ya@mail.ru

ВАКУУМНЫЙ ИМИТАТОР СОЛНЦА НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДОВ

А.А. Филатов, А.А. Кишалов, П.С. Смирнов, А.А. Моисеев,
С.Б. Нестеров

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ТЕПЛОВАКУУМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ, ИМИТАТОР СОЛНЕЧНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ

LED BASED SOLAR SIMULATOR FOR VACUUM CONDITIONS

A.A. Filatov, A.A. Kishalov, P. G. Smirnov, A. A. Moisee,
S. B. Nesterov

KEY WORDS

THERMAL VACUUM TEST FACILITY, SOLAR SIMULATOR

В докладе продемонстрирована возможность создания имитатора солнечного излучения на базе светодиодов для использования внутри вакуумной камеры при проведении термовакуумных испытаний космических аппаратов. Приведены результаты измерений энергетической освещенности, ее неравномерности, спектра излучения и угла коллимации для предложенного имитатора. Проведен сравнительный анализ имитаторов нового типа на базе светодиодов с классическим имитатором на основе короткодуговых ламп. Рассмотрены вопросы точности имитации солнечного излучения для разных типов имитаторов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А.А. Филатов ООО «НПО Гелиосфера», Санкт-Петербург E-mail:
filatov@geliosfera.com

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

А.А. Кишалов ООО «НПО Гелиосфера», Санкт-Петербург, П.С.
Смирнов ООО «НПО Гелиосфера», Санкт-Петербург, А.А. Моисеев
ООО «НПО Гелиосфера», Санкт-Петербург
С.Б. Нестеров Российское Вакуумное Общество

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАПУСКА ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ: КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ НАСОСОВ

Мьо Чжо Хлаинг, Вей Мо Линн, Л. Л. Колесник

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

УЛЬТРАВЫСОКАЯ ВАКУУМНАЯ СИСТЕМА, НАСОС

OPTIMIZING VACUUM SYSTEM START-UP: KEY ASPECTS OF EFFICIENT PUMP OPERATION

Myo Kyaw Hlaing, L.L. Kolesnik

KEYWORDS

ULTRA HIGH VACUUM SYSTEM, PUMP

Достижение высокого и сверхвысокого вакуума требует тщательного контроля компонентов системы и соблюдения точной последовательности действий. Ниже описаны основные этапы запуска вакуумной системы, включающие подготовку, выпечку, запуск насоса и эксплуатационный мониторинг.

Перед началом работы необходимо проверить целостность всех компонентов, включая вакуумную камеру, насосы и сопутствующее оборудование. Визуальный осмотр должен выявить отсутствие каких-либо заметных повреждений, утечек или надежных соединений. Система должна быть собрана в соответствии со спецификациями производителя, чтобы снизить риск утечек и обеспечить стабильную работу.

Прогрев — это ключевой этап удаления остаточных газов и загрязнений с поверхностей системы. Этот процесс повышает качество вакуума за счет снижения выбросов газа. Температура нагрева: 100–250 °С и время: 8–24 часа (в зависимости от размера системы и материалов).

После прогрева системе дают остыть, чтобы избежать термического напряжения. Продолжительность охлаждения может составлять от нескольких часов до суток. После охлаждения до комнатной температуры запускать работу режущего насоса, чтобы создать предварительный вакуум. Этот шаг необходим для снижения давления до уровня, способствующего эффективному функционированию турбомолекулярного насоса (ТМН).

Затем запустите работу ТМР. Этот насос специально разработан для работы с газами низкой плотности и достижения высокого уровня вакуума. Ионный насос активируется только после того, как ТМР достигнет необходимого вакуума. На протяжении всего процесса запуска непрерывный мониторинг работы насоса имеет первостепенное значение.

Для обеспечения долгосрочной надежности и производительности системы необходимо регулярное техническое обслуживание. Строго придерживайтесь рекомендаций производителя по интервалам и процедурам технического обслуживания.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Л.Л. Колесник – кандидат технических наук, доцент (ORCID: 0009-0007-1853-0850). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: kolesnik@bmstu.ru

Мью Чжо Хлаинг – кандидат технических наук, докторант (ORCID: 0009-0007-1853-0850). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва e-mail: myokyawhlaing51@gmail.com

Вей Мо Линн – магистрант (ORCID: 0009-0007-1853-0850). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва e-mail: wmlin.mec@gmail.com

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

Секция 2
КРИОГЕННАЯ ТЕХНИКА И
ТЕХНОЛОГИИ

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

РОТОРНЫЙ ВОЛНОВОЙ КРИОГЕНЕРАТОР КАК КОММЕРЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫЙ АНАЛОГ ТУРБОДЕТАНДЕРА

А.С. Малахов, И.А. Архаров, В.Ю. Семенов, С.Б. Малахов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВОЛНОВОЙ ДЕТАНДЕР, РВКГ, РОТОРНЫЙ ВОЛНОВОЙ
КРИОГЕНЕРАТОР, ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, АНАЛОГ
ТУРБОДЕТАНДЕРА

ROTARY WAVE CRYOGENERATOR AS A COMMERCIALY EFFICIENT ANALOGUE OF A TURBO EXPANDER

A.S. Malakhov, I.A. Arkharov, V.Y. Semenov, S.B. Malakhov

KEYWORDS

WAVE EXPANDER, RWCG, ROTARY WAVE
CRYOGENERATOR, NATURAL GAS, ANALOGUE OF A
TURBO EXPANDER

Рынок СПГ в России сегодня находится на начальной стадии и сдерживается неразвитостью производственно-потребительской инфраструктуры. Сдерживает развитие направления малотоннажного СПГ ряд факторов, в первую очередь, высокие капитальные затраты на строительство инфраструктуры СПГ и высокие удельные энергозатраты при его производстве. Поэтому на данном этапе целесообразно производить СПГ на малотоннажных установках, размещаемых на АГНКС и ГРС, отличающихся низкими начальными капитальными вложениями и простотой эксплуатации, что позволяет гибко регулировать производительность установки и подстраивать ее к динамике потребления. В этой ситуации наиболее эффективным способом производства СПГ является производство СПГ на ГРС по циклу среднего давления с использованием турбодетандера

фактично без енергетических затрат і реалізуемого за рахунок енергії існуючого перепаду тиску.

Одним из аналогов классического турбодетандера является роторный волновой криогенератор (РВКГ). Процесс генерации холода в нем осуществляется за счет циклического расширения потока рабочего тела (активного газа) с совершением работы, передаваемой на сжатие другого рабочего тела (пассивного газа). РВКГ по функциональному назначению подобен детандерно-компрессорному агрегату, однако в отличие от последнего в нем отсутствует промежуточное преобразование энергии в механическую работу. Расширяемая (активная) среда непосредственно воздействует на пассивную, осуществляя ее сжатие посредством ударных волн. Важнейшей характерной особенностью РВКГ, вытекающей из физической природы энергообмена между активным и пассивным газом, является возможность сжатия пассивного потока до давления активного.

Експериментальним шляхом отримані значення КПД 55-60% в стандартному режимі і в результаті організації високонапорної продувки отримані значення КПД 72-86% при степенях розширення от 1.6 до 2.5 для природного газу в криогенній області температур.

Робота була виконана в рамках підготовки Дисертації на соискание учёной степени кандидата технических наук Малахова А.С.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Иван Алексеевич Архаров доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0002-1624-171X). МГТУ им. Н.Э. Баумана г. Москва, академик международной академии холода Ivan Alekseevich Arkharov SPIN-код: 9674-4585, AuthorID: 262941

Семенов Виктор Юрьевич доктор технических наук, профессор (ORCID: 0009-0005-7832-531X). МГТУ им. Н.Э. Баумана г. Москва SPIN-код: 2475-2537, AuthorID: 797917

Малахов Сергей Борисович кандидат технических наук (ORCID 0009-0007-3603-7824), МГТУ им. Н.Э. Баумана г. Москва

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

Малахов Андрей Сергеевич соискатель к.т.н (оконченная
магистратура-магистр) (ORCID: 0009-0002-3155-704X). МГТУ им.
Н.Э. Баумана г. Москва malakhov_andrey_s@mail.ru Malakhov Andrey
Sergeevich

ПРИМЕНЕНИЕ КВАЗИПОРИСТЫХ СТРУКТУР В УСТАНОВКАХ ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЯ

И.А. Архаров, А.И. Миронов, А.Д. Малинникова,
С.Д. Кулебякин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

РАЗДЕЛЕНИЕ, РЕКТИФИКАЦИЯ, МОДЕЛЬНАЯ СМЕСЬ,
ГИРОИД, ТЕПЛОМАССОБМЕН, АДДИТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

APPLICATION OF QUASI-POROUS STRUCTURES IN GAS SEPARATION PLANTS

I.A. Arkharov, A.I. Mironov, A.D. Malinnikova, S.D. Kulebyakin

KEYWORDS

SEPARATION, RECTIFICATION, MODEL MIXTURE, GYROID,
HEAT AND MASS TRANSFER, ADDITIVE TECHNOLOGY

Применение аддитивных технологий при создании контактных поверхностей, используемых в теплообмене и тепломассообмене, позволяет изготавливать эти структуры любой сложности и формы. Это открывает новые возможности для модификации насадок, применяемых в процессах газоразделения и очистки. Становится возможным генерировать новые, более сложные формы, которые могут продемонстрировать лучшие характеристики при разделении смесей.

При исследовании контактных устройств необходимо учитывать, что согласно теореме Пуассона, поверхность раздела фаз достигает своего минимального значения в условиях термодинамического равновесия. Из этого следует, что для повышения эффективности массопереноса следует стремиться к минимизации размеров насадочных устройств и ставится задача синтезировать регулярную насадку на базе минимальной

поверхності. Гіроїд - мінімальна трижды-періодическа поверхність, котра представляється вельма перспективною для реалізації процесів масопереносу і совершенствовання контактних пристроїв. Це обумовлено великою удільною площею поверхності, відсуттєвстю сухих і тупикових зон при протєканні, а також низьким гідравлічним опротивленням. Насадочну структуру на базі гіроїда можна виготовити тільки з допомогою аддитивних технологій.

В ході проведеного дослідження була розроблена методологія виготовлення насадочної структури на основі гіроїда для процесів ректифікації. Виготовлення вироблялось із різних марок пластику і алюмінію, після чого був проведений аналіз якості отриманої поверхності, а також експериментальні дослідження по роздєленню модельних сумісей. Геометричєскі характеристики розробленої насадки сопоставимы з насадками, примєняємыми для роздєлення повітря, поєтому в якості модельної суміси для випробувань була вибрана водно-спиртова сумісь. В результаті численного дослідження і сопоставлення з експериментальними даними в ході роботи було встановлено, що розроблена насадка на основі гіроїдної структури демонструє найкращі показателі роздєлення. Унікальна форма гіроїда забезпечує зниження висоти одиниці переносу по сравненню з існуючими регулярними насадочними структурами.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Архаров Иван Алексеевич — доктор технических наук, профессор. Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва. email: 20772@mail.ru

Мионов Алексей Игоревич – аспирант. Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва. email: miraleksmgtu@yandex.ru

Малинникова Анна Дмитриевна – студент магистрант. Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва. email: annmalinka@gmail.com

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

Кулебякин Савелий Дмитриевич – аспирант. Московский
государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г.
Москва. email: sdk1998@mail.ru

ОБЩЕЕ КРИОВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЧЕЛОВЕКА: ВЗГЛЯД ИНЖЕНЕРА

А.В. Шакуров

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

КРИОВОЗДЕЙСТВИЕ, ЧЕЛОВЕК, КРИОСТИМУЛЯЦИЯ

WHOLE BODY CRYOTHERAPY: ENGINEER'S VIEW

A.V. Shakurov

KEYWORDS

CRYOTHERAPY, HUMAN, CRYOSTIMULATION

Общее газовое криовоздействие – это интенсивное охлаждение большей части поверхности тела человека длительностью от 3 минут с целью достижения ответной реакции (усовершенствованное «закаливание организма»). Сегодня это преимущественно эмпирический физиотерапевтический метод, который применяется: для оздоровления, как элемент здорового образа жизни, для восстановления, повышения иммунитета, улучшения самочувствия, бодрости («закаливание организма»); в спортивной медицине – после травм, для повышения тонуса опорно-двигательного аппарата, для повышения качества сна после нагрузок; в физиотерапии – в комплексном лечении посттравматического стрессового расстройства, депрессии, тревожности и зависимостей, ревматоидного артрита, болей и дерматологических заболеваний. В докладе дана краткая характеристика применения криометодов в медицине, их технического обеспечения с акцентом к общему криовоздействию. Дано описание концепции развития данной технологии.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Шакуров Алексей Валерьевич – доктор технических наук, доцент
(ORCID: 0000-0001-6110-8101). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва.
e-mail: shakurov@bmstu.ru

ГЛУБОКИЙ ХОЛОД И ИННОВАЦИИ. ТРУБОПРОВОДЫ И КЛАПАНЫ С ЭКРАННО-ВАКУУМНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

А.А. Рыбалко

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ИННОВАЦИИ. КРИОГЕННАЯ АРМАТУРА, ЭКРАННО-ВАКУУМНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ, КРИОГЕННЫЙ ТРУБОПРОВОД

A DEEP COLD AND INNOVATIONS: PIPELINES AND VALVES OF VACUUM INSULATED.

A.A. Rybalko

KEYWORDS

INNOVATIONS, CRYOGENIC EQUIPMENT

В современном мире, где энергетическая эффективность и экологическая безопасность играют ключевую роль, криогенные технологии занимают особое место. Одним из наиболее эффективных решений для транспортировки и хранения сжиженных криогенных газов являются трубопроводы и клапаны с экранно-вакуумной изоляцией (ЭВИ). Эти системы обеспечивают минимальные потери энергии, высокую надежность и долговечность, что делает их незаменимыми в различных отраслях промышленности.

Трубопроводы и клапаны с экранно-вакуумной изоляцией (ЭВИ) представляют собой передовое решение для транспортировки и хранения криогенных газов. Преимущества в энергоэффективности, долговечности и адаптивности делают их неотъемлемой частью современных технологий. Правильный выбор материалов и технологий для проектирования этих систем способен существенно повысить эффективность любых производств и снизить затраты на транспортировку.

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Рыбалко Алексей Андреевич – руководитель отдела продаж ООО
«Мониторинг Вентиль и Фитинг», г. Москва e-mail: rybalko@mvif.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КСЕНОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ И ДАВЛЕНИЯ

Ч. Лю, М.Ю. Куприянов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВЗАИМОСВЯЗЬ ДАВЛЕНИЯ И КОНЦЕНТРАЦИИ, МОДЕЛЬ
ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО ЗАТУХАНИЯ, ПРОЦЕСС
РЕКТИФИКАЦИИ

INVESTIGATION ON THE DYNAMICS OF IMPURITY CONCENTRATION CHANGES IN XENON PRODUCTION AS A FUNCTION OF TIME AND PRESSURE

Z. Liu, M. Y. Kupriyanov

KEYWORDS

PRESSURE-CONCENTRATION RELATIONSHIP, EXPONENTIAL
DECAY MODEL, DISTILLATION PROCESS

Ксеноновая колонна является ключевым оборудованием для производства высокочистого ксенона (чистота $\geq 99.9999\%$, примеси < 1 ppm). Исследование направлено на анализ динамической взаимосвязи между давлением и концентрацией примесей с целью построения прогнозных моделей для оптимизации параметров работы ректификационной колонны и повышения эффективности разделения.

В данном исследовании проводился постоянный мониторинг давления в колонне и сбор данных о концентрации примесей в кубе колонны с помощью хроматографа. Для устранения проблемы прерывистости данных были отобраны временные интервалы длительностью 20 часов с более тремя измерениями концентрации.

На основі відфільтрованих даних розроблена сегментована модель аналізу:

Динамічний режим тиску: існує значуща поліноміальна лінійна залежність між коливаннями концентрації (ΔC) і абсолютним значенням швидкості зміни тиску ($|\Delta P/\Delta t$);

Стабільний режим тиску: шляхом використання трьох послідовних вимірювань концентрації в період стабільного тиску була побудована модель експоненціального затухання.

$$C(t) = C(0) \cdot e^{-k(P) \cdot t}$$

Після визначення коефіцієнтів $C(0)$ і $k(P)$ стаціонарної моделі на основі експериментальних даних, ця модель може бути використана для прогнозування часу досягнення цільової концентрації домішок в ректифікаційній колоні і ступеня чистоти продукту в очікуваному часовому інтервалі стабільної роботи колонни.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лю Чжансинь – аспірант (ORCID: 0009-0004-5524-8537).

Московський державний технічний університет імені Н.Е. Баумана, г. Москва, e-mail: lyuch@student.bmstu.ru

Купріянов Максим Юрьевич - кандидат технічних наук (ORCID: 0000-0003-2180-1221). Московський державний технічний університет імені Н.Е. Баумана, г. Москва, e-mail: kupriyanov.m@bmstu.ru

ПРОЕКТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПО ПОЛУЧЕНИЮ КРИОГЕННЫХ МИШЕНЕЙ ИЗ КСЕНОНА И КРИПТОНА

М.В. Мурашкин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

МОНОДИСПЕРСНЫЕ ЧАСТИЦЫ, КРИОГЕННАЯ ТЕХНИКА, КСЕНОН, КРИПТОН, КРИОГЕННЫЕ МИШЕНИ

EXPERIMENTAL INSTALLATION PROJECT FOR THE PRODUCTION OF CRYOGENIC TARGETS FROM XENON AND KRYPTON

M. Murashkin

KEYWORDS

CRYOGENICS TARGETS, XENON, KRYPTON, MONODISPERS PARTICLES

В связи с активным развитием полупроводниковой промышленности появилось потребность в увеличении плотности насыщения микросхем полупроводниковыми элементами. В настоящее время в литографическом процессе используются источники излучения с длиной волны $\lambda=0,248$ мкм.

Одним из способов решения этой проблемы является использование для засветки фотошаблона жёсткого ультрафиолета – EUV (Extreme ultraviolet) с длиной волны $\lambda \approx 8-13$ нм. Это означает, что при тех же размерах микросхемы можно в 20 раз увеличить плотность её насыщения полупроводниковыми элементами. Источником стабильного EUV излучения может служить плазма, получаемая в результате взаимодействия мощного лазера (0,1-1 ТВт, 1000 нм, 100 Гц) с твёрдыми криогенными мишенями из инертных газов (криптона или ксенона). Такие мишени обладают большим коэффициентом выхода EUV излучения и не загрязняют оптику.

Для исследования проблем создания подобных мишеней разработан проект экспериментальной установки. Установка состоит из следующих частей: вакуумной камеры, системы очистки и подачи газа, криогенной системы, системы генерации монодисперсных частиц, вакуумной системы, системы метрологии.

Инертный газ ксенон или криптон, предварительно сжижается при помощи криогенной системы и под давлением поступает в систему генерации монодисперсных капель. На выходе из системы генерации образуется тонкая капиллярная струя, на которую накладывается внешнее возмущение струя разбивается на одинаковые монодисперсные капли. Пролетая затем ряд дополнительных вакуумных камер капли за счёт испарения становятся твёрдыми и поступают в камеру взаимодействия с лазерным излучением. С помощью вакуумной системы в вакуумных камерах можно изменять давление от атмосферного давления до давления тройной точки.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

М.В. Мурашкин – аспирант НИУ «МЭИ», генеральный директор ООО «ВЛС-Инжиниринг» (mm@vls-i.ru), А.В. Бухаров – д.т.н., проф. НИУ «МЭИ»

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ТАРЕЛЬЧАТОГО КОНТАКТНОГО УСТРОЙСТВА СИТЧАТОГО ТИПА

Е.И.Юдин, Е.С. Навасардян

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

РЕКТИФИКАЦИЯ, ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ,
СИТЧАТАЯ ТАРЕЛКА, ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ

HYDRODYNAMIC CALCULATION OF A POPPET CONTACT DEVICE OF A MESH TYPE

E.I. Yudin, E.S. Navasardyan

KEYWORDS

RECTIFICATION, AIR SEPARATION PLANTS, SIEVE PLATE,
HYDRODYNAMIC CALCULATION

Процесс ректификации находит широкое применение во многих отраслях химической, пищевой и нефтеперерабатывающей промышленности. Для его проведения применяют колонные аппараты, которые отличаются друг от друга способом контакта фаз и видом контактных устройств.

В отечественной и зарубежной литературе описание методик по расчёту ректификационных колонн воздухоразделительных установок сводится к составлению материальных балансов колонн, определению числа теоретических тарелок, но практически нет информации о методиках расчета геометрических размеров различных типов контактных устройств, в том числе и тарельчатых для конкретных прикладных задач.

В данной работе приводится методика расчёта, которая позволяет определять такие параметры как диаметр колонны, скорость пара в колонне, конфигурация и геометрические размеры отверстий в тарельчатом контактном устройстве, гидравлическое сопротивление конкретной тарелки и всей колонны в целом, а также

відстань між тарелками, що дозволить визначити висоту контактної пристрою.

В результаті ознайомлення з основними джерелами приймається, що подальший розрахунок контактної пристрою тарельчатого типу буде проводитися з використанням джерел [1], [2], які доповнюють одне одного. При цьому для розрахунку необхідно задати конструкцію тарелки, яка представлена в джерелі [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Епифанова, В.И. Разделение воздуха методом глубокого охлаждения. Технология и оборудование. В 2 т. Т.1 / В.И. Епифанова, Л.С. Аксельрод – 2-е изд. перераб и доп. – Москва: Машиностроение, 1971. -468 с.
2. ОСТ 26-01-1488-83. Аппараты колонные тарельчатые. Метод технологического и гидродинамического расчёта. Министерство химического и нефтяного машиностроения.
3. ОСТ 26-01-108-85. Тарелки ситчато-клапанные колонных аппаратов. Параметры, конструкция и размеры.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Юдин Егор Иванович – инженер-конструктор 3 категории (ORCID: 0009-0007-9830-5943). АО «Криогенмаш», Московская обл., г.

Балашиха e-mail: yudin.egor.00@mail.ru /e.iudin@omzglobal.com

Навасардян Екатерина Сергеевна – доктор технических наук, доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва e-mail: navasard@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ИНЖЕКЦИИ В ЦИКЛАХ СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

М.А. Тиховидов, Е.С. Навасардян

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

КОЭФФИЦИЕНТ ИНЖЕКЦИИ, ЭЖЕКТОР, СЖИЖЕНИЕ
ПРИРОДНОГО ГАЗА

FEATURES OF INJECTION COEFFICIENT CALCULATION IN NATURAL GAS LIQUEFACTION CYCLES

M.A. Tikhovidov, E.S. Navasardyan

KEYWORDS

INJECTION RATIO, EJECTOR, LIQUEFIED NATURAL GAS

В 60-х годах прошлого века были созданы расчетные методики, позволяющие связать геометрические размеры проточной части газовых и парогазовых эжекторов (рабочая среда водяной пар). Описание этих методик приведено в работах Соколова Е.Я., Зингера Н.М., Цегельского В.Г., Ю.Н. Васильева. Эти методики и сегодня являются основными для расчета геометрических размеров, КПД, соотношения расходов активного и пассивного потоков в эжекторах, работающих на чистых веществах таких как метан, азот, водород, водяной пар, смесевых веществах таких как воздух, фреон, жидких веществах таких как вода и бензин.

Развитие газодобывающей отрасли и особенно внедрение технологий малотоннажного сжижения магистрального природного газа ставят задачи по проектированию эжекторов высокого давления, активным потоком в которых является не чистое вещество в газовой фазе, а многокомпонентный, зачастую парожидкостной поток. Такие

эжекторы, установленные вместо дроссельных вентилей в циклы ожижительных систем, позволяют повысить эффективность ожижителей на 5% - 10%, только за счет организации циркуляции паров природного газа. Спрос на такие эжекторы неуклонно растет, их конструкция относительно проста, а изготовление не предполагает трудностей. Однако, основная сложность при разработке таких эжекторов связана с расчетом геометрических размеров камеры смешения с учетом особенностей рабочей среды. Магистральный природный газ является смесью углеводородов и его примерный состав в установках ожижения на входе в эжектор: метан 92-98 %, этан 0,5–4 %, пропан 0,2-1,5 %, бутан 0,1-1 % и пентан 0,1-1 %. Основные из нерешенных задач, препятствующие проектированию эжекторов для установок ожижения природного газа связаны с отсутствием адаптированных для природного газа методик расчета проточной камеры эжектора, отсутствие в этих методиках расчетных соотношений, учитывающих фазовый переход потоков в камере смешения и выполнение расчета геометрических размеров камеры смешения эжектора с помощью эмпирических коэффициентов.

В ходе работы были рассмотрены особенности расчета и применения струйных аппаратов в циклах для малотоннажного сжижения природного газа. Проведены расчет эжектора по традиционной методике, а также с помощью программных расчетных приложений и сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Тиховидов Михаил Александрович – аспирант. Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва. email: mihail.tihovidov@yandex.ru

Навасардян Екатерина Сергеевна — доктор технических наук, профессор кафедры Э4. Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва. email: navasard@mail.ru

ОПИСАНИЕ КРИОГЕННОЙ АДСОРБЦИИ НА АКТИВНЫХ УГЛЯХ ТЕОРИЕЙ ОБЪЁМНОГО ЗАПОЛНЕНИЯ МИКРОПОР

М.Ю. Куприянов, А.С. Мирошкин, Л. Ян

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

КРИОГЕННАЯ ТЕМПЕРАТУРА, АДСОРБЦИЯ, АКТИВНЫЕ УГЛИ

DESCRIPTION OF CRYOGENIC ADSORPTION ON ACTIVE CARBONS BY THE THEORY OF VOLUME FILLING OF MICROPORES

M.Yu. Kupriyanov, A.S. Miroshkin, L. Yang

KEYWORDS

CRYOGENIC TEMPERATURE, ADSORPTION, ACTIVATED CARBONS

В літературі недостатньо інформації по адсорбційній ємкості неона, особливо при температурі його кипіння – 27 К. Ціллю даної роботи являється вивчення і порівняння експериментально отриманих і теоретично розрахованих даних з допомогою рівняння Дубініна-Радускевича (**Уравнения Д-Р**) при температурі адсорбції рівній 27 К. Теорія об'ємного заповнення мікропор дозволяє перерахувати ізотерми одного речовини з ізотерми іншого речовини при іншому температурному рівні з допомогою коефіцієнта афінності. Путём вирахування відношення експериментально отриманих характеристических енергій для неона і азота, були отримані нові коефіцієнти афінності для кожного досліджуваного адсорбента.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Куприянов Максим Юрьевич – кандидат технических наук, доцент (ORCID: 0000-0003-2180-1221). Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: kupriyanov.m@bmstu.ru

Мирошкин Артем Сергеевич – инженер (ORCID: 0009-0005-9439-6687). Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: miroshkin@bmstu.ru

Ян Линжань – аспирант, (ORCID: 0000-0001-7097-1898). Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: yanl@student.bmstu.ru

КОНТРОЛЬ СОРБАТА НА ОХЛАЖДЕННОЙ ДО КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР ПОВЕРХНОСТИ В ВАКУУМЕ

Ю.В. Панфилов, Г.М. Сокол

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

СОРБАТ, ВЫСОКИЙ ВАКУУМ, КРИОГЕННЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

SORBATE TESTING ON COOLED FOR CRYOGENIC TEMPERATURE SURFACE IN VACUUM

Yu.V. Panfilov, G.M. Sokol

KEYWORDS

SORBATE, HIGH VACUUM, CRYOGENIC TEMPERATURE

Для исследования сорбционных процессов в высоком вакууме при криогенных температурах предлагается емкостной сенсор. Рассчитана емкость конденсатора в зависимости от характеристик топологии сенсора и толщины слоя сорбата паров воды. От параметров топологии зависит чувствительность сенсора емкостного датчика сорбата. Результаты расчетов говорят о том, что больше всего на чувствительность влияет ширина пальцев электродов W и зазор между ними G . Рекомендуется принимать $W = G$, причем W и G стоит выбирать как можно меньше, чтобы увеличить чувствительность датчика. Ограничением являются возможности микролитографии при использовании электронно-лучевой или EUV-литографии, для получения минимальных размеров элементов сенсора в диапазоне от 5 до 30 нм.

Для повышения чувствительности сенсора можно также увеличивать площадь гребенчатого конденсатора путем увеличения количества пальцев электродов или длину общей части пальцев электродов. Наибольшей чувствительности с учётом возможностей

распространенных технологий по результатам расчётов можно добиться при следующих параметрах топологии: $W = L = 30$ нм – ширина пальцев электродов, $n = 2000$ – число пальцев электродов, $L = 1200$ мкм – общая длина пальцев электродов, $t = 1$ нм. Тогда чувствительность достигает 66,36 фФ/Å.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Панфилов Юрий Васильевич – доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0001-6861-2028). Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва. E-mail: panfilov@bmstu.ru

Сокол Георгий Михайлович – студент магистратуры. Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва. E-mail: sokolgeodev@gmail.com

АНАЛИЗ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛЕЙ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

А.А. Казакова, Н.А. Лавров

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ТЕПЛООБМЕННЫЙ АППАРАТ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ

ANALYSIS OF TRANSIENT PROCESSES IN LOW- TEMPERATURE HEAT EXCHANGERS USING CONCENTRATED PARAMETERS MODELS

A.A. Kazakova, N.A. Lavrov

KEYWORDS

HEAT EXCHANGE APPARATUS, MATHEMATICAL
MODELING

Рациональное ведение регулирования нестационарных режимов работы энергетических установок, в том числе и криогенных, необходимо для решения задач энергосбережения [1]. Для этого применяются различные расчётные нестационарные модели криогенных установок, поскольку полномасштабное экспериментальное исследование крайне трудоёмко и затратно. При реализации традиционно используются «тяжёлые» пакеты вычислительных программ, такие как ANSYS и HYSYS, нейронные сети [2], различные численные [3], аналитические или полуаналитические модели, дающие результат с различной степенью точности. Поскольку наиболее инерционными частями криогенной установки являются теплообменные аппараты, то их расчётные

моделі грають превалюючу роль при моделюванні всієї криогенної установки.

Одномерна нестационарна модель двохпоточного теплообмінника складається з системи трьох диференціальних рівнянь в частних похідних першого порядку, описуюча тепловий баланс потоків і теплопередаючої стінки [4], аналітичного рішення якої в загальному вигляді отримати практично неможливо. Для отримання аналітичного рішення такої системи можна використовувати метод зосередження параметрів по координаті [5], в результаті чого система диференціальних рівнянь в частних похідних зводиться до системи диференціальних рівнянь першого порядку відносно тільки часу. Отримати рішення такої системи можна чисельно при використанні простішого методу інтегрування Рунге-Кутти при урахуванні змінності теплофізичних властивостей або навіть аналітично в разі їх усереднення. Отримане аналітичне рішення дає можливість оцінити хід часового процесу, що дозволяє його використовувати при програмуванні контролерів, входять в систему регулювання і управління криогенними установками.

Оскільки контролери мають малий об'єм внутрішньої «пам'яті» (десятки і до сотні Кб) і такого ж порядку оперативну «пам'ять», то використання таких аналітичних рішень для теплообмінних апаратів і всієї установки як раз придатно для програмування контролерів. В результаті криогенна установка описується аналітичною моделлю з експоненціальними рішеннями по часу відносно температур в її основних точках, що не потребує великого об'єму «пам'яті» контролера і дозволить побудувати швидкодіючу систему регулювання і управління на основі контролерів.

ВИВОДИ:

1. Метод зосередження параметрів по координаті хоча і дає певну похибку результатів, але дозволяє визначити часову направленість нестационарного процесу.

2. Отримана при використанні запропонованої моделі система диференціальних рівнянь першого порядку є лінійною, рішення якої можна отримати аналітично, або з урахуванням змін теплофізичних властивостей потоків в теплообмінних апаратах чисельним методом Рунге-Кутта.

3. Представлена нестационарна модель теплообмінного апарата завдяки відносній простоті дозволяє її використовувати для програмування контролерів, використовуваних в системі регулювання низькотемпературної установки, в яку входять теплообмінні апарати.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Архаров А.М., Архаров І.А., Беляков В.П. і др. Криогенні системи: підручник для студентів вузів. В 2-х т. Т. 2. Основи проектування апаратів, установок і систем /заг. ред. А.М. Архарова і А.І. Смородина. М.: Машинобудування. 1999. 720 с.
2. Lavrov N. A., Khutsieva S. I., Shananin V. A. Use of neural networks for dynamic heat exchanger modeling// Chemical and Petroleum Engineering. 2023. Т. 58. № 3-4. Р. 917-924.
3. Lavrov N.A., Khutsieva S.I., Butkevich I.K. Mathematical modeling of non-stationary modes of a helium liquefier // Chemical and Petroleum Engineering. 2020. Т. 56. № 3-4. Р. 302-309.
4. Козлов В.Н., Лавров Н.А. Моделювання динамічного режиму роботи теплообмінного апарату // Вісник ВУЗОВ. Машинобудування. 1988. № 8. С.56-60.
5. Козлов В.Н., Лавров Н.А. Система оптимізації з концентрованими параметрами для дослідження роботи криогенного оживителя // Вісник ВУЗОВ. Машинобудування. 1992. № 10-12. С.71-75.

СВЕДЕННЯ ОБ АВТОРАХ

Казакова А.А. – кандидат технічних наук, доцент. Московського державного технічного університету ім. Н.Е. Баумана, г. Москва, 2-а Бауманська ул., будинок 5. e-mail: kazakova@bmsu.ru

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

Лавров Н.А. – доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0003-2324-8247). Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., дом 5. e-mail: lavrovna@bmstu.ru.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДИК РАСЧЁТА ТУРБОНАСОСА ЖИДКОГО ВОДОРОДА АВИАЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

И.А. Архаров, Д.Н. Ильинская

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЖИДКИЙ ВОДОРОД, ТУРБОНАСОС, ШНЕКОЦЕНТРОБЕЖНОЕ
КОЛЕСО

ANALYTICAL REVIEW OF CALCULATION METHODS FOR AN AVIATION LIQUID HYDROGEN TURBOPUMP

I.A. Arkharov, D.N. Pinskaya

KEYWORDS

LIQUID HYDROGEN, TURBOPUMP, SCREW CENTRIFUGAL PUMP
IMPELLER

Во всех промышленно развитых странах интенсивно ведутся научно-исследовательские работы по изысканию более эффективных и «чистых» источников энергии в сравнении с применяемыми стандартными углеводородными топливами. Анализ современного уровня и ближайших перспектив развития авиационной техники позволяет считать, что высокие значения удельной тяги двигателей летательных аппаратов могут быть достигнуты и уже частично достигаются путём применения криогенных компонентов топлива, в первую очередь – жидкого водорода.

Для внедрения двигателей, работающих на жидком водороде, необходимо провести несколько нестандартных теоретических и экспериментальных исследований в различных направлениях, в том числе в топливной системе. Одним из основных сложных для проектирования элементов системы топливоподачи двигателя является турбонасосный агрегат (ТНА). В настоящий момент

існує ряд методик, що дозволяють розрахувати і спроектувати ТНА для рідинних ракетних двигателів (ЖРД), однак використовувати напряму дані алгоритми для проектування ТНА авіаційного призначення не представляється можливим в зв'язі з рядом причин:

1. витрати палива в ракетних двигателях в рази вище, ніж витрати палива в авіаційних двигателях;
2. характеристика авіаційного ТНА буде мати більш широкий робочий діапазон в зв'язі з варіативністю можливих робочих режимів авіаційного двигателя (руління, малий газ, форсування і т.п.);
3. частоти обертання авіаційного ТНА вище, ніж у ТНА ЖРД;
4. ресурс або МТТФ авіаційного агрегату повинен бути більшим (більше 3000 тисяч годин), порівняно з ресурсом ракетного агрегату (до години).

В зв'язі з вищесказаним, розрахунок і проектування проточної частини ТНА рідинного водороду авіаційного призначення є перспективною і актуальною проблемою в галузі. Використання комп'ютерних технологій і САЕ програм при створенні ТНА і його елементів дозволяє не тільки автоматизувати процес розробки, але і покращити якість конструюваних виробів, пришвидшити процеси виготовлення через впровадження САМ рішень, що дозволить скоротити терміни створення і знизити витрати на весь життєвий цикл виробу (PDLM). На поточний момент в межах дослідницької роботи проведено системний аналіз існуючих моделей проточної частини ТНА, актуалізація параметрів і режимів течії робочої середовища – рідинного водороду, з жорсткими обмеженнями безкавітаційної області і напорної характеристики, включаючої насос авіаційного двигателя. Визначено розрахункову область в проточної частини ТНА і виконано попередні CFD розрахунки в програмному комплексі ANSYS CFX.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Архаров Иван Алексеевич — доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0002-1624-171X). Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва. email: arkharov@bmstu.ru

Ильинская Диана Николаевна – аспирант. (ORCID: 0009-0005-1767-2254). Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва. email: ilyinkayadn@bmstu.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДВУХПОТОЧНЫХ ТЕПЛОБМЕННЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ТРИЖДЫ ПЕРИОДИЧЕСКИХ МИНИМАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Е.С. Навасардян, В.В. Доля

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ТЕПЛОБМЕН, МИНИМАЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, ГИРОИД,
АДДИТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DESIGN OF TWO-FLOW HEAT EXCHANGERS BASED ON THRIPLE PERIODIC MINIMAL SURFACES

E.S. Navasardyan, V.V. Dolya

KEYWORDS

HEAT TRANSFER, MINIMAL SURFACE, GYROID, ADDITIVE
TECHNOLOGY

Развитие аддитивных технологий существенно расширило возможности конструирования теплообменных аппаратов (ТОА). Они позволяют создавать поверхности теплообмена практически любой геометрической конфигурации. На фоне этого возникла и набрала популярность идея о применении в качестве основы для поверхности теплообмена трижды периодических минимальных поверхностей (ТПМП).

ТПМП в качестве теплообменной поверхности имеют следующие преимущества:

- Двусторонность, позволяющая применять ТПМП как в однопоточных, так и в двухпоточных ТОА.
- Периодичность в трёх направлениях, позволяющая заполнять данной структурой сколь угодно сложный замкнутый объём, а также иметь возможность расчётного описания эквивалентного

діаметра, необхідного для вичислення критеріїв подоби, по котрим проєктуються ТОА.

- Гладкість, оказуюча позитивне вплив на гідравлічні характеристики матриці ТОА.
- Єдинство порожнини одного потоку (порожина, по котрій тече потік, не розділяється на роздільні порожнини, як це відбувається, наприклад, в пластинчато-ребрих або витих трубчатих ТОА), завдяки котрому відбувається перемішування потоку по всій матриці ТОА, що позитивно сказується на турбулізації потоку.
- Самопідтримувана геометрія, дозволяюча друкувати матриці на основі ТПМП без підтримок.
- Високі міцність і жорсткість.
- Хороші властивості подавлення шуму.

В ході проведеного дослідження були:

- розглянуті інструменти 3D-моделювання ТПМП і сітчастих структур на їх основі;
- вивчені зарубіжні дані по тепловим і гідравлічним характеристикам решіток на базі ТПМП, що підтверджують їх більш високу ефективність відносно класичних рішень;
- розроблена методика одномерного розрахунку двохпоточного ТОА на базі гироїда (одної з різновидностей ТПМП);
- з використанням адитивних технологій виготовлено алюмінієвий ТОА з гироїдною матрицею;
- розглянуті проблеми, що виникають при проєктуванні ТОА з матрицями на базі ТПМП.

В подальшому планується експериментальне підтвердження розрахункової методики.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Навасардян Катерина Сергеевна — доктор технічних наук, професор (ORCID: 0000-0002-4371-0075). Московський державний технічний університет імені Н.Е. Баумана, м. Москва. email: navasard@mail.ru

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

Доля Владимир Владимирович – инженер-конструктор 3-й категории
(ORCID: 0009-0000-0910-7398). АО «ОКБ «Кристалл», г. Москва.
email: dolyavv.publication@gmail.com

ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ И ПОДАЧИ ВЫСОКОЧИСТОГО ИНЕРТНОГО ГАЗА

А.В. Федоров, М.Ю. Куприянов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ИНЕРТНЫЕ ГАЗЫ; КРИПТОН; ПОВЕРХНОСТИ, ЧИСТОТА ГАЗА,
ПРИМЕСИ, АДСОРБЦИЯ.

PROCESSES IN HIGH-PURITY INERT GAS STORAGE AND SUPPLY SYSTEMS

A.V. Fedorov, M. Yu. Kupriyanov

KEYWORDS

INERT GASES; KRYPTON; SURFACES, PURITY OF GAS,
IMPURITIES, ADSORPTION.

В настоящее время во многих областях промышленности используются высокочистые инертные газы. В зависимости от области, в которой необходим газ различаются также и требования к его чистоте. Например, в ионных двигателях для сохранения ресурса оборудования количество примесей должно быть не более 1 ppm (parts per million, $1 \text{ ppm} = 10^{-6}$ моль/моль).

На чистоту газа может влиять подготовка системы хранения перед закачкой продукта (режим нагрева, длительность откачки, качество продувок газообразным азотом), очистка газа от влаги и других компонентов воздуха, подготовка систем для закачки производственного газа в сосуды, а также факторы, загрязняющие газ в процессе хранения и подачи, такие как десорбция примесей из пор материала. Данные процессы зависят от выбора материалов систем хранения и подачи, способа их обработки, параметров потока газа (скорость, свойства самого газа). Важным фактором также является увеличение концентрации водяных паров в газовой фазе при

изменении остаточного давления газа в баллоне, что происходит из-за процесса десорбции воды с внутренних стенок систем хранения.

Таким образом, исследования направлены на выявление характеристик, демонстрирующих зависимость между чистой инертного газа при его заправке, хранении, подаче и 1) параметрами подготовки внутренних поверхностей; 2) изменением материалов систем хранения; 3) способов обработки стенок, контактирующих с высокочистым инертным газом.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Федоров Александр Владимирович – аспирант кафедры Э4 МГТУ им. Н.Э. Баумана (ORCID: 0009-0001-4799-5469), г. Москва e-mail: fedorovav@bmstu.ru

Куприянов Максим Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры Э4 МГТУ им. Н.Э. Баумана (ORCID: 0000-0003-2180-1221), г. Москва e-mail: kupriyanov.m@bmstu.ru

НОВЫЕ МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ЛЬДА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ШИРОКОГО КРУГА ЗАДАЧ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

Г.Ю. Гончарова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

АРКТИЧЕСКИЙ РЕГИОН, УПРОЧНЕНИЕ ЛЬДА, ХИМИЧЕСКОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЛЬДА, ВАКУУМНАЯ ОБРАБОТКА

NEW METHODS OF CREATING COMPOSITE MATERIALS BASED ON NATURAL ICE TO SOLVE A WIDE RANGE OF PROBLEMS IN THE ARCTIC REGION

G.Yu. Goncharova

KEYWORDS

ARCTIC REGION, ICE REINFORCEMENT, CHEMICAL MODIFICATION OF ICE, VACUUM TREATMENT

Эффективность современных методов воздействия на свойства льда, основанных на модификации микродозами высокомолекулярных соединений, неоднократно подтверждалась в работах ведущих российских и зарубежных научных школ, а также активным использованием в индустрии ледовых видов спорта. Они также актуальны и востребованы в арктических регионах при строительстве и эксплуатации сезонной транспортной инфраструктуры, так как в ближайшее время реальной альтернативы автотранспорту и ледовым переправам не прослеживается.

В докладе проанализированы основные причины, тормозящие широкое полномасштабное использование новых технологий упрочнения льда, и представлен новый подход к выбору наиболее перспективных групп химических соединений с позиции

достигаемого ефекта, стабільності, простоти розчинення, доступності і екологічної безпеки. Представлені результати експериментальних досліджень ледових структур, упрочнених з використанням сполучень природного походження і, в частині, харчових добавок. Обґрунтована необхідність спеціалізованої ступінчастої вакуумної обробки модифікуючих сполучень і їх сумішей, вносимих в лід для збільшення міцнісних характеристик і зниження хрупкості отриманого композиційного матеріалу.

Обґрунтовано перевагу армуючих матеріалів на основі волоконних матеріалів природного походження, так званої «м'якої арматури» і представлені способи їх внесення в ледові покриття.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Гончарова Галина Юрьевна – доктор технічних наук (ORCID 0000-0003-4270-819X). Московський державний технічний університет імені Н. Е. Баумана, 105005, г. Москва, 2-я Бауманська вулиця, 5/1.

Всеросійський науко-дослідницький інститут холодильної промисловості – філіал ФГБНУ «ФНЦ харчових систем ім. В.М. Горбатова» РАН, 127422, г. Москва, ул. Костякова, 12. e-mail: galinagoncharova@mail.ru

Секция 3
НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И
ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКИХ
ПЛЕНОК. МЕТОДИКИ
ИССЛЕДОВАНИЯ.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ.

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТМР-ДАТЧИКОВ В КОСМИЧЕСКИХ МИССИЯХ И НАВИГАЦИИ

С.В. Кирьянов, С.А. Аксенова, С.В. Сидорова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ, МАГНИТНЫЙ ДАТЧИК,
ОСТРОВКОВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ, МАГНИТНОЕ ПОЛЕ,
ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

PROSPECTS OF USING STMR SENSORS IN SPACE MISSIONS AND NAVIGATION

S.V. Kiryanov, S.A. Aksenova, S.V. Sidorova

KEYWORDS

SPACECRAFT, MAGNETIC SENSOR, ISLAND
NANOSTRUCTURES, MAGNETIC FIELD, INERTIAL NAVIGATION
SYSTEMS

Для определения положения и ориентации космического аппарата используется инерциальная навигационная система (ИНС), которая на длительных миссиях накапливает ошибки. На низких орбитах её корректируют магнитометры, но на больших высотах эффективность снижается из-за ослабления магнитного поля Земли. Решением могут стать спин-туннельные магниторезистивные (СТМР) датчики, компенсирующие ошибки ИНС и обеспечивающие чувствительность даже при слабых магнитных полях, из-за чего такие датчики перспективны для изучения остаточной намагниченности и измерения магнитного поля Марса.

СТМР-датчик представляет собой структуру, состоящую из чередующихся островковых тонкопленочных (ОТП) слоев магнитомягких и магнитожестких материалов, таких, как никель и кобальт, разделённых диэлектрической прослойкой из оксида алюминия. Такая структура СТМР-датчика работает по принципу

спин-тунелювання. При збіганні намагніченості шарів кобальту і нікелю електрони з більшою ймовірністю тунелюють через прослойку і спротивлення структури низьке. При перемагнічуванні нікелю спротивлення структури підвищується. Такий механізм дозволяє досягати чутливості $10^{-3}\dots 10^{-1}$ нТл, яку можна налаштувати в залежності від конкретних завдань.

Метою роботи є моделювання функціональних характеристик СТМР-структури, що складається з багаторівневої ОТП.

В ході роботи проведено моделювання багаторівневої ОТП, що складається з островків кобальту і нікелю з прослойкою оксиду алюмінію. В результаті отримана залежність величини і напрямку спин-поляризації шарів від індукції зовнішнього магнітного поля.

СВЕДЕННЯ ОБ АВТОРАХ

Кирьянов Сергей Владимирович – студент 6 курса (ORCID: 0009-0004-7627-2675). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: makdrin@mail.ru

Аксенова Софья Алексеевна – студент 3 курса (ORCID: 0009-0000-3172-5133). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва e-mail: sofa87516@gmail.com

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

ОСТРОВКОВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ ДЛЯ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ

А.М. Наумова, С.В. Сидорова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ОСТРОВКОВАЯ ТОНКАЯ ПЛЕНКА, ГАЗОВЫЙ СЕНСОР, ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ВАКУУМНОЕ ОСАЖДЕНИЕ

ISLAND NANOSTRUCTURES FOR GAS SENSORS

A.M. Naumova, S.V. Sidorova

KEYWORDS

ISLAND THIN FILM, GAS SENSOR, GEOMETRIC CHARACTERISTICS, PHYSICAL MODELING, VACUUM DEPOSITION

Газовые сенсоры на основе оксида металла могут обнаруживать чрезвычайно низкие концентрации газов. Внедрение в эту технологию островковых наноструктур (ОНС) позволит уменьшить габариты изделия, повысить чувствительность, увеличить количество циклов работы. Эти возможности можно регулировать размерами островков и расстояниями между ними [1].

Для нанесения чувствительного слоя на подложку сенсора используется малогабаритная вакуумная технологическая установка МВТУ-11-1МС, расположенная на кафедре «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана. В качестве метода формирования островкового слоя выбран метод термического испарения, так как он позволяет контролируемо и управляемо проводить нанесение покрытий [2]. Контроль за ростом покрытия осуществляется с помощью пикоамперметра по значениям тока туннелирования между ОНС в процессе их формирования.

Цілью даної роботи являється вибір на основі фізичного моделювання геометричних параметрів ОНС для забезпечення високої провідності структури в газовій середі.

Було проведено моделювання структур газового сенсора в програмі мультифізичного моделювання для визначення латеральних розмірів ОНС і відстані між ними. Були опрацьовані режими і отримані зразки. Дослідження геометрії ОНС проводили з допомогою атомно-силової мікроскопії.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Наумова А. М., Кирьянов С. В. Газовый сенсор с островковыми наноструктурами. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://studvesna.ru?go=articles&id=3984> (дата обращения: 15.02.2025).
2. С.В. Сидорова. Методы формирования тонких пленок: начальная стадия формирования // Справочник. Инженерный журнал. М.: Машиностроение, 2011, №9.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Наумова Анастасия Михайловна – студент 4 курса бакалавриата (ORCID: 0009-0008-1215-4855). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: nam21t134@student.bmstu.ru

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

СИСТЕМА КОМБІНОВАНИХ ДВИЖЕНЬ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ В ВАКУУМЕ

А.М. Руденко, А.Д. Купцов, С.В. Сидорова

КЛЮЧЕВІ СЛОВА

КОМБІНОВАНИЙ ПРИВОД, ТОНКОПЛЕНОЧНІ
ПОКРИТТЯ, ВАКУУМНІ ПРОЦЕСИ, ВАКУУМНА
ТЕХНІКА

SYSTEM OF COMBINED MOVEMENTS FOR PROCESSES OPTIMIZATION IN VACUUM

A.M. Rudenko, A.D. Kouptsov, S.V. Sidorova

KEYWORDS

COMBINED DRIVE, THIN-FILM COATINGS, VACUUM
PROCESSES, VACUUM TECHNIC

Тонкопленочні покриття (ТП) задають функціональність мікросхем, датчиків, дисплеїв і інших електронних компонентів. При масштабуванні пристроїв в нанометровий діапазон особу важливість набувають точність нанесення, однорідність і рівномірність структури покриттів. Еліонні технології представляють собою один з перспективних методів формування ТП в діапазоні товщин 0,1–1,0 мкм.

Цілью роботи є розробка універсальної системи, призначеної для формування ТП в вакуумі з контролюваною рівномірністю і варіюваною товщиною.

Проведена модернізація технологічної оснастки установки МВТУ-11-1МС, розташованої на кафедрі «Електронні технології в машинобудуванні» МГТУ ім.Н.Е.Баумана. Відстань між джерелом і підложкою – ключовий фактор, що визначає якість покриття (швидкість осадження обернено пропорційна квадрату відстані).

Головною особливістю розробленої конструкції є можливість регулювання швидкості осадження без порушення вакуумної герметичності робочої камери. Система оснащена поступальними і вращальними приводами. Поступальне рухання підложкодержателя дозволяє регулювати відстань між джерелом і підложкою від 20 до 100 мм. Вращання в діапазоні 0,5–50,0 об/хв забезпечує необхідну рівномірність покриття (до 90% по підложці розміром 48x60 мм²).

Розроблена конструкція представляє перспективне рішення для формування ТП, забезпечуючи високу продуктивність з заданими параметрами рівномірності.

СВЕДЕННЯ ОБ АВТОРАХ

Руденко Андрій Михайлович – студент 1 курсу магістратури (ORCID: 0009-0000-0549-7296). МГТУ ім. Н.Е. Баумана, e-mail: syg26mail.ru@gmail.com

Купцов Олександр Дмитрієвич – аспірант 3 року (ORCID 0009-0002-3997-9722). МГТУ ім. Н.Е. Баумана, г. Москва, e-mail: alex-kouptsov@yandex.ru

Сидорова Світлана Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри (ORCID: 0000-0002-3002-1246). МГТУ ім. Н.Е. Баумана, г. Москва, e-mail: sidorova_bmstu@mail.ru

АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПOKPЫТИЯ В СИСТЕМЕ ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ РАСПЫЛЕНИЯ СВС-МИШЕНЕЙ **ИЗНОСОСТОЙКИЕ TI-NI-CR-CU-C-N, МАГНЕТРОННОГО**

Ф.В. Кирюханцев-Корнеев, А.Д. Чертова, Ю.С. Погожев, Е.А. Левашов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПOKPЫТИЯ, КАРБИД ТИТАНА, МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ, КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ, ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

ANTIFRICTION WEAR-RESISTANT TI-NI-CR-CU-C-N COATINGS DEPOSITED BY MAGNETRON SPUTTERING OF SHS-TARGETS

Ph.V. Kiryukhantsev-Korneev, A.D. Chertova, Yu.S. Pogozhev, E.A. Levashov

KEYWORDS

ANTIFRICTION COATINGS, TITANIUM CARBIDE MAGNETRON SPUTTERING, FRICTION COEFFICIENT, WEAR RESISTANCE

Карбид и карбонитрид титана являются одними из наиболее перспективных материалов для создания антифрикционных покрытий поскольку обладают низкими коэффициентом трения и приведённым износом в различных условиях эксплуатации, имеют высокие твёрдость и коррозионную стойкость. Легирование покрытий TiC и TiCN металлами, такими как Ni, Cr, Al, способствует формированию нанокompозитной структуры, что сопровождается повышением механических и трибологических свойств, а также стойкости к окислению. Введение добавки Cu способствует

измельчению кристаллитов основной фазы, за счёт их разделения аморфными прослойками в процессе осаждения покрытий.

Целью данной работы являлось исследование влияния химического состава покрытий на структуру, механические и трибологические характеристики покрытий в системе Ti-Ni-Cr-Cu-C-N.

Покрытия были получены методом магнетронного распыления с использованием мишеней TiC-NiCr и TiC-NiCr-бронза, изготовленных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Покрытия осаждались в среде Ar и Ar-15%N₂ при рабочем давлении 0,1-0,2 Па. Структура покрытий исследовалась методами растровой и просвечивающей электронной микроскопии, рентгенофазового анализа и оптической эмиссионной спектроскопии тлеющего разряда. Механические и трибологические свойства определялись методами наноиндентирования, скратч-тестирования и испытаний по схеме «стержень-диск» с использованием различных материалов контр-тел.

Результаты показали, что покрытия обладали плотной малодефектной структурой с равномерным распределением всех элементов по толщине. Основу покрытий составляла ГЦК-фаза TiC; при введении добавки меди возрастала объёмная доля аморфной фазы. Значения твёрдости и модуля упругости находились в диапазонах 18-21 ГПа и 220-240 ГПа, соответственно. Покрытия обладали высокой адгезионной прочностью - критическая нагрузка разрушения достигала 60 Н. За счёт нанесения покрытий удалось снизить коэффициент трения и приведённый износ стальной подложки в 2.5 раза.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (проект № FSME-2025-0003).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кирюханцев-Корнеев Филипп Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры ПМиФП, заведующий лабораторией «Іп

situ диагностика структурних превращений» НУЦ СВС
(ORCID: 0000-0003-1635-4746). Университет науки и технологий
МИСИС, г. Москва. e-mail: kiruhancev-korneev@yandex.ru
Чертова Алина Дмитриевна – кандидат технических наук, научный
сотрудник НУЦ СВС, (ORCID: 0000-0002-8668-5877). Университет
науки и технологий МИСИС, г. Москва. e-mail: alina-
sytchenko@yandex.ru
Погожев Юрий Сергеевич – кандидат технических наук, старший
научный сотрудник НУЦ СВС (ORCID: 0000-0003-6733-7212).
Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва. e-mail:
yspogozhev@mail.ru
Левашов Евгений Александрович – доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой ПМиФП, директор НУЦ СВС
(ORCID: 0000-0002-0623-0013). Университет науки и технологий
МИСИС, г. Москва. e-mail: levashov@shs.misis.ru

К ВОПРОСУ О ПОДАЧЕ КИСЛОРОДА ПРИ НАНЕСЕНИИ ТЕРМОБАРЬЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ НЕОХЛАЖДАЕМОЙ МИШЕНИ

Г.В. Качалин, К.С. Медведев, В.А. Касьяненко

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

МАГНЕТРОННЫЙ РАЗРЯД, НЕОХЛАЖДАЕМАЯ МИШЕНЬ,
ТЕРМОБАРЬЕРНЫЕ ПОКРЫТИЯ

ON THE ISSUE OF OXYGEN SUPPLY DURING THE APPLICATION OF THERMAL BARRIER COATINGS BY MAGNETRON SPUTTERING OF AN UNCOOLED TARGET

G.V. Kachalin, K.S. Medvedev, V.A. Kasyanenko

KEYWORDS

MAGNETRON SPUTTERING, UNCOOLED TARGET, THERMAL
BARRIER COATINGS

Получение функциональных покрытий методом магнетронного распыления неохлаждаемых мишеней позволяет в 2-3 раза повысить скорости осаждения для металлических слоев и почти в 10 раз - оксидных термобарьерных покрытий.

В качестве термобарьерных покрытий для защиты высокотемпературных элементов газовых турбин широкое распространение получили покрытия на основе диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия. В последнее время, помимо оксида иттрия, такие покрытия легируются оксидами гадолиния или гафния, что позволяет снизить их теплопроводность.

Процесс синтеза оксидных термобарьерных покрытий методом магнетронного распыления эффективно происходит из неохлаждаемых мишеней в среде аргона и кислорода. Причем,

количество подаваемого кислорода, напрямую связано со свойствами получаемых покрытий. Действительно, при недостаточном количестве кислорода покрытия получают недоокисленными. Характерным свойством недоокисленных покрытий является наличие электрической проводимости, а при нагреве таких покрытий до температур 500 °С и выше, происходит их доокисление и отслоение. Поэтому формирование таких покрытий должно происходить с достаточным количеством кислорода. Однако, при значительных количествах кислорода, толщина пленки окисла, образующего на поверхности мишени, увеличивается, при этом магнетронный разряд ведет себя нестабильно или может полностью погаснуть.

Управлять подачей кислорода можно обычными способами, например, с помощью регуляторов расхода газа типа РРГ-10, или с помощью оптического контроля плазмы разряда. Последний способ авторам представляется более предпочтительным ввиду наличия обратной связи между оптическим сигналом и количеством кислорода.

В таблице 1 представлены результаты проведенных нами измерений парциального давления кислорода и оптического сигнала плазмы магнетронного разряда с неохлаждаемой протяженной мишенью Zr(92%)Y(8%) размерами 710×65×6 мм при мощности 9 кВт от количества кислорода, подаваемого в вакуумную камеру с помощью РРГ-10 (18нл/ч).

Таблица 1
Влияние расхода кислорода на оптический сигнал и парциальное давление

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Расход O ₂ , нл/час | 0 | 1.8 | 3.6 | 5.4 | 6.3 | 7.2 | 8.1 | 9.0 | 9.9 | 10.8 | 11.7 | 12.6 | 13.5 |
| Оптический сигнал, % | 100 | 100 | 100 | 100 | 97 | 96 | 94 | 90 | 82 | 73 | 70 | 53 | 29 |
| Парциальное давление O ₂ , % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0,75 | 1,12 | 3,5 | 5,7 | 15,6 |

Из при приведенных результатов следует, что при расходах кислорода более 9.9 нл/час его парциальное давление начинает возрастать, при этом оптический сигнал от магнетронного разряда снижается на 20% и более. Такие режимы перспективны для получения непроводящих окисленных покрытий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № FSWF-2023-0016 (Соглашение № 075-03-2023-383 от 18 января 2023г.) в сфере научной деятельности на 2023-2025 гг.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Качалин Геннадий Викторович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, доцент (ORCID: 0000-0001-9506-862X). Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»), г. Москва, e-mail: KachalinGV@mpei.ru

Медведев Константин Сергеевич – ведущий инженер (ORCID: 0000-0003-1667-458X). Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»), г. Москва, e-mail: MedvedevKS@mpei.ru

Касьяненко Владислав Александрович – ведущий инженер (ORCID: 0009-0000-7510-2106). Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»), г. Москва, e-mail: KasyanenkoVA@mpei.ru

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПЛЕНОК Zr-Ti-B-C И Nb-Ti-B-C С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕРМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТЬЮ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

А.Д. Чертова, Е.А. Башкиров, Е.А. Левашов, Ф.В. Кирюханцев-Корнеев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

РЕЗИСТИВНЫЕ ПЛЁНКИ, МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ, ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ, ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ

STRUCTURE AND PROPERTIES OF Zr-Ti-B-C AND Nb-Ti-B-C FILMS WITH IMPROVED THERMAL STABILITY AND ELECTROPHYSICAL PROPERTIES

A.D. Chertova, E.A. Bashkirov, E.A. Levashov, Ph.V. Kiryukhantsev-Korneev

KEYWORDS

RESISTIVE FILMS, MAGNETRON SPUTTERING, ELECTRICAL RESISTANCE, THERMAL STABILITY

Материалы в системе Me-B-C (Me – Zr, Ti, Nb и т.д.), благодаря высокой термической стабильности и относительно низкому электросопротивлению в широком температурном диапазоне, имеют высокий потенциал применения в качестве резистивных тонких плёнок. Целью данной работы являлось исследование влияния параметров импульсного магнетронного распыления на структуру, механические, оптические и электрофизические характеристики покрытий Zr-Ti-B-C и Nb-Ti-B-C.

Покрытия Zr-Ti-B-C-N и Nb-Ti-B-C-N были получены методом магнетронного распыления на постоянном токе, а также в импульсном и высокомоощном импульсном режимах с

використанням керамічних мішеней на основі околовтектичних композицій $(\text{Ti}, \text{Zr})\text{B}_2 + 40\%(\text{Ti}, \text{Zr})\text{C}$ і $(\text{Ti}, \text{Nb})\text{B}_2 + 40\%(\text{Ti}, \text{Nb})\text{C}$. В якості підложки використовувалися пластини з Al_2O_3 і Si/SiO_2 . Покрытия осаждалися в середі Ag при робочому тиску 0,1-0,2 Па. Структура покриттів була досліджена методами скануючої і просвічуючої електронної мікроскопії (ПЕМ), рентгенофазового аналізу і оптичної емісійної спектроскопії тлеючого розряду. Механічні і електрофізичні властивості визначалися методом наноіндентування і 4-х зондовим методом, відповідно. Дослідження термічної стабільності проводилося при нагріві в колонні ПЕМ і з використанням вакуумного отжигу.

Результати показали, що покриття Zr-Ti-B-C і Nb-Ti-B-C мали щільну малодефектну структуру з високою долею аморфної фази. Твєрдість, модуль пружності і пружне відновлення для покриттів знаходилися в межах 25-30 ГПа, 280-310 ГПа і 60-70%, відповідно. Покриття мали удільним електричним опором в діапазоні 200-450 мкОм·см і низьким температурним коефіцієнтом опору порядку 1×10^{-5} 1/К. Результати *in situ* нагріву в ПЕМ і вакуумних отжигів показали, що всі покриття характеризувалися стабільністю структури до 600°C. Висока термічна стабільність покриттів забезпечує постійність удільного електричного опору при температурах 20-600°C.

Дослідження виконано при фінансовій підтримці Російського наукового фонду (проект 24-13-00085).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Чертова Аліна Дмитрієвна – кандидат технічних наук, науковий співробітник НУЦ СВБ, (ORCID: 0000-0002-8668-5877). Університет науки і технологій МІСІС, г. Москва. e-mail: alina-sytchenko@yandex.ru

Башкіров Євгеній Алексєєвич – аспірант, молодший науковий співробітник НУЦ СВБ (ORCID: 0000-0003-1134-5795). Університет

науки і технологій МІСІС, г. Москва. e-mail:
evgenij_010397@mail.ru

Левашов Євгеній Александрович – доктор технічних наук,
професор, завідує кафедрою ПМіФП, директор НУЦ СВС
(ORCID: 0000-0002-0623-0013). Університет науки і технологій
МІСІС, г. Москва. e-mail: levashov@shs.misis.ru

Кірюханцев-Корнеєв Філіпп Володимирович – доктор технічних
наук, професор кафедри ПМіФП, завідує лабораторією «In
situ діагностика структурних перетворень» НУЦ СВС
(ORCID: 0000-0003-1635-4746). Університет науки і технологій
МІСІС, г. Москва. e-mail: kiruhancev-korneev@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕАКТИВНОГО ПЛАЗМЕННОГО ТРАВЛЕНИЯ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТИ LTCC

С.А. Хохлун, С.В. Сидорова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

LTCC, НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КЕРАМИКА, ПЛАЗМЕННОЕ ТРАВЛЕНИЕ, РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ

INVESTIGATION OF THE REACTIVE PLASMA ETCHING INFLUENCE ON THE STRUCTURE OF LTCC

S.A. Khokhlun, S.V. Sidorova

KEYWORDS

LTCC, LOW-TEMPERATURE CO-FIRED CERAMIC, PLASMA ETCHING, X-RAY STRUCTURAL ANALYSIS

Низкотемпературная совместно обжигаемая керамика (low-temperature co-fired ceramic, LTCC) применяется во многих областях промышленности благодаря высокой диэлектрической проницаемости ($\epsilon = 6-9$) и низкому тангенсу угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta_{\epsilon} = 10^{-4}$). Этот материал используется для корпусирования СВЧ-устройств.

Ранее проведенные авторами исследования по оценке влияния процесса плазменной обработки (ПО) на поверхность LTCC в различных газовых средах показали значительное улучшение адгезионных свойств, что способствует повышению качества нанесенных на поверхность LTCC тонкопленочных покрытий или фоторезиста с целью формирования требуемой топологии. Однако данных по оценке влияния ПО на структуру поверхности LTCC недостаточно.

Цілью роботи є дослідження впливу реактивного плазменного травлення на структуру поверхні низкотемпературної спільно спекаємої кераміки.

Поставлені і проведені дослідження ПО обожжених і сирих зразків ЛТСС в газових середовищах з різним вмістом кисню (від 0 до 50 %) і аргону (від 50 до 100 %) на установці TRION SIRUS T2 на базі лабораторії кафедри «Електронні технології в машинобудуванні» МГТУ ім. Н.Е.Баумана. Проведен рентгеноструктурний аналіз сирих і спечених при різних режимах зразків до і після ПО. Отримання спектрів проводили на установці ДРОН-4.

Результатом роботи стало дослідження отриманих рентгенограм в програмному комплексі Match!4. Отримані дані дають достатнє уявлення про вплив плазменного травлення на структуру поверхні ЛТСС і, зокрема, на основний компонент зразків – оксид алюмінію.

В подальшій роботі планується дослідження впливу ПО в вакуумі на електричні характеристики ЛТСС.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Хохлун Святослав Андреевич – студент 1 курсу магістратури (ORCID: 0009-0007-8030-3149). МГТУ ім. Н.Е. Баумана, г. Москва, e-mail: hohlun2002@mail.ru

Сидорова Светлана Владимировна – кандидат технічних наук, доцент кафедри (ORCID: 0000-0002-3002-1246). МГТУ ім. Н.Е. Баумана, г. Москва, e-mail: sidorova_bmstu@mail.ru

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА
ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ХИМИЧЕСКУЮ
СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПЛЁНОК
АДДИТИВНОГО ПОЛИЭТИЛИДЕННОРБОРНЕНА**

А.В. Зиновьев, М.С. Пискарев, А.Б. Гильман, Д.А. Сырцова,
А.И. Возняк, М.В. Бермешев, Е.А. Скрялева, Б.Р. Сенатулин,
А.К. Гатин, А.Ю., Алентьев, А.А. Кузнецов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

АДДИТИВНОГО ПОЛИЭТИЛИДЕННОРБОРНЕН,
ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ, НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ
ПЛАЗМА, РЕНТГЕНОФОТОЭЛЕКТРОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ,
АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ

**THE INFLUENCE OF DC GLOW DISCHARGE ON THE
CHEMICAL STRUCTURE AND PROPERTIES OF
ADDITIVE POLYETHYLIDENENORBORNENE FILMS**

A.V. Zinoviev, M.S. Piskarev, A.B. Gilman, D.A. Syrtsova, A.I.
Vozniak, M.V. Bermeshev, E.A. Skryleva, B.R. Senatulin,
A.K. Gatin, A.Yu. Alentiev, A.A. Kuznetsov

KEYWORDS

ADDITIVE POLYETHYLIDENENORBORNENE, SURFACE
MODIFICATION, LOW TEMPERATURE PLASMA, X-RAY
PHOTOELECTRON SPECTROSCOPY, ATOMIC FORCE
MICROSCOPY

Исследован процесс поверхностного модифицирования пленок аддитивного полиэтилиденнорборнена под воздействием плазмы, генерируемой разрядом постоянного тока пониженного давления в атмосфере фильтрованного воздуха. Методом РФЭС изучено изменение химической структуры модифицированной

пленки. Показано, що обробка в плазмі приводить до утворення на поверхні полімера нових кислородсодержащих функціональних груп. Методом АСМ досліджено змінення морфології поверхні полімера і показано суттєве збільшення шерохватості по порівнянню з початковою плівкою. Досліджені змінення газорозділяючих властивостей досліджуваних плівок.

Робота виконана при підтримці Міністерства науки і освіти Російської Федерації, номер теми FFSM-2024-0005.

СВЕДЕННЯ ОБ АВТОРАХ

Зиновьев Александр Владимирович – м.н.с. (ORCID: 0000-0002-58367150). ИСПМ РАН, Москва, e-mail: zinovev.97@inbox.ru;

Пискарев Михаил Сергеевич – с.н.с., к.х.н., (ORCID:0000-0002-8850-032X), ИСПМ РАН, Москва;

Гильман Алла Борисовна – с.н.с. к.х.н., (ORCID 0000-0001-8059-6956), ИСПМ РАН, Москва;

Сырцова Дарья Александровна – с.н.с., к.х.н., (ORCID: 0000-0003-0738-306X), ИНХС РАН, г. Москва;

Возняк Алёна Игоревна – н.с., к.х.н., (ORCID: 0000-0002-7612-5948), ИНХС РАН, г. Москва;

Бермешев Максим Владимирович – д.х.н., зав. лаб. (ORCID: 0000-0003-3333-4384), ИНХС РАН, г. Москва;

Скрылева Елена Александровна – ведущий инженер, (ORCID 0000-0002-9588-4456), «МИСИС», Москва,

Сенатулин Борис Романович - инженер, (ORCID 0000-0001-8293-6291), «МИСИС», Москва;

Гатин Андрей Константинович - с.н.с, к. ф-м., (ORCID 0000-0003-2421-8808), ИХФ им. Н.Н. Семенова РАН, Москва,

Алентьев Александр Юрьевич – д.х.н., проф., зав. лаб. (ORCID 0000-0001-8034-9146), ИНХС РАН, г. Москва;

Кузнецов Александр Алексеевич – д.х.н., проф., зав. лаб. (ORCID: 0000-001-7527-2869), ИСПМ РАН, г. Москва.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ МНОГОСЛОЙНОЙ ОСТРОВКОВОЙ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ ДЛЯ СТМР- ДАТЧИКА

Е.С. Щербак, С.В. Сидорова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

СТМР-ДАТЧИК, ОСТРОВКОВАЯ ТОНКАЯ ПЛЕНКА,
ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ВАКУУМНОЕ ОСАЖДЕНИЕ

MODELING OF THE GEOMETRY OF A MULTILAYER ISLAND THIN FILM FOR AN STMR SENSOR

E.S. Shcherbak, S.V. Sidorova

KEYWORDS

STMR SENSOR, ISLAND THIN FILM, PHYSICAL MODELING,
VACUUM DEPOSITION

Тонкоплёночные покрытия имеют широкое применение в современной электронной промышленности для создания устройств записи и хранения информации, конденсаторов, резисторов, устройств контроля полей и сред. Потребность в улучшении характеристик данных приборов, увеличении их КПД и уменьшении габаритов растёт с каждым годом. Решением указанной проблемы могут выступать островковые тонкие плёнки (ОТП) металлов, обладающие отличительными электрическими и магнитными свойствами.

Проводимость в ОТП отличается от проводимости сплошного материала, поскольку в ОТП перенос заряда может осуществляться с помощью различных механизмов: термоэлектронной эмиссии, туннелирования, классической и прыжковой проводимости. Данный факт позволяет наблюдать проявление спин-туннельного магниторезистивного (СТМР) эффекта

в багатослойних ОТП. Існує можливість вбудувати ОТП в датчики слабких магнітних полів для підвищення їх чутливості і розрешаючої здатності.

Цілью роботи є моделювання СТМР-датчика магнітного поля для визначення необхідного кількості шарів ферромагнітних плівок.

Моделювання СТМР-датчика, функціональними шарами якого виступають ОТП Со і Ni, розділені сплошним шаром TiO₂, проводилося в програмі мультифізичного моделювання. Іслювалося величина густоти магнітного потоку і напруженості магнітного поля в двох-, трьох-, чотирьох-, восьми- і шістнадцятислойних структурах при прикладанні малих магнітних полів ($2 \cdot 10^{-8} \dots 2 \cdot 10^{-4}$ Тл). Проведено порівняння магнітних властивостей датчиків на основі сплошних і островкових плівок.

В подальшому планується отримання багатослойної ОТП з трьох ферромагнітних шарів Со і Ni і оцінка функціональної характеристики при прикладанні малих магнітних полів.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Щербак Катерина Сергеевна – бакалавр 4 курсу (ORCID: 0009-0007-2452-3999). МГТУ ім. Н.Е. Баумана, г. Москва. e-mail: icloudkatya@icloud.com

Сидорова Светлана Владимировна – кандидат технічних наук, доцент кафедри (ORCID: 0000-0002-3002-1246). МГТУ ім. Н.Е. Баумана, г. Москва. e-mail: sidorova_bmstu@mail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ В ВАКУУМЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ОСТРОВКОВОГО СЛОЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ КОНДЕНСАТОРА

И.Е. Пименов, С.В. Сидорова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ, ОСТРОВКОВЫЕ ПЛЕНКИ, КОНДЕНСАТОРЫ,
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ, ПРОБИВНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

FORMATION OF A COMPOSITE ISLAND LAYER IN VACUUM TO INCREASE THE ELECTRICAL STRENGTH OF THE CAPACITOR

I.E. Pimenov, S.V. Sidorova

KEYWORDS

VACUUM TECHNOLOGIES, ION-PLASMA TECHNOLOGIES, ION
ETCHING, ISLAND FILMS, CAPACITORS, ELECTRICAL
STRENGTH, BREAKDOWN VOLTAGE

В предыдущих работах авторов был предложен метод формирования островковых пленок для создания конденсатора повышенной емкости. Структура такого конденсатора представляет собой две обкладки с композиционным слоем диэлектрика и островков проводящего материала между обкладками. Толщина и материал диэлектрика определяют рабочее напряжение, а значит – емкость устройства.

Для получения конденсатора с максимальными показателями плотности емкости необходимо подобрать материал и толщину диэлектрика, позволяющие работать с высоким напряжением и не потерять преимущества островковых структур. Использование стандартных величин электрической прочности материалов

некоректно для структур товщини менше 1 мкм, так як при таких товщинах починає змінюватися характеристика електричної міцності матеріалу.

Цілью роботи є оцінка електричної міцності композиційного островкового шару конденсатора.

Окрім електричної міцності, пробійне напруження залежить від дислокацій, густоти вакансій, мікротріщин і домішок в структурі діелектрика. Для отримання структури з мінімальним кількістю дефектів, а значить і з найбільшим пробійним напруженням, застосовується метод магнетронного розпилення в вакуумі. Висока чистота покриттів забезпечується використанням інертного газу і розпилення в середі вакууму.

На керамічних підложках були сформовані електроди, на які осаждалися шари діелектрика різної товщини, на поверхнях діелектричних шарів формувалися вторі електроди. В результаті експериментальних досліджень встановлено напруження пробоя діелектричних шарів різної товщини.

СВЕДЕННЯ ОБ АВТОРАХ

Пименов Ілля Євгеньєвич – Аспірант 2-го року (ORCID: 0009-0004-9268-0206). ФГУП НАМИ, г. Москва, e-mail: ilyapimenov2004@gmail.com

Сидорова Светлана Владимировна – кандидат технічних наук, доцент кафедри (ORCID: 0000-0002-3002-1246). МГТУ ім. Н.Е. Баумана, г. Москва; ФГУП НАМИ, г. Москва, e-mail: sidorova_bmstu@mail.ru

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ПОДЛОЖЕК В ВАКУУМЕ

А.Д. Купцов, Г.А. Дьячков, А.М. Руденко, С.В. Сидорова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ИОННАЯ ОБРАБОТКА, ТОНКИЕ ПЛЕНКИ, ВАКУУМ,
ПОДЛОЖКА, ИСТОЧНИК ИОНОВ

DEVELOPMENT OF A COMPLEX FOR POSITIONING AND PROCESSING SUBSTRATES IN VACUUM

A.D. Kouptsov, G.A. Dyachkov, A.M. Rudenko S.V. Sidorova

KEYWORDS

ION PROCESSING, THIN FILMS, VACUUM, SUBSTRATE, ION
SOURCE

Благодаря уникальным свойствам, кардинально отличающимся от свойств массивных материалов, тонкие пленки толщинами до 1 мкм находят применение в ключевых отраслях промышленности: микроэлектроника, оптика, фотоника. Тонкие пленки являются функциональными слоями устройств, обеспечивая необходимые выходные параметры. Важным этапом технологии формирования тонкопленочных покрытий является обеспечение их высокой адгезии к подложке или предыдущему слою. Для обеспечения высокой адгезии применяются ионные технологии.

Целью работы является разработка системы ионной обработки и формирования тонкопленочных слоев в вакууме.

Разработанный комплекс для позиционирования и обработки подложки реализован на базе установки МВТУ-11-1МС, расположенной на кафедре «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Движение источника

обеспечено за счет гибкого сильфона и передачи винт-гайка, которые посредством шагового двигателя, управляемого системой автоматизированного управления, перемещают источник ионов, обеспечивая равномерную (до 10 %) обработку подложки диаметром до 100 мм. Точность и надежность выполнения цикла происходит при контроле концевыми механическими и оптическими датчиками.

Система для изменения расстояния основана на электрическом поступательном приводе, установленном между подложкодержателем и верхним фланцем вакуумной камеры. Возможность изменения расстояния между источником и подложкой обеспечивается без разгерметизации камеры.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Купцов Алексей Дмитриевич – аспирант 3 года (ORCID 0009-0002-3997-9722). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: alexkouptsov@bmstu.ru

Дьячков Георгий Антонович – студент 2 курса магистратуры (ORCID 0009-0002-4623-3806). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: georgdyach@yandex.ru

Руденко Андрей Михайлович – студент 1 курса магистратуры (ORCID: 0009-0000-0549-7296). МГТУ им. Н.Э. Баумана. e-mail: syg26mail.ru@gmail.com

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

**ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК MOS₂-ПОКРЫТИЙ ПРИ
ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ В ВАКУУМЕ**

Беликов А. И., Илларионов А. И., Синявин Н. М.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ, РЕСУРС, ТВЕРДОСМАЗОЧНОЕ
ПОКРЫТИЕ, ВАКУУМ, ТЕМПЕРАТУРА, ТРИБОМЕТР

**RESEARCH OF ANTIFRICTION PROPERTIES OF MOS₂-
COATINGS UNDER VACUUM AND HIGH
TEMPERATURE CONDITIONS**

Belikov A. I., Illarionov A. I., Sinyavin N. M.

KEYWORDS

COEFFICIENT OF FRICTION, DURABILITY, SOLID LUBRICATING
COATING, VACUUM, TEMPERATURE, TRIBOMETER

Разработка твердосмазочных покрытий для снижения трения и износа контактирующих поверхностей в механических системах является актуальной задачей. Из материалов таких покрытий выгодно выделяется дисульфид молибдена (MoS₂), обладающий высокими трибологическими характеристиками, особенно в вакууме.

Технологические режимы магнетронного нанесения влияют на структуру и свойства MoS₂-покрытий, что в конечном счете отражается на трибологических характеристиках, при этом необходимо учитывать среду испытаний и температуру образца.

В работе исследованы трибологические характеристики MoS₂-покрытий в высоком вакууме при повышенной температуре. Покрытия наносили при различной мощности разряда на магнетронных распылительных системах, в одной серии экспериментов процессы проводили при нагреве подложек до 200 °С,

в другій – без нагріву. Зразки покриттів оцінювали по коефіцієнту тертя і ресурсу.

Получення і дослідження зразків виконувалися на установці AlfaM-200 і високовакуумному трибологічному стенді HVT-450 на базі науково-виробничої компанії ООО «Електровакуумні технології». Як підкладки під покриття використовували пластинки полірованого кремнію розміром 15×15 мм². Трибологічні вимірювання проводилися за схемою «Pin-on-plate» з зворотньо-поступальним рухом згідно стандарту ASTM G133-05 в вакуумі $5 \cdot 10^{-5}$ мбар при температурі 250 °С, контактному тиску близько 1 ГПа і шляху тертя 5 м.

За результатами досліджень для покриттів, нанесених без нагріву, з ростом потужності спостерігалося погіршення трибологічних характеристик на 60%, а для випадку з підігрівом підкладок, навпаки, характеристики покращувалися на 50%.

СВЕДЕННЯ ОБ АВТОРАХ

Беликов Андрій Іванович – кандидат технічних наук, доцент (ORCID: 0000-0003-1036-9058). МГТУ ім.Н.Е.Баумана, г.Москва, e-mail: belikov@bmstu.ru

Илларионов Алексей Іванович – студент 1 курсу магістратури (ORCID: 0009-0006-7248-259X). МГТУ ім.Н.Е.Баумана, г.Москва, e-mail: iai20t159@student.bmstu.ru

Синявін Нікіта Михайлович – студент 1 курсу магістратури (ORCID: 0009-0009-9837-2956). МГТУ ім.Н.Е.Баумана, г.Москва, e-mail: nikitasinawin@ya.ru

МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД ПОЛЯРИЗАЦИИ ПВДФ ПЛЕНКИ В ПЛАЗМЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

А. Р. Зиннатуллин, Б. А. Басов, К. М. Моисеев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ПОЛЯРИЗАЦИЯ, ПВДФ, ПЛАЗМА ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА,
ПЬЕЗОКОЭФФИЦИЕНТ

GLOW DISCHARGE PLASMA SYSTEM FOR PVDF FILM POLLING

A. R. Zinnatullin, B. A. Basov, K. M. Moiseev

KEYWORDS

PVDF, POLARIZATION, GLOW DISCHARGE, PIEZOELECTRIC
EFFECT

В настоящее время для используемой в данной работе пленки ПВДФ толщиной 25 мкм производства PolyK (США) максимальное значение пьезокоэффициента d_{33} составляет ~ 27 пКл/Н и достигается при рабочем давлении 1 Па на остаточной атмосфере и напряжении тлеющего разряда 13 кВ. Однако, поверхность пленки в результате её взаимодействия с ионами кислорода приобретает жёлтый оттенок, что в случае применения ПВДФ в оптоакустических преобразователях недопустимо. Одним из вариантов решения данной проблемы может являться поляризация в инертном газе, например, в аргоне. В свою очередь, поляризация в среде чистого кислорода потенциально может позволить достичь ещё больших значений пьезоотклика плёнки ПВДФ, что важно для повышения чувствительности конечных устройств, для которых оптические свойства плёнки ПВДФ не критичны.

В настоящее время вакуумная система стенда поляризации со спиральным насосом Leybold SC30D не позволяет создавать контролируемую среду аргона или кислорода, а также проводить

дослідження при тиску нижче 0,5 Па, тому в межах модернізації стенда розроблена і зібрана вакуумна система з турбомолекулярним вакуумним насосом КУКУ серії FF-100/110Е, що дозволяє забезпечити граничне тиску порядку 10^{-3} Па і здійснювати напуск робочого газу аргону або кисню.

На модернізованому стенді планується обробка режимів поляризації для підтвердження гіпотез про вплив газової середовища, а також підвищеного напруження розряду на процес плазмової поляризації плінок ПВДФ.

Робота виконана в межах державного завдання Міністерства науки і вищої освіти Російської Федерації (тема № FSN-2025-0004).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Зиннатуллин Артур Расимович – студент бакалавриата, 3 курс (ORCID: 0009-0009-5638-4588). Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, г. Москва, e-mail: zinnatullinar@student.bmstu.ru

Басов Богдан Алексеевич – студент магистратуры, 2 курс (ORCID: 0009-0002-3051-1605). Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, г. Москва, e-mail: basovba@bmstu.ru

Моисеев Константин Михайлович – кандидат технических наук, доцент (ORCID: 0000-0002-8753-7737). Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, г. Москва, e-mail: k.moiseev@bmstu.ru

УНИВЕРСАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ PVD-ТЕХНОЛОГИЙ: КАК ОДНА УСТАНОВКА МОЖЕТ ЗАМЕНИТЬ НЕСКОЛЬКО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ.

А.С.Кривенко, И.М. Глухов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

PVD, ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ИСПАРИТЕЛЬ, ИОННЫЙ ИСТОЧНИК, ТЕХПРОЦЕСС, OLED

A UNIVERSAL SOLUTION FOR PVD TECHNOLOGIES: HOW ONE UNIT CAN REPLACE SEVERAL SPECIALISED SYSTEMS.

A.S. Krivenko, I.M. Glukhov

KEYWORDS

PVD, ELECTRON BEAM EVAPORATOR, ION SOURCE, PROCESS TECHNOLOGY, OLED

Для научных исследований в области микроэлектроники, фотоники, физики и химии поверхности применяется различное сложное оборудование. Исследователи сталкиваются с ограничениями как по бюджету в рамках гранта, так и с площадью чистого помещения.

В компактную универсальную установку EPOS-PVD-E-MAG мы можем одновременно разместить оборудование для четырёх различных методов напыления:

- Электронно-лучевой испаритель с загрузкой материалов в 1, 4 или 6 тиглей, с поворотом луча на 270 градусов.
- Магнетроны с DC или RF питанием для распыления металлов и диэлектриков, с возможностью регулируемого наклона для конфокального напыления (до 3-х шт.)

- Дві лодочки (резистивні іспарителі) з током до 300 А.
- Низькотемпературні іспарителі з тиглем (до 3-х шт.), для органічних речовин і йодидів, з точним контролем температури до 400 С або 600 С.

Автоматизовані заслонки джерел можуть швидко зупиняти напылення за сигналом від датчика товщини. Потіки іонів з джерела іонів типу Енд-холл не пошкоджують вирощені раніше структури при очищенні і асистуванні.

Для збільшеної однорідності напылення створено карусель з подвійним незалежним обертанням. Підложка може точно позиціонуватися над вибраним джерелом, а потім обертатися навколо своєї осі. Нами розроблено три варіанти нагрівачів підложек – до 350 С, до 500 С, до 800 С.

Всі технологічні вузли установок розроблені і вироблені на нашому підприємстві. Висока ступінь автоматизації забезпечує точність і повторюваність результатів, мінімізують вплив людського фактора і підвищують продуктивність.

СВЕДЕННЯ ОБ АВТОРАХ

Кривенко Александр Сергеевич – Начальник отдела вакуумных технологий. ООО "ЭПОС-Инжиниринг", Новосибирск, <https://epos-nsk.ru>, askrivenko@epos-nsk.ru

Глухов Иван Михайлович – Заместитель начальника отдела вакуумных технологий. ООО "ЭПОС-Инжиниринг", Новосибирск, glukhov_i@epos-nsk.ru

СТРОЕНИЕ ПЛЕНОК CaF_2 , ВЫРАЩЕННЫХ МОЛЕКУЛЯРНО-ЛУЧЕВОЙ ЭПИТАКСИЕЙ НА ПОДЛОЖКАХ ИЗ Si

А.Ф. Белянин, Н.И. Сушенцов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ПЛЕНКИ ФТОРИДА КАЛЬЦИЯ, МОЛЕКУЛЯРНО-ЛУЧЕВАЯ
ЭПИТАКСИЯ

STRUCTURE OF CaF_2 FILMS GROWN BY MOLECULAR BEAM EPITAXY ON Si SUBSTRATES

A.F. Belyanin, N.I. Sushentsov

KEYWORDS

CALCIUM FLUORIDE FILMS, MOLECULAR BEAM EPITAXY

Развитие техники молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) привело к созданию МДП-структур, перспективных для изготовления устройств электронной техники с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Пленки CaF_2 выращивали методом МЛЭ на подложках из $\text{Si}\{100\}$ с использованием установки LAS 2200, оснащенной системами электронной дифрактометрии и Оже-спектроскопии. Условия проведения МЛЭ: давление $5 \cdot 10^{-7}$ Па, температура диффузионной ячейки с порошком CaF_2 1523 К; температура подложки 873 К, скорость роста 0,05 мкм/ч. В процессе выращивания пленка CaF_2 подвергалась периодическому отжигу (1033 К, 10 мин). Сформированные пленки CaF_2 облучались при вакууме $6,5 \cdot 10^{-8}$ Па пучком электронов: энергия электронов $5 \cdot 10^3$ эВ; ток пучка $2 \cdot 10^{-8}$ А; плотность тока электронов 10^{-6} А/см²; доза облучения 0,2 Кл/см²; время облучения до 50 ч. Изменение элементного состава поверхности пленок в зависимости от параметров облучения оценивали по интенсивности и

енергетическому положенню полос на Оже-спектрах: KKL (для фтора) і LMM (для кальція).

Строєння поверхності плінок CaF_2 контролювали дифракцією швидких електронів (в процесі росту), а також електронною мікроскопією (установки Carl Zeiss Supra 40-30-87 і JEM 200CX). При облученні потоком електронів плівки CaF_2 приймають фіолетову окраску, пов'язану з утворенням аніонних френкелівських пар і F_2 -центрів, в яких пари електронів локалізовані навколо двох сусідніх вакансій фтора, орієнтованих по $\langle 100 \rangle$. Концентрація вакансій фтора в облучених ділянках плівки CaF_2 дорівнює $\sim 5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Енергії утворення F- і F_2 -центрів визначали за температурною залежністю електропровідності плівки CaF_2 . Спектроскопією комбінаційного розсіяння світла (КРС) (LabRAM HR 800) показано зміну фазового складу плінок CaF_2 після обробки електронним пучком. В області плівки, збагаченої F- і F_2 -центрами, спостерігали інтенсивні смуги на спектрах при зсуві КРС, рівному 157–159, ~ 299 , 352–353 і 482–483 см^{-1} . Показано можливість управління властивостями плінок CaF_2 обробкою їх пучком електронів.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Белянин Алексей Федорович – д.т.н., профессор, Инновационно-инжиниринговый центр микросенсорики РТУ МИРЭА, Москва, e-mail: belianinaf@yandex.ru

Сушенцов Николай Иванович – к.т.н., доцент, зав. каф., Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, e-mail: sniyola@mail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ МЕДНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ НА ПЛЕНКАХ ПВДФ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

К.А. Кислов, К.М. Моисеев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКИ, ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИД, ПВДФ, МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ, ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ

MAGNETRON SPUTTERING THIN FILM COPPER ELECTRODES DEPOSITION ON PVDF FILM

K.A Kislov, K.M. Moiseev

KEYWORDS

FERROELECTRICS, POLYVINYLIDENEFLUORIDE, MAGNETRON SPUTTERING, THIN FILM ELECTRODS

Полимерные сегнетоэлектрические пленки на основе поливинилденфторида (ПВДФ) могут успешно применяться вместо PZT керамики в гидрофонах, микрофонах, датчиках механического давления и вибрации, за счет высокого пьезоэлектрического коэффициента среди полимерных материалов до 30 пКл/Н, широкой полосы пропускания от 10 Гц до 1 МГц, на порядок меньшего импеданса, близкого к импедансу воды и тканям человека, а также свойствам химической инертности и гибкости.

Стандартная структура датчика на пленке ПВДФ состоит из самой пленки ПВДФ с нанесенным на её поверхности тонкопленочным электродом. Наиболее популярным методом формирования тонкопленочных электродов является магнетронное распыление. Однако, ПВДФ пленки способны утрачивать пьезоэлектрические свойства при нагреве до 100 °С, что приводит к

необходимости отработки режимов нанесения электродов, не оказывающих негативное влияние на чувствительность и работоспособность конечных устройств.

Таким образом целью данной работы является отработка режимов формирования проводящих электродов на ПВДФ пленках методом магнетронного распыления.

Результатом работы являются отработанные на установке МГТУ-1 режимы магнетронного нанесения на пленку ПВДФ (PolyK, США) медных тонкопленочных электродов толщиной от 50 до 500 нм с параметрами мощности 150 Вт постоянного тока и времени нанесения от 8 до 80 минут, при которых сохраняется высокий пьезоотклик датчиков порядка 25 пКл/Н, и поверхностное сопротивление составляет менее 0,2 Ом/□.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FSN-2025-0004).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кислов Кирилл Александрович – студент 4 курса бакалавриата, (ORCID: 0009-0006-9409-7043). Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва e-mail: kka21t120@student.bmstu.ru

Моисеев Константин Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении» (ORCID: 0000-0002-8753-7737). Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва e-mail: k.moiseev@bmstu.ru

ВЫБОР КОМПОНОВОКИ ВАКУУМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ МАГНЕТРОННОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.И. Беликов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАРИАНТЫ КОМПОНОВКИ, ВЫБОР КОМПОНОВКИ,
МАГНЕТРОННОЕ НАНЕСЕНИЕ, ПОКРЫТИЕ, ВАКУУМНОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

THE MAGNETRON DEPOSITION ON A COMPLEX SHAPE PARTS VACUUM EQUIPMENT LAYOUT SELECTION BASED ON MODELING

A.I. Belikov

KEYWORDS

COMPUTER SIMULATION, MAGNETRON SPUTTERING,
COATING, LAYOUT SELECTION

Расширение спектра изделий, на которые нужно осаждать покрытия магнетронным методом, усложнение форм деталей, на поверхностях которых покрытие должно соответствовать требованиям по высокой равномерности, приводят к необходимости разработки компоновок технологических систем оборудования нанесения тонких пленок.

Среди множества факторов, влияющих на выбор оптимального структурно-компоновочного варианта реализации технологической системы оборудования магнетронного нанесения, можно отметить следующие:

1. Визначають якість формуваних покриттів: необхідні функціональні властивості і товщина, рівномірність її розподілу по поверхні виробу.
2. Впливають на продуктивність обладнання: тривалість технологічного циклу і кількість одночасно оброблюваних виробів.
3. Лімітують можливості реалізації технологічного процесу: обмеження на режими проведення процесів нанесення, геометрія і розмірні обмеження технологічних джерел.

Цифрові рішення на основі методів дискретного моделювання надають можливості для реалізації ітераційних підходів при розробці і виборі оптимальної компоновки з урахуванням множини критеріїв. Застосування комп'ютерного моделювання техпроцесу для попереднього, швидкого розрахунку геометричних компоновок технологічної системи, дозволяє суттєво знизити часові витрати на проработку можливих рішень, підвищити ефективність і якість вибору найкращого варіанта компоновки обладнання магнетронного нанесення покриттів.

У роботі представлена методика, що забезпечує вибір оптимального структурно-компоновочного варіанта технологічної системи магнетронного нанесення покриттів на крупнорозмірні деталі складної форми на основі результатів моделювання з використанням авторської програми «TFDepositionR».

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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

РАЗРАБОТКА ПОДЛОЖКОДЕРЖАТЕЛЯ С НАГРЕВОМ ДЛЯ УСТАНОВКИ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

С.Ю. Хыдырова, В.А. Кулаков, С.С. Романов, Т.И. Мавлявиев,
М.Г. Попков, И.С. Фетисов, К.М. Моисеев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ, ТОНКИЕ ПЛЁНКИ, НАГРЕВ
ПОДЛОЖКИ, СТЕПЕНЬ КРИСТАЛЛИЧНОСТИ,
ПОДЛОЖКОДЕРЖАТЕЛЬ, ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ НАГРЕВ

DEVELOPMENT OF A HEATED SUBSTRATE HOLDER FOR MAGNETRON SPUTTERING SETUP

S.Yu. Hydyrova, V.A. Kulakov, S.S. Romanov, T.I. Mavliaviev,
M.G. Popkov, I.S. Fetisov, K.M. Moiseev

KEYWORDS

MAGNETRON SPUTTERING, THIN FILMS, SUBSTRATE HEATING,
DEGREE OF CRYSTALLINITY, SUBSTRATE HOLDER, HIGH
TEMPERATURE HEATING

Известно, что как сверхпроводящие плёнки Nb_3Ge , Nb_3Al , Nb_3Si , V_3Si , так и прозрачные проводящие плёнки ИТО необходимо формировать при высоких температурах подложки для обеспечения кристалличности структуры.

Для повышения степени кристалличности формируемых плёнок разработан подложкодержатель, обеспечивающий нагрев до температуры $600^{\circ}C$ с помощью керамического ИК излучателя. Для защиты нагревателя от запыления и снижения потерь тепла спроектирован рефлектор. Температура подложкодержателя и нагревателя контролируется термопарами типа К. Экспериментально установлено, что разработанная конструкция обеспечивает температуру на пластине подложкодержателя $600^{\circ}C$ при напряжении

питання 170 В. Обнаружено, что температура заслонок магнетронов в данных условиях составляет 200°C, а температура вала вращения подложкодержателя 110°C.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Хыдырова Селби Юсуповна – аспирант 4 года, ассистент (ORCID 0000-0002-5510-0899). МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва. e-mail: hydrova@bmstu.ru

Кулаков Вадим Андреевич – студент 1 курса магистратуры кафедры МТ-11 (ORCID 0009-0000-0771-2359) МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва. e-mail: kulakovva@student.bmstu.ru

Романов Сергей Сергеевич – студент 3 курса бакалавриата кафедры МТ-11 (ORCID 0009-0002-3209-4008) МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва. e-mail: romanovss1@student.bmstu.ru

Мавлявиев Тимур Ильгизарович - студент 3 курса бакалавриата кафедры МТ-11 (ORCID 0009-0001-2689-428X) МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва. e-mail: mti22t246@student.bmstu.ru

Попков Михаил Геннадьевич – студент 2 курса магистратуры кафедры МТ-11 (ORCID 0009-0006-7364-8942) МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва. e-mail: popkovmg@student.bmstu.ru

Фетисов Иван Сергеевич – студент 3 курса бакалавриата кафедры МТ-11 (ORCID 0009-0003-5507-6387) МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва. e-mail: fis22t033@student.bmstu.ru

Моисеев Константин Михайлович – к.т.н., доцент кафедры МТ-11 (ORCID 0000-0002-8753-7737) МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва. e-mail: moiseev@bmstu.ru

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАТКИ ДЛЯ КВАРЦЕВОГО МИКРОВЗВЕШИВАНИЯ IN SITU

С. Ю. Хыдырова, Б.Р. Гусейнов, И.С. Фетисов,
Т.И. Мавлявиев, С.С. Романов, К.М. Моисеев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ, ТОНКИЕ ПЛЕНКИ,
КВАРЦЕВОЕ МИКРОВЗВЕШИВАНИЕ, КВАРЦЕВЫЙ РЕЗОНАТОР

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR QUARTZ MICRO-WEIGHING

S. Yu. Hydyrova, B. R. Guseynov, I. S. Fetisov, S.S. Romanov, T.I.
Mavliaviev, K. M. Moiseev

KEYWORDS

MAGNETRON SPUTTERING, THIN FILMS, QUARTZ MICRO-
WEIGHING, QUARTZ RESONATOR

Формирование двухкомпонентных ультратонких плёнок для сверхпроводниковых однофотонных детекторов требует контроля как толщины, так и соотношения компонентов в плёнке с высокой точностью. При формировании двухкомпонентных плёнок совместным магнетронным распылением из двух источников измерение массовой скорости осаждения позволяет обеспечивать требуемое атомное соотношение компонентов в плёнке, в связи с чем при отработке технологии целесообразно использовать кварцевое микровзвешивание.

В данной работе для контроля массы сформированной плёнки *in situ* предлагается использование стандартных кварцевых резонаторов для выводного монтажа. Для ввода сигнала в вакуумную камеру используется стандартный промышленный герметичный высокочастотный разъём СРГ50-166ФВ. Спроектирована

технологічна оснастка з корпусом для кварцевого резонатора, забезпечуюча його швидке закріплення і заміну, а також розміщення непрямо на підложкодержателі.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Хыдырова Селби Юсуповна – аспірант 4 року і асистент кафедри МТ-11 (ORCID 0000-0002-5510-0899) МГТУ ім. Н. Э. Баумана, г. Москва e-mail: hydyrova@bmstu.ru

Гусейнов Бегляр Рауфович - студент 4 курсу бакалавріата кафедри МТ-11 (ORCID 0009-0003-2926-5336) МГТУ ім. Н. Э. Баумана, г. Москва e-mail: beglyar04.guseynov@mail.ru

Фетисов Іван Сергєєвич – студент 3 курсу бакалавріата кафедри МТ-11 (ORCID 0009-0003-5507-6387) МГТУ ім. Н. Э. Баумана г. Москва e-mail: ifetisov21@yandex.ru

Романов Сергєє Сергєєвич – студент 3 курсу бакалавріата кафедри МТ-11 (ORCID 0009-0002-3209-4008) МГТУ ім. Н. Э. Баумана, г. Москва. e-mail: romanovss1@student.bmstu.ru

Мавлявиев Тимур Ільгізарович - студент 3 курсу бакалавріата кафедри МТ-11 (ORCID 0009-0001-2689-428X) МГТУ ім. Н. Э. Баумана, г. Москва. e-mail: redchet2626@mail.ru

Моїсєєв Константін Михайлович – к.т.н., доцент кафедри МТ-11 (ORCID 0000-0002-8753-7737) МГТУ ім. Н. Э. Баумана, г. Москва e-mail: moiseev@bmstu.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО ХРОМОВОГО ПОКРЫТИЯ ОБОЛОЧКИ ТВЭЛА

В.К. Егоров, Е.В. Егоров, Т.В. Сеткова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

РОР, РФА ПВО, КОРРОЗИЯ, ОБОЛОЧКА ТВЭЛА

THICKNESS OPTIMIZATION OF CR PROTECTIVE COATING FOR FUEL ELEMENT SHELL

V.K. Egorov, E.V. Egorov, T.V. Setkova

KEYWORDS

RBS, TXRF, CORROSION, SHELL OF FUEL ROD

Ранее выполненные нами исследования эффективности повышения коррозионной стойкости оболочки ТВЭЛа за счет использования наноразмерного хромового покрытия, нанесенного на ее внешнюю поверхность, показало, что применение Cr пленки толщиной около 20 нм повышает коррозионную стойкость оболочки не менее чем в полтора раза [1]. В данной работе была поставлена задача поиска оптимальной толщины такого покрытия. Методами РОР и РФА ПВО выполнен сравнительный анализ влияния термобарической обработки на немодифицированную оболочку ТВЭЛа и на оболочки с хромовым покрытием толщиной 10, 30 и 50 нм. Как и в предыдущей работе, обработка выполнялась с использованием специализированной ячейки при температуре 400°C и давлении 100 атм в течение 60 часов. Экспериментальные измерения показали, что толщина верхнего глубоко окисленного слоя изученных объектов составила 3650 нм для немодифицированной оболочки и 1700, 1900 и 2000 нм для модифицированных структур с Cr покрытием толщиной 10, 30 и 50 нм, соответственно. При этом толщина поверхностных слоев, содержавших водород, для исходной оболочки равнялась 3200 нм, а для модифицированных структур –

140, 160 и 165 нм для пленок толщиной 10, 30 и 50 нм. Сопоставление результатов, полученных в процессе выполнения представленных в данной работе исследований, и данных, опубликованных в предварительно выполненных измерениях [1], дает основание полагать, что толщина хромового покрытия, оптимально предохраняющая оболочку ТВЭЛа от коррозии в результате воздействия на него пароводяной смеси высоких параметров составляет величину, близкую к 15 нм. Представлена модель механизма воздействия перегретой пароводяной смеси на поликристаллический материал оболочки ТВЭЛа в условиях наличия/отсутствия наноразмерного хромового покрытия.

Работа была выполнена в рамках государственного задания № 075-00295-25-00.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.К. Егоров, Е.В. Егоров, Т.В. Сеткова. Стойкость к коррозии оболочек ТВЭЛа пароводяной смеси высоких параметров // Вестник Российского вакуумного общества (РВО). №3(5), 2024, С. 1-15.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Егоров Владимир Константинович – кандидат физико-математических наук (ORCID: 0000-0001-6697-560X). Институт проблем технологии микроэлектроники РАН, г. Черноголовка Московской обл. e-mail: egorov@iptm.ru

Егоров Евгений Владимирович – (ORCID: 0000-0003-1552-2859). Институт проблем технологии микроэлектроники РАН, г. Черноголовка Московской обл. Институт радиотехники и электроники РАН, г. Фрязино Московская обл. e-mail: egorov@iptm.ru

Сеткова Татьяна Викторовна – кандидат химических наук (ORCID: 0000-0002-8344-2271). Институт экспериментальной минералогии РАН, г. Черноголовка Московской обл. e-mail: setkova@iem.ac.ru

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

Секція 4
НАНОТЕХНОЛОГІЯ І
БИОТЕХНОЛОГІЯ

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

ТЕХНОЛОГИИ МИНИМИЗАЦИИ ДЕСОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭВП

А.В. Парашук, Е.П. Шешин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ДЕСОРБЦИЯ, АДСОРБЦИЯ, ДИФФУЗИЯ, МЕТАЛЛОСПЛАВНЫЕ КАТОДЫ, ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ, ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА, КАТОДЫ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ

TECHNOLOGIES FOR MINIMIZING DESORPTION PROCESSES IN THE PRODUCTION OF EVP

A.V. Parashchuk, E.P. Sheshin

KEYWORDS

DESORPTION, ADSORPTION, DIFFUSION, METAL ALLOY CATHODES, ELECTROVACUUM DEVICES, PRODUCTION TECHNOLOGIES, PLATINUM GROUP CATHODES

С появлением современных вызовов производство ЭВП получает все более жесткие требования к эксплуатационным характеристикам своих приборов. За счет вводимых специфических условий эксплуатации ЭВП влияние десорбционных процессов с каждым годом усугубляется. Ранее уже было показано, что появление десорбции газа может способствовать возникновению пробоев после достижения критической величины напряженности электрического поля. Эта критическая напряженность обусловлена в первую очередь конфигурацией электродов, комбинацией используемых в приборе материалов, имеющей их шероховатости, а также общей степени обезгаживания ЭВП. Поэтому для обеспечения долговечности и стабильности эмиссии при выборе материалов внутренней арматуры основное внимание уделяется именно способности материалов быстро удалять газы, а технологии обработки подбираются в зависимости от требований к ЭВП при длительной эксплуатации.

Так, с практической точки зрения наибольшую распространенность получили металлосплавные катоды в двух вариантах: IrP_3M (где P_3M – редкоземельные металлы) и PtBa . Однако при длительной эксплуатации катоды IrLa и IrCe , являясь монослойными, где лантан и церий формируют структуру для эмиссии на поверхности иридия, оказываются малотехнологичными. Вторым примером сплавного катода является сплав PtBa , выступающий в качестве вторичного источника электронов. Аналогичные свойства имеет прессованный металлосплавный катод Pd_3Ba . Разработанная для них циклическая водородно-вакуумная термообработка позволяет достигнуть практически полного удаления адсорбентов углерода и кислорода.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Анастасия Владиславовна Парашук – аспирант (ORCID 0009-0009-4173-9227). Московский физико-технический институт (МФТИ), Долгопрудный, Московской обл. e-mail: parashchuk.av@mipt.ru
Евгений Павлович Шешин – доктор физико-математических наук, профессор (ORCID: 0000-0003-2750-4797), зам. зав. кафедрой электроники, зав. лабораторией вакуумной и СВЧ электроники, МФТИ, Москва. e-mail: sheshin.ep@mipt.ru.

МОДИФИЦІВАННЯ ТРЕКОВИХ МЕМБРАН ПУТЕМ ОСАЖДЕННЯ НА ЇХ ПОВЕРХНОСТІ ФТОРОПОЛИМЕРНИХ ПОКРИТТЯ

Л.І. Кравець, М.Ю. Яблоков, М.А. Ярмоленко

КЛЮЧЕВІ СЛОВА

ТРЕКОВІ МЕМБРАНИ, ПОЛИМЕРНІ ПОКРИТТЯ,
КОМПОЗИЦІОННІ МЕМБРАНИ

MODIFICATION OF TRACK-ETCHED MEMBRANES BY DEPOSITION OF FLUOROPOLYMER COATINGS ON THEIR SURFACE

L.I. Kravets, M.Yu. Yablokov, M.A. Yarmolenko

KEYWORDS

TRACK-ETCHED MEMBRANES, POLYMER COATINGS,
COMPOSITE MEMBRANES

Модифікування полімерних матеріалів, в тому числі мембран, являється універсальним підходом, дозволяючим варіювати в широкому діапазоні їх фізико-хімічні, механічні та експлуатаційні характеристики. Одним із сучасних методів модифікування мембран являється нанесення на їх поверхню тонких полімерних покриттів. Таке модифікування призводить до утворення композиційних мембран, що складаються із пористої підкладки – вихідної мембрани та осажденного шару полімера. Найбільший інтерес представляє розробка методів створення двохшарових композиційних мембран, в яких один із шарів має гідрофільну основу, а другий тонкий шар має гідрофобні властивості. Мембрани подібного будови, поряд із традиційно застосовуваними гідрофобними мембранами із полівиніліденфториду (ПВДФ),

политетрафторэтилена (ПТФЭ) и полипропилена (ПП), находят применение в процессах мембранной дистилляции для опреснения морской воды. Использование тонкого гидрофобного слоя в сочетании с толстым гидрофильным подслоем позволяет повысить производительность данного процесса за счет снижения сопротивления массопереносу.

В данной работе проведено сравнительное исследование поверхностных свойств и химической структуры полимерных покрытий, осажденных на поверхности трековых мембран (ТМ) из полиэтилентерефталата (ПЭТФ) путем плазмохимической полимеризации 1,1,1,2-тетрафторэтана (ТФЭ), а также методами магнетронного распыления и электронно-лучевого диспергирования ПТФЭ в вакууме с целью получения композиционных мембран для опреснения воды. Показано, что применение данных методов модифицирования приводит к образованию композиционных мембран, состоящих из двух слоев, одним из которых является исходная ПЭТФ ТМ, характеризующаяся средним уровнем гидрофильности. Угол смачивания ее поверхности составляет 65° . Второй слой имеет гидрофобную природу. Угол смачивания этого слоя, в зависимости от его толщины и используемого метода модифицирования, изменяется от 92° до 160° . Установлено, что химическая структура покрытий, осажденных методом электронно-лучевого диспергирования ПТФЭ, в большей степени соответствует структуре исходного полимера по сравнению с покрытиями, полученными методами плазмохимической полимеризации ТФЭ и магнетронного распыления ПТФЭ. Показано, что композиционные мембраны разработанного образца могут быть применены для обессоливания водного раствора хлорида натрия методом мембранной дистилляции.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кравец Любовь Ивановна – старший научный сотрудник, кандидат технических наук (ORCID: 0000-0001-8468-4259), Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской обл. e-mail: kravets@jinr.ru

ХІХ міжнародна науко-технічна конференція
«Вакуумна техніка, матеріали і технологія» Москва,
ЦВК «Експоцентр», 01-03 квітня 2025 року

Яблоков Михайл Юрьевич – старший науковий співробітник, кандидат фізико-математических наук (ORCID: 0000-0003-4572-8989), Інститут синтетических полімерних матеріалів ім. Н.С. Еніколопова РАН, г. Москва. e-mail: yabl1@yandex.ru
Ярмоленко Максим Анатольевич – доцент, доктор техніческих наук (ORCID: 0000-0002-1283-8762), Гомельський державний університет ім. Ф. Скорины, г. Гомель, Беларусь. e-mail: simmak79@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ

М.Р. Войтухов, Р.А. Цырков, Д.Ю. Кукушкин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

СУПЕРКОНДЕНСАТРЫ, ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА, УГЛЕРОДНОЕ ВОЛОКНО, НАНОЧАСТИЦЫ, ЭЛЕКТРОФОРЕЗ

INVESTIGATION OF THE SURFACE OF CARBON FIBER MODIFIED WITH METAL NANOPARTICLES

M.R. Voitukhov, R.A. Tsyrcov, D.Yu. Kukushkin

KEYWORDS

SUPERCAPACITORS, CHEMICAL CURRENT SOURCES, CARBON FIBER, NANOPARTICLES, ELECTROPHORESIS

Углеродное волокно является перспективным материалом для создания электродов суперконденсаторов благодаря его высокой электропроводности, химической стойкости и развитой удельной поверхности. Одним из эффективных методов улучшения его характеристик является модификация поверхности наночастицами металлов, что позволяет повысить электропроводность, каталитическую активность и механическую стабильность материала.

В ходе исследования был проведен процесс электрофоретического осаждения (ЭФО) наночастиц металлов на поверхность углеродного волокна (бусофит). Бусофит закладывается в электрофоретическую ванну, которую заполняют коллоидным раствором металлических наночастиц (Cu, Zn, Mn, Ag). После заполнения емкости подается напряжение, за счет наличия у наночастиц металлов заряда, они перемещаются под воздействием

електричного тока на материал, образуя тонкопленочную структуру.

Для анализа структуры и состава модифицированного волокна применялся метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Исследования показали, что модификация углеродного волокна наночастицами металлов позволяет значительно увеличить активную поверхность материала, улучшить его электропроводность и механическую прочность (тогда это надо показать).

Полученные результаты подтверждают, что модификация углеродного волокна наночастицами металлов перспективна для применения в суперконденсаторах, поскольку способствует увеличению удельной емкости и снижению внутреннего сопротивления. Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию процесса осаждения и изучение стабильности модифицированных материалов при длительной эксплуатации.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России, номер темы FSFF-2023-0008..

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Войтухов Макар Романович – (ORCID: 0009-0006-6103-9517).

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва. e-mail: Makarvoytuh@gmail.com

Кукушкин Дмитрий Юрьевич – кандидат технических наук, (ORCID: 0000-0002-6968-1495), доцент кафедры 1204, Московский авиационный институт, Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993, e-mail: Skyline34@nxt.ru

Цырков Роман Александрович – ассистент кафедры 1204, Московский авиационный институт, Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993, e-mail: poma1992@yandex.ru

АВТОКАТОДЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Сай Тхвин Наинг Зо, Е.П. Шешин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ, АВТОКАТОДЫ, ЭЛЕКТРОННАЯ
ЭМИССИЯ, АВТОЭМИССИЯ

CARBON NANOTUBE-BASED FIELD EMISSION CATHODES

Sai Thwin Naing Zaw , E.P. Sheshin

KEYWORDS

CARBON NANOTUBES, FIELD EMISSION CATHODES,
ELECTRON EMISSION, FIELD EMISSION

Из всего многообразия углеродных материалов наиболее популярными для использования в качестве автоэмиссионных катодов являются углеродные нанотрубки (УНТ). Благодаря высокому аспектному отношению, соотношению диаметра и длины трубки, они обладают большим значением коэффициента усиления поля, следовательно, характеризуются низким рабочим напряжением. В связи с этим нанотрубки из углерода считаются одним из самых перспективных материалов для разработки автоэмиссионных катодов, что объясняет повышенный интерес к этому типу материалов со стороны исследователей. Углеродные нанотрубки обладают уникальными автоэмиссионными свойствами, что делает их перспективными для применения в вакуумной электронике и других высокотехнологичных устройствах.

В работе приводятся результаты исследований влияния на свойства автокатодов технологии получения трубок, различных типов модифицирующих воздействий, геометрии эмиттера и т.п.

Дальніші дослідження направлені на покращення стабільності емісійного струму, підвищення довговічності і розробку технологій масового виробництва УНТ для комерційних застосувань.

СВЕДЕННЯ ОБ АВТОРАХ

Сай Тхвін Наїнг Зо – аспірант, Московський фізико-технологічний інститут (МФТІ), Долгопрудний, Московської обл.
email: saithwinnaingzaw84@gmail.com

Шешин Євгеній Павлович – доктор фізико-математичних наук, професор, зам. Заведуючого кафедрою електроніки, МФТІ, Москва. email: sheshin.ep@mipt.ru

УГЛЕРОНИЕ МАТЕРИАЛЫ КАК АВТОКАТОДЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУШЕК

Чит Фон Паинг, Е.П. Шешин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЭЛЕКТРОННЫЕ ПУШКИ , АВТОКАТОДЫ, УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ВАКУУМНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

CARBON MATERIALS AS FIELD EMISSION CATHODES

Chit Phone Paing , E.P. Sheshin

KEYWORDS

ELECTRON GUN, AUTO-CATHODES, CARBON MATERIALS, VACUUM ELECTRONIC

Материалы на основе углерода, такие как углеродные нанотрубки (УНТ), графен и алмазоподобный углерод , становятся перспективными автокатадами для электронных пушек из-за их исключительной электропроводности, высокой термической стабильности и низкой работы выхода. Эти материалы обеспечивают эффективную эмиссию электронов через механизмы полевой эмиссии и термоионизации, часто требуя более низких рабочих напряжений по сравнению с традиционными материалами, такими как гексаборид вольфрама или лантана . УНТ, в частности, предлагают высокие соотношения сторон, которые улучшают свойства полевой эмиссии, в то время как высокая подвижность электронов графена и отрицательное сродство к электрону алмаза дополнительно улучшают производительность. Углеродные автокатады также демонстрируют превосходную устойчивость к деградации, что делает их пригодными для долгосрочного применения в вакуумной электронике, источниках рентгеновского излучения и космических двигательных системах.

В доповіді розглядаються особливості застосування в електронних пушках різних видів поліакрилонітрильних вуглеродних волокон. Їх емісійні і довготривалі характеристики, а також варіанти катодно-модуляторних вузлів на їх основі.

СВЕДЕННЯ ОБ АВТОРАХ

Чит Фон Паинг – аспірант, Московський фізико-технологічний інститут (МФТИ), Долгопрудний, Московської обл. email:
chitphonepaing@phystech.edu

Шешин Євгеній Павлович – доктор фізико-математичних наук, професор, зам. Заведуючого кафедрою електроніки, МФТИ, Москва. email: sheshin.ep@mipt.ru

ОСОБЕННОСТИ АВТОКАТОДОВ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ ФОЛЬГ

Тхет Хму Маунг, Е.П. Шешин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

УГЛЕРОДНЫЕ ФОЛЬГИ, АВТОКАТОДЫ, ПОЛЕВАЯ ЭМИССИЯ,
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ЭЛЕКТРОННЫЕ
УСТРОЙСТВА

FEATURES OF CARBON FOIL FIELD EMISSION CATHODES

Thet Hmu Maung , E.P. Sheshin

KEYWORDS

CARBON FOILS , FIELD EMISSION CATHODES , FIELD
EMISSION, NANOSTRUCTURED MATERIALS, ELECTRONIC
DEVICES

Увеличение автоэмиссионного тока, необходимого во многих электронных приборах связано с увеличением эмиссионной поверхности, т.к. плотность автоэлектронного тока отражена механической прочностью материала автокатаода.

Поэтому для увеличения амплитуды автоэмиссионного тока необходимо увеличить эффективную поверхность автокатаода. Наиболее очевидный и удобный путь – это применение в качестве автокатаодов углеродных фольг.

Углеродные фольги, полученные методами химического осаждения из паровой фазы (CVD) и пиролиза полимерных прекурсоров, демонстрируют уникальные свойства, такие как высокая электропроводность, термическая стабильность и низкий порог эмиссии. Эти характеристики делают их перспективными для применения в вакуумной микроэлектронике, источниках электронов и других высокотехнологичных устройствах. Особое внимание

уділено впливлю морфології поверхні і наноструктурних особливостей на емісійні властивості. Експериментальні дані показують, що наявність нанорозмірних виступів і гострих країв значно підвищує ефективність польової емісії.

В доповіді розглядаються особливості конструкції і емісійні характеристики автокатодів з графену, пірографіту і фольги з терморозширеного графіту.

СВЕДЕННЯ ОБ АВТОРАХ

Тхет Хму Маунг – аспірант, Московський фізико-технологічний інститут (МФТІ), Долгопрудний, Московської обл. email: thethmumaung@phystech.edu

Шешин Євгеній Павлович – доктор фізико-математичних наук, професор, зам. Заведуючого кафедрою електроніки, МФТІ, Москва. email: sheshin.ep@mipt.ru

ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ

Д.В. Новиков, С.В. Сидорова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, УГЛЕРОДНЫЕ
НАНОСТРУКТУРЫ, ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ,
ОБЪЁМНЫЙ ГЕТЕРОПЕРЕХОД

ORGANIC SOLAR CELLS WITH CARBON NANOSTRUCTURES

N.V. Novikov, S.V. Sidorova

KEYWORDS

ORGANIC SOLAR CELLS, CARBON NANOSTRUCTURES,
PHOTOVOLTAIC EFFECT, BULK HETEROJUNCTION

Органические солнечные элементы (ОСЭ) представляют собой перспективное направление в области альтернативной энергетики благодаря их гибкости, лёгкости и низкой стоимости производства. ОСЭ отличаются от традиционных кремниевых солнечных элементов использованием органических материалов, которые обеспечивают уникальные свойства устройств и открывают новые области их применения.

Эффективность и стабильность работы ОСЭ зависят от материалов, используемых в различных слоях устройства. Ключевыми являются донорный и акцепторный слои, которые составляют активный слой, обеспечивающий генерацию заряда под воздействием солнечного света. Однако на работу солнечного элемента также значительно влияют свойства слоёв электродов, вспомогательных дырочно-транспортного или электронно-транспортного слоев. Выбор материалов для каждого слоя играет

решаючу роль в забезпеченні високої ефективності і довготривалої стабільності пристрою.

Особий інтерес представляють вуглеродні матеріали, які знаходять все більше застосування в ОСЕ завдяки їх низькій вартості, доступності, високій хімічній стабільності і екологічності.

Цілью дослідження є обробка режимів формування вуглеродних наноструктур для електродів органічних сонячних елементів.

Вуглеродні електроди формуються методом магнетронного розпилення на лабораторній установці МВТУ-11-1МС, розташованій на кафедрі «Електронні технології в машинобудуванні» МГТУ ім. Н.Е. Баумана. Аналізуються морфологія, провідність і робота вихода вуглеродних нанорозмірних плінок, а також їх взаємодія з іншими шарами ОСЕ.

Отримані результати дозволять оцінити перспективність вуглеродних наноматеріалів для покращення характеристик пристроїв і розробки більш стабільних і ефективних сонячних елементів.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Новиков Дмитрий Васильевич – студент 4 курса (ORCID: 0009-0000-2421-5223). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: Animadoro@yandex.ru

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

ИССЛЕДОВАНИЕ **ВЛИЯНИЯ**
НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ **ЭЛЕКТРОДНОГО**
МАТЕРИАЛА **НА** **ХАРАКТЕРИСТИКИ**
СУПЕРКОНДЕНСАТОРА

Д.Ю. Кукушкин, В.В. Слепцов, А.О. Дителева, Р.А. Цыркoв

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ, СУПЕРКОНДЕНСАТОР,
НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ, ВОДНЫЙ ЭЛЕКТРОЛИТ,
НАНОЧАСТИЦЫ, УГЛЕРОДНАЯ МАТРИЦА, УГЛЕРОДНОЕ
ВОЛОКНО

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF
NANOSTRUCTURING OF AN ELECTRODE MATERIAL
ON THE CHARACTERISTICS OF A SUPERCAPACITOR

D.Yu. Kukushkin, V.V. Sleptsov, A.O. Diteleva, R.A. Tsyrvkov

KEYWORDS

NANOSTRUCTURING, SUPERCAPACITOR, ENERGY STORAGE,
AQUEOUS ELECTROLYTE, NANOPARTICLES, CARBON MATRIX,
CARBON FIBER

В последние годы технологии хранения энергии становятся все более актуальными в свете растущей потребности в эффективных и надежных источниках энергии. Суперконденсаторы выделяются среди других устройств благодаря своей способности обеспечивать высокую плотность мощности и длительный срок службы. Однако для достижения оптимальных характеристик суперконденсаторов необходимо улучшить свойства их электродных материалов. Основными параметрами к перспективным накопителям энергии выделяют рост энергоемкости и безопасности.

Одним из перспективных направлений, способствующих улучшению характеристик накопителей энергии, является наноструктурирование электродного материала. Наноструктуры, такие как наноструктурированные пористые углеродные материалы, металлы и металлические оксиды, способны значительно увеличить площадь поверхности и улучшить электропроводность, что, в свою очередь, ведет к увеличению емкости и скорости зарядки/разрядки устройств. Еще одним фактором уменьшения эффективности накопителей энергии является технология изготовления. Перспективно вместо толсто пленочной технологии, которая реализуют лишь 10-15% от теоретически возможной энергоемкости, использовать тонкопленочную технологию изготовления накопителей энергии, что позволяет на порядки снизить внутреннее сопротивление ячеек, с целью снижения тепловыделения и увеличению удельной энергоемкости и безопасности эксплуатации, которые являются наиболее важными требованиями к ячейкам.

В данной работе было исследовано влияние наноструктурирования электродного материала по тонкопленочной технологии на характеристики суперконденсатора. Наноструктурирование проводилось в высокопористом углеродном волокне «Бусофит» ($1200 \text{ м}^2/\text{г}$) с тонким слоем титана толщиной 5 мкм. Наноструктурирование проводилось наночастицами серебра размером 5-10 нм в электроимпульсной установке, позволяющей одновременно получать наночастицы различных металлов и осаждать их внутрь пористых материалов.

Было выявлено, что наноструктурирование наночастицами серебра по тонкопленочной технологии позволило повысить время разряда суперконденсаторов в 2 раза, снизить внутренне сопротивление ESR на 70% и увеличить удельную энергоемкость на 32%. При сравнении с аналогами изготовленный суперконденсатор превосходит их по удельной емкости на 37%, а по рабочему напряжению на 62%. Разработанная тонкопленочная электроимпульсная технология позволяет наносить наноструктуры и других металлов и сплавов и имеет высокую перспективу также при разработке катодных материалов химических источников тока.

Работа была выполнена в рамках государственного задания
Минобрнауки России, номер темы FSFF-2023-0008.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кукушкин Дмитрий Юрьевич – кандидат технических наук, (ORCID: 0000-0002-6968-1495), доцент кафедры 1204, Московский авиационный институт, Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993, e-mail: Skyline34@nxt.ru

Слепцов Владимир Владимирович - доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0002-1171-336X), заведующий кафедрой 1204, Московский авиационный институт, Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993, e-mail: 08fraktal@inbox.ru

Дителева Анна Олеговна – кандидат технических наук, (ORCID:0000-0002-0819-6517), доцент кафедры 1204, Московский авиационный институт, Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993, e-mail: anna.diteleva@mail.ru

Цырков Роман Александрович – ассистент кафедры 1204, Московский авиационный институт, Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993, e-mail: roma1992@yandex.ru

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ
НАНОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ В ЖИДКИХ СРЕДАХ**

Р.А. Цырков, Д.Ю. Кукушкин, А.О. Дителева, В.В. Слепцов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

НАНОДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИМПУЛЬСНЫЙ ПРОБОЙ, ВЗРЫВНАЯ
ЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ, КОЛЛОИДНЫЕ РАСТВОРЫ

**MATHEMATICAL MODELING OF AN ELECTRIC PULSE
METHOD FOR OBTAINING NANODISPERSE SYSTEMS
IN LIQUID MEDIA**

R.A. Tsyrykov, D.Yu. Kukushkin, A.O. Diteleva, V.V. Sleptsov

KEYWORDS

NANODISPERSE SYSTEMS, MATHEMATICAL MODELING, PULSE
BREAKDOWN, EXPLOSIVE ELECTRON EMISSION, COLLOIDAL
SOLUTIONS

Разработка новых наноматериалов для применения в электронике, энергетике и медицине остается актуальной задачей современной науки. Среди методов получения наночастиц электроимпульсный метод выделяется высокой эффективностью, однако его оптимизация требует детального понимания физико-химических процессов, сопровождающих разряд в жидкостях. Несмотря на значительный объем исследований, вопросы математического описания эрозионных процессов и формирования наночастиц остаются недостаточно изученными. Целью данной работы является разработка физико-математической модели импульсного электрического разряда в жидкости для

прогнозування характеристик, синтезованих нанодисперсних систем і автоматизація процесу їх отримання.

В даній роботі представлено комплексне дослідження процесів імпульсного електричного розряду в жидкостях, направлене на створення математическої моделі, прогнозуєть параметри синтезу наночастиць металів. Основне уваження уделено аналізу фізических механізмів пробоя (ударна іонізація, автоелектронна емісія) і ерозії електродів, супроводжуєть взривної електронної емісією (ВЭЭ). На основі модифікованної моделі Г.А. Месяца, уривуюєть коніческу геометрію мікроострій і теплоперенос, розробтані уривнення, звязуєть довжінність імпульса (1–10 нс), напруженіє (5–10 кВ) і міжелектродний зазор (50–200 мкм) с концентрацією синтезованих наночастиць.

Експериментальна установка і система контролю параметрів розряду, дозволила отримати коллоїдні розтвори сребра с контролем концентрації *in situ*. Використання методу взвешивання сухого остатка підтвердило, що расчётніє значення концентрації демонструють середнє відхилення от експериментальних даних на 7.6%, що свідечуєть о високої точності моделі.

Робота була виконана в рамках державного завдання Мініобрнауки Росії, номер теми FSFF-2023-0008.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Цыркoв Роман Александрoвич – ассистент кафедры 1204, Московский авиационный институт, Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993, e-mail: roma1992@yandex.ru

Кукушкин Дмитрий Юрьевич – кандидат технических наук, (ORCID: 0000-0002-6968-1495), доцент кафедры 1204, Московский авиационный институт, Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993, e-mail: Skyline34@nxt.ru

Дителева Анна Олеговна – кандидат технических наук, (ORCID:0000-0002-0819-6517), доцент кафедры 1204, Московский авиационный

ХІХ міжнародна науко-технічна конференція
«Вакуумна техніка, матеріали і технологія» Москва,
ЦВК «Експоцентр», 01-03 квітня 2025 року

інститут, Волоколамське шосе, д. 4, г. Москва, 125993, e-mail:
anna.diteleva@mail.ru

Слепцов Володимир Володимирович - доктор технічних наук,
професор (ORCID: 0000-0002-1171-336X), завідує кафедрою
1204, Московський авіаційний інститут, Волоколамське шосе, д.
4, г. Москва, 125993, e-mail: 08fraktal@inbox.ru

ОБРАБОТКА В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА – ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

М.С. Пискарев, А.В. Зиновьев, Е.К. Голубев, А.Б. Гильман,
А.А. Кузнецов, А.Н. Озерин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯДА, СВМПЭ, МОДИФИКАЦИЯ В ПЛАЗМЕ

DC GLOW DISCHARGE TREATMENT – AN EFFECTIVE METHOD FOR MODIFYING THE SURFACE OF ULTRA- HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE

M.S. Piskarev, A.V. Zinoviev, E.K. Golubev, A.B. Gilman, A.A.
Kuznetsov, A.N. Ozerin

KEYWORDS

GLOW DISCHARGE, UHMWPE, PLASMA MODIFICATION

Модифікація поверхності, як правило, являється необхідним умовою отримання міцних композиційних матеріалів із сверхвисокомолекулярного поліетилену (СВМПЭ). В роботі досліджено вплив параметрів обробки в тлеючому розряді постійного струму зниженого тиску на хімічну структуру, морфологію і контактні властивості поверхні лент СВМПЭ з допомогою методів РФЭС, АСМ і Т-теста (ASTM-1876-01).

Установлено, що обробка в розряді дозволяє отримувати міцні клеєві з'єднання лент СВМПЭ з використанням різних комерційно доступних зв'язуючих. Даний ефект досягається за рахунок значущого змінення хімічної структури поверхності і збільшення поверхні енергії лент СВМПЭ.

Робота виконана в рамках державного завдання Міністерства науки і освіти Російської Федерації, номер теми FFSM-2024-0002.

.СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Пискарев Михаил Сергеевич – старший научный сотрудник (ORCID: 0000-0002-8850-032X), кандидат химических наук, Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН (ИСПМ РАН), Москва, mikhailpiskarev@gmail.com;

Зиновьев Александр Владимирович – младший научный сотрудник (ORCID: 0000-0002-58367150), кандидат химических наук, ИСПМ РАН, zinovev.97@inbox.ru;

Гильман Алла Борисовна - старший научный сотрудник (ORCID: 0000-0001-8059-6956), кандидат химических наук, ИСПМ РАН, gilmanab@gmail.com;

Голубев Евгений Константинович - младший научный сотрудник (ORCID: 0000-0001-9184-0467), ИСПМ РАН, golubev@ispm.ru,

Кузнецов Александр Алексеевич - доктор химических наук, профессор, (ORCID: 0000-001-7527-2869), ИСПМ РАН, kuznets24@yandex.ru;

Озерин Александр Никифорович – доктор химических наук, профессор, член-корреспондент РАН (ORCID: 0000-0001-7505-6090), ИСПМ РАН, ozerin@ispm.ru.

ХІХ международная научно-техническая конференция
«Вакуумная техника, материалы и технология» Москва,
ЦВК «Экспоцентр», 01-03 апреля 2025 года

Вакуумная техника, материалы и технология

Тезисы
ХІХ международной научно-технической конференции
«Вакуумная техника, материалы и технология»
г. Москва, ЦВК «Экспоцентр»,
01-03 апреля 2025

ООО «Электровacuумные технологии»

<https://vacuum.org.ru>

info@vacuum.org.ru

Подписано в печать 18.03.2025

Электронное издание

