



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

ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА, МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ

**Тезисы XVII международной научно-технической конференции
«Вакуумная техника, материалы и технология»
(Москва, ВДНХ, павильон 57, 2023, 11-13 апреля)**



**VACUUM EQUIPMENT,
MATERIALS AND TECHNOLOGY**

**Abstracts
of the XVII international conference
(Moscow, VDNH, 2023, April 11-13)**

Российское научно-техническое вакуумное общество

им. академика С.А. Векшинского

Московский государственный технический университет

им. Н.Э. Баумана

АО «Вакууммаш»

Московский физико-технический институт

Институт физики твердого тела РАН

Российский союз научных и инженерных общественных объединений

Конференция посвящается 400-летию Блеза Паскаля

и 80-летию АО «Вакууммаш»

Секция 1. Вакуумные технологии и оборудование

Секция 2. Новые технологии формирования тонких пленок. Методики исследования.
Технологическое оборудование

Секция 3. Нанотехнология и биотехнология

ББК 31.77
В 14
УДК 621.52

В 14 Вакуумная наука и техника, материалы и технология

Тезисы XVII международной научно-технической конференции «Вакуумная техника, материалы и технология» М.: Электровакуумные технологии. 2023 – 94с.

ISBN 978-5-6048852-2-2

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

Издание осуществлено с авторских оригиналов.

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

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

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

ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА

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

ОРГАНИЗАЦИИ УЧАСТНИКИ

АО «Вакууммаш», г. Казань
АО «Криогенмонтаж», г. Москва
АО «НИИЭФА им. Ефремова»
АО «НПО Лавочкина», г. Химки Московской обл.
Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова,
г. Москва
Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, г. Гомель
Государственный университет просвещения, Московская обл.
ЗАО «СпецМагнит»
ЗАО «SuperOx»
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, г. Москва
Институт проблем технологии микроэлектроники РАН, г. Черноголовка Московской обл.
Институт радиотехники и электроники РАН им. В.А. Котельникова РАН, г. Москва
Институт радиотехники и электроники РАН, г. Фрязино Московская обл.
Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва
Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, г. Москва
Институт физики паранормальных явлений, г. Черноголовка Московской обл.
Институт физики Дагестанского федерального исследовательского центра РАН,
г. Махачкала
Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
Механико-математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва
МИРЭА – РТУ, Инновационно-инжиниринговый центр, г. Москва
Математический институт имени В.А. Стеклова, г. Москва
МиСИС, г. Москва
МИФИ, г. Москва
Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Московской обл.
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва
НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва
НИИТМ, г. Зеленоград, г. Москва
НИТУ «МИСиС», г. Москва
НПО АСТ
НТУ СИРИУС
Объединенный институт высоких температур РАН, г. Долгопрудный, Московской обл.
Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской обл.
ООО «Научно-производственное объединение «Группа компаний приборостроения и машиностроения», г. Москва
ООО «Нева Технологии», г. С.-Петербург
ООО «НПО Гелиосфера», г. Санкт-Петербург
ООО «Прикладная электроника»
ООО «ФЕРРИ ВАТТ», г. Казань
Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола республики
Марий Эл
Российский университет дружбы народов, г. Москва
Российское научно-техническое вакуумное общество им. академика С.А. Векшинского,
г. Москва

РУТ МИИТ, г. Москва

Самарский НИУ им. Академика С.П. Королёва, г. Самара

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

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

ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

ФГБУ «Московская школа № 64 им. С. Есенина», г. Москва

Филиал АО «ОДК» МКБ «Горизонт»

ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, г. Москва

JSC «NII IAT»

Riphah International University, Islamabad 44000, Pakistan

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ	11
РОССИЙСКОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ВАКУУМНОЕ ОБЩЕСТВО ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.А. ВЕКШИНСКОГО СЕГОДНЯ	
С.Б. Нестеров	12
ГОРДИМСЯ ПРОШЛЫМ. СОЗДАЁМ БУДУЩЕЕ	
Е.Н. Капустин, А.Е. Капустин.....	13
«ПОСЛЕЗАВТРА» ВАКУУМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	
Я.О. Желонкин.....	14
ВАКУУМНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОК	
Д.Е. Шашин, Н.И. Сушенцов.....	15
ВАКУУМНАЯ ИМПРЕГНАЦИЯ ОЧИЩЕННОГО КОСТНОГО МАТРИКСА ЛЕКАРСТВЕННЫМИ СРЕДСТВАМИ	
А.В. Гаврилов, Р.Н. Максудов, В.А. Аляев.....	16
ТЕРМОМЕТРИРОВАНИЕ ДВУХРОТОРНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА ТИПА РУТС	
А.А. Исаев, А.А. Райков, А.В. Бурмистров, С.И. Саликеев	18
РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ВАКУУМНОГО НАСОСА ТИПА РУТС С ТРЕХЛЕПЕСТКОВЫМ ПРОФИЛЕМ РОТОРОВ	
И.А. Малин, А.А. Райков, А.В. Бурмистров, С.И. Саликеев.....	20
ИЗЛУЧАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЧИСТЫХ МЕТАЛЛОВ ВКЛЮЧАЯ ОБЛАСТЬ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ТВЕРДОЕ ТЕЛО - ЖИДКОСТЬ	
Д.В. Косенков, Н.Ю. Косенкова, В.В. Сагадеев, В.А. Аляев	21
ДЛИТЕЛЬНОСТЬ СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНОЙ ОТКАЧКИ	
Ю.В. Панфилов.....	22
ВАКУУМНАЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ УСТАНОВКА	
А.В. Хошев, Е.В. Аверьянов, В.В. Одинокоев, Д.А. Костюков, А.А. Овцын.....	23
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МИССИИ РОСКОСМОСА: АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К СТЕНДАМ ТЕПЛОВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЙ	
Д.Е. Алфимов, С.Б. Нестеров, А.А. Филатов.....	25
ИСПЫТАНИЯ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ СВАРНЫХ ШВОВ ТЕРМОВАКУУМНЫХ УСТАНОВОК СПОСОБОМ НАКЛАДНОЙ КАМЕРЫ (ВАКУУМНОЙ ПРИСОСКИ) С ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ НЕ МЕНЕЕ $6,62 \cdot 10^{-9} \text{ М}^3 \text{ ПА/С}$	
Е.В. Жировов, А.М. Зверев, В.А. Кобзев, И.А. Лозанов, К.В. Сметанин, Ф.А. Феимов, А.С. Шавин, С.Б. Нестеров. И.В. Удод.....	26
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ОБЪЕМЕ МИНИАТЮРНОГО ЭВП БЕЗШТЕНГЕЛЬНОГО ТИПА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ВАКУУМИРОВАНИЯ	
С.А. Бушин, С.Г. Давыдов, В.О. Ревазов, Р.Х. Якубов	28
ПРОЕКТЫ, РЕАЛИЗОВАННЫЕ ГК «КРИОСИСТЕМЫ»	
Л.В. Шпикалов.....	29
РЕКОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕООРУЖЕНИЕ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ ВК-48	

П.Н. Берёзко, А.Ю. Кочетков.....	31	
НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ БОРА ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА ЛАЗЕРНО-СЕЛЕКТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ КОНДЕНСАЦИИ		
К.А. Ляхов, Muhammad Waqar Ahmed	32	
ОСНОВЫ ОБЕЗГАЗИВАНИЯ СВВ ОБОРУДОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ		
Ю.А. Веренкова, Е.А. Деулин, Р.О. Емельяненко, Д.В. Копытов, И.Ф. Ханбеков.....	34	
ВАКУУМНЫЙ ПРИВОД С ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ		
Д.С. Шахов, В.П. Михайлов, А.М. Базиненков, М.Е. Жуков	35	
ПОВЫШЕНИЕ СВЯЗНОСТИ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ТРАНЗИТНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ (ИТТС) НА БАЗЕ ВАКУУМНОГО МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА (ВМЛТ)		
Ю.А. Терентьев, В.В. Коледов, В.Г. Шавров, А.С. Бугаёв, С.Б. Нестеров, Р.О. Кондратенко, Г.Г. Малинецкий, В.С. Смолин, В.В. Филимонов, Б.А. Лёвин, П.В. Куренков, А.М. Давыдов, А.В. Камынин, И.В. Гавриков, К.Л. Ковалёв, Р.И. Ильясов, Б.В. Дроздов, А.А. Сафонов, Н.А. Нижельский, И.Ю. Родин, С.Е. Сычевский, А.А. Фирсов, В.В. Васильев, В.В. Асеев, В.С. Ларюхин, А.В. Бабачанов, В.К. Балабанов, С.В. Самойленков, В.И. Щербаков, О.В. Варганов	36	
РЕШЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЗАДАЧ ОБ ИСТЕЧЕНИИ И ТЕПЛООБМЕНЕ В РАЗРЕЖЕННОМ ГАЗЕ С УЧЕТОМ МНОГОАТОМНОСТИ МОЛЕКУЛ И ПОДВИЖНОСТИ ГРАНИЦЫ РАСЧЕТНОЙ ОБЛАСТИ		
А.Н. Якунчиков	39	
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ		
А.С. Масакбаев, В.Н. Масловский, К.М. Моисеев.....	40	
СЕКЦИЯ 2. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК. МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.....		41
ГЕНЕРАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГИЕЙ ИОНОВ В КОМБИНИРОВАННОМ РЕЖИМЕ РАСПЫЛЕНИЯ ГРАФИТА		
В.О. Оскирко, А.Н. Захаров, А.П. Павлов, А.А. Соловьев, В.А. Семенов, М.И. Ажгихин	42	
УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ПОДЛОЖКУ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ		
В.О. Оскирко, А.Н. Захаров, А.С. Гренадёр, А.А. Соловьев, В.А. Семенов	43	
ПЛАНАРНЫЙ МАГНЕТРОН С УСКОРОЕНИЕМ ИНЖЕКТИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В КАТОДНОМ СЛОЕ		
М.В. Шандриков, А.А. Черкасов, В.О. Оскирко	44	
ПРОЗРАЧНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ С МОДУЛИРОВАННЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ. АНАЛИЗ И ПРОГНОЗЫ		
А.Х. Абдуев, А.Ш. Асваров, А.К. Ахмедов, В.В. Беляев, Д.В. Генералов, Д.В. Николаева, Е.А. Сметанин.....	45	
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ТОЛЩИНЕ В ПЛЁНКАХ $YBa_2Cu_3O_{7-\Delta}$, ОСАЖДЁННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНОГО ЭКСИМЕРНОГО ЛАЗЕРА		
В.К. Егоров, А.И. Ильин, А.А. Иванов, Е.В. Егоров.....	47	

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ АЛМАЗОПОДОБНЫХ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО СИЛЬНОТОЧНОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА ИХ СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА	
Л.Л. Колесник, Мьо Ти Ха.....	48
ТЕПЛОВЫЙ ПРОЦЕСС НА ПОДЛОЖКЕ ПРИ РАСПЫЛЕНИИ СЭНДВИЧ МИШЕНИ Cu/Ti	
М.О. Иванцов, В.И. Шаповалов, Д.С. Шарковский.....	49
РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ПЛЕНОК ДИОКСИДА КРЕМНИЯ С ВОСПРОИЗВОДИМЫМИ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ	
О.М. Медведева, Е.В. Панфилова.....	50
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ С МАЛЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ	
А.Д. Купцов, С.В. Сидорова.....	52
ОСТРОВКОВЫЕ ТОНКИЕ ПЛЕНКИ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ АКТИВНОГО СЛОЯ МЕМРИСТОРА	
Н.О. Юркин, С.В. Сидорова.....	53
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ОСТРОВКОВЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК КОБАЛЬТА ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ В УСТРОЙСТВА НАНОЭЛЕКТРОНИКИ	
С.В. Кирьянов, С.В. Сидорова.....	55
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК WSI ДЛЯ SSPD	
Д.Д. Платонов, В.А. Желтиков, С.Ю. Хыдырова, К.М. Моисеев.....	57
ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ПОДЛОЖКИ НА ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ДИОКСИДА ТИТАНА	
И.М. Будкина, Д.Е. Шашин, Н.И. Сушенцов.....	58
ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ ПЛЕНОК ДИОКСИДА ТИТАНА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ГИДРОФИЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	
Д.Е. Шашин, Д.С. Владимиров.....	59
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ В ПЛАЗМЕ	
В.С. Мальцев, С.В. Сидорова.....	61
СЕКЦИЯ 3. НАНОТЕХНОЛОГИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ.....	63
ПЛЕНКИ ГРАФИТА, ГРАФЕНА И УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТЕНОК	
А.Ф. Белянин, П.В. Пащенко, Е.Р. Павлюкова, А.Л. Талис.....	64
ФОРМИРОВАНИЕ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ОПАЛОВЫХ МАТРИЦ	
А.Ф. Белянин, П.В. Пащенко, В.В. Борисов, А.Н. Рябинкин, А.О. Серов, М.А. Тимофеев.....	65
ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ В РАЗРЯДЕ 40 КГЦ НА ГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИВИНИЛТРИМЕТИЛСИЛАНА	
А.В. Зиновьев, М.С. Пискарев, А.Б. Гильман, А.А. Кузнецов.....	67

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК ПОЛИЭТИЛЕННАФТАЛАТА И ПОЛИКЕТОНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ	
М.С. Пискарев, А.В. Зиновьев, Е.А. Скрылева, Б.Р. Сенатулин, А.Б. Гильман, А.А. Кузнецов	68
МИКРОФОКУСНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ С АВТОЭМИССИОННЫМ КАТОДОМ	
А.Ю. Таикин, Е.П. Шешин, Ф.Д. Мань.....	69
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЫ ФОРВАКУУМНОГО ДАВЛЕНИЯ	
Г.Б. Бузин, Т.М. Васильева.....	70
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНВЕРСИИ ГАЗОВ В ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЕ	
М.К. Никитин, Т.М. Васильева.....	71
ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЫ ФОРВАКУУМНОГО ДАВЛЕНИЯ В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ	
Ч.В. Дык, М.Н. Васильев.....	72
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА В ХИТОЗАН ДЛЯ БИОЭЛЕКТРОННЫХ СЕНСОРОВ	
О.А. Сильницкая, В.М. Елинсон, В.А. Кочетов, В.В. Мурныкина.....	73
ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА АНТИАДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТЕ	
В.М. Елинсон, П.А. Щур, Т.В. Ходырев.....	75
ФОРМИРОВАНИЕ НА ПОВЕРХНОСТИ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН ВЫСОКО- И СУПЕРГИДРОФОБНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ В ВОДЕ И ВОДНО-СОЛЕВЫХ РАСТВОРАХ	
Л.И. Кравец, М.А. Кувайцева, М.А. Ярмоленко, Р.В. Гайнутдинов, М.Ю. Яблоков	77
ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ МОДИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ	
В.В. Слепцов, Р.А. Цырков, Д.Ю. Кукушкин, А.О. Дителева, С.В. Мацыкин.....	79
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНДЕНСАТОРОВ НА ВОДНОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ С ВЫСОКИМ РАБОЧИМ НАПРЯЖЕНИЕМ	
В.В. Слепцов, А.О. Дителева, Д.Ю. Кукушкин, Р.А. Цырков, С.Б. Савилкин, Е.О. Дителева..	81
МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНЕТРОННОГО ОСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ	
О.Э. Алиханов, А.И. Беликов.....	83
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАМЕТРА ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ЭЛП ЭЛТА-60.15ДП НА УСТАНОВКЕ ЭЛО «ЛУЧ»	
Я. Чжо, В.Н. Масловский, К.А. Махкамбоев, К.М. Моисеев.....	85
ИОННО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА В ВАКУУМЕ ЭЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
А.А. Фельде, П.А. Ежова, С.В. Сидорова	87
ОТРАБОТКА ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОЛЛОИДНЫХ ПЛЕНОК НА ОБРАБОТАННЫЕ В ПЛАЗМЕ ГИБКИЕ ПОДЛОЖКИ МЕТОДОМ SPIN- COATING	

К.Р. Минько, Е.В. Панфилова, А.Р. Ибрагимов.....	89
ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТЕКЛЯННЫХ ПОДЛОЖЕК В ПЛАЗМЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МИКРОФЛЮИДИКЕ	
Д.М. Работяжева	91
ВАКУУМНОЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЕ ТРАВЛЕНИЕ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ	
И.Е. Пименов, С.В. Сидорова.....	92

СЕКЦИЯ 1. ВАКУУМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

РОССИЙСКОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ВАКУУМНОЕ ОБЩЕСТВО ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.А. ВЕКШИНСКОГО СЕГОДНЯ

С.Б. Нестеров

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

РОССИЙСКОЕ ВАКУУМНОЕ ОБЩЕСТВО, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

RUSSIAN VACUUM SOCIETY TODAY

S.B. Nesterov

KEYWORDS

RUSSIAN VACUUM SOCIETY, MODERN STATE

В 2020 г. исполнилось 100 лет отечественной электровакуумной промышленности, основателем которой является Сергей Аркадьевич Векшинский (1896-1974) – Герой Социалистического труда, академик АН СССР, лауреат Ленинской и трех Государственных премий.

Бурное развитие вакуумной техники в СССР в послевоенные годы определялось работами в следующих направлениях: атомный проект, освоение космоса, электроника, электрофизическое аппаратостроение.

В 1992 году было создано Российское научно-техническое вакуумное общество (РНТВО), в состав которого сегодня входят около 2500 членов. С 2015 года РНТВО носит имя академика С.А. Векшинского.

Дальнейшее развитие России во многом определяется инноватикой. Наша страна должна сохранить позиции индустриально развитой державы, в связи с этим в социально-экономических приоритетах нашего государства особое место занимают вопросы развития наукоемких отраслей производства с высоким уровнем добавленной стоимости. Именно к таким наукоемким отраслям относится вакуумная техника.

Современная ситуация еще более повышает актуальность решения главной стратегической задачи – создания высокотехнологичной конкурентоспособной отечественной экономики, ориентированной на развитие сектора реального производства. Это особенно важно в период становления шестого технологического уклада, ведущую роль в котором будут определять био- и нанотехнологии, искусственный интеллект, глобальные информационные системы, новая медицина, другие высокие технологии. Новый импульс получают оборонный комплекс, космические технологии, гибкие автоматизированные производства, создание конструкционных материалов с заданными свойствами, альтернативные источники энергии, причем во всех этих направлениях в той или иной степени используются достижения вакуумной науки, техники и технологии.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Нестеров Сергей Борисович - доктор технических наук, профессор. (ORCID: 0000-0002-7457-4213). Российское научно-техническое вакуумное общество им. академика С.А. Векшинского, г. Москва. e-mail: sb.nesterov@vacuum.org.ru

ГОРДИМСЯ ПРОШЛЫМ. СОЗДАЁМ БУДУЩЕЕ

Е.Н. Капустин, А.Е. Капустин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУММАШ, ВАКУУМНАЯ СТОЛИЦА, ИННОВАЦИИ.

WE ARE PROUD OF THE PAST. CREATING THE FUTURE.

E.N. Kapustin, A.E. Kapustin

KEYWORDS

VACUUMMASH, VACUUM CAPITAL, INNOVATIONS

Статья посвящена АО «Вакууммаш», являющимся ведущим предприятием в России по разработке и выпуску вакуумной техники, которому в 2023 году исполняется 80 лет.

Описаны основные моменты становления компании и инновационные направления разработок новой продукции.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Капустин Евгений Николаевич – генеральный директор Акционерного общества «Вакууммаш», кандидат технических наук, г. Казань. e-mail: kapustinen@vacma.ru

Капустин Артур Евгеньевич – заместитель коммерческого директора Акционерного общества «Вакууммаш», г. Казань. e-mail: kapustinae@vacma.ru

«ПОСЛЕЗАВТРА» ВАКУУМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Я.О. Желонкин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМ, ОТРАСЛИ, ВАКУУМНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, ТЕХНОЛОГИИ, ФЕРРИ ВАТТ, ПЕРСПЕКТИВЫ

THE «DAY AFTER TOMORROW» OF VACUUM TECHNOLOGY

Y.O. Zhelonkin

KEYWORDS

VACUUM, INDUSTRIES, VACUUM INDUSTRY, TECHNOLOGIES, FERRI WATT, PERSPECTIVES

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

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Я.О. Желонкин. ООО «ФЕРРИ ВАТТ», г. Казань. e- mail: zhelonkin.ya@ferryvatt.ru

ВАКУУМНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОК

Д.Е. Шашин, Н.И. Сушенцов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ, ДУГОВОЕ ИСПАРЕНИЕ

VACUUM METHODS FOR FILM PRODUCTION

D.E. Shashin, N.I. Susnentsov

KEYWORDS

MAGNETRON SPUTTERING, ARC EVAPORATION

Тонкие пленки различных материалов находят широкое применение в различных областях науки и техники. Это, прежде всего проводящие, полупроводниковые, диэлектрические, защитные и другие слои в микроэлектронике, износостойкие покрытия на инструменте и защитно-декоративные покрытия на деталях машин и изделий промышленно-бытового назначения. Свойства тонких пленок определяются не только материалом, но и не в меньшей мере их кристаллографическим строением.

Наиболее совершенные слои выращивают методами осаждения из газовой (паровой) фазы (CVD). Рост пленок при этом происходит путем последовательного отложения слоев, т.е. тангенциального перемещения ступеней. Данный метод имеет множество ограничений. Это в первую очередь наличие ориентирующей подложки и высокая температура процесса выращивания.

Вакуумные методы получения тонких пленок не имеют данных ограничений. Для данных методов характерны неравновесные условия кристаллизации. При применении неориентирующих (аморфных и поликристаллических) подложек рост пленок происходит по нормальному механизму. Преимущественное направление роста пленок определяется атомным строением выращиваемого материала, а ориентирование пленок относительно подложки – направлением потока пленкообразующих частиц. Присоединение новых частиц к атомно-шероховатым (диффузным) поверхностям происходит с макроскопической точки зрения в любом месте, так что поверхность в процессе роста смещается по нормали к самой себе в каждой своей точке. Выращенные данным способом пленки имеют волокнистое (столбчатое) строение. Ориентирование волокон для материалов, имеющих кубическую решетку (TiN, ZrN и др.), возможно по направлениям $\langle 111 \rangle$, реже $\langle 100 \rangle$, $\langle 110 \rangle$, а в бинарных алмазоподобных соединениях со структурой вюрцита (AlN, ZnO и др.) – по направлению $\langle 0001 \rangle$, и реже $\langle 1120 \rangle$.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Шашин Дмитрий Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры (ORCID: 0000-0002-8222-2824). Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола Республики Марий Эл e-mail: shashinde@volgatech.net

Сушенцов Николай Иванович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоаппаратуры). Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола Республики Марий Эл e-mail: sushentsovni@volgatech.net

ВАКУУМНАЯ ИМПРЕГНАЦИЯ ОЧИЩЕННОГО КОСТНОГО МАТРИКСА ЛЕКАРСТВЕННЫМИ СРЕДСТВАМИ

А.В. Гаврилов, Р.Н. Максудов, В.А. Аляев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМНАЯ ИМПРЕГНАЦИЯ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ, КОСТНЫЕ МАТРИКСЫ

VACUUM IMPREGNATION OF PURIFIED BONE MATRIX WITH MEDICINAL PRODUCTS

A.V. Gavrilov, R.N. Maksudov, V.A. Alyaev

KEYWORDS

VACUUM IMPREGNATION OF CAPILLARY-POROUS MATERIALS, BONE MATRICES

Целью исследований является определение параметров массопереноса, обеспечивающих получение высокоочищенного композитного материала, включающего костный матрикс и лекарственное средство для замещения дефектов кости. Такие дефекты часто возникают в результате патологического процесса (инфекции, опухоли и др.), причины которого требуют медикаментозного лечения. Поэтому необходимо насыщение трансплантируемого костного матрикса лекарственными препаратами (антибиотиком и стимулятором регенерации), что позволит создать локальную концентрацию в 100 и 1000 раз большую, чем при системном приеме этих веществ. На этапе проектирования технологии депонирования лекарственного препарата в очищенный костный матрикс (КМ) реализуется импрегнация при давлениях ниже атмосферного (вакуумная пропитка) раствором препарата в полярном растворителе.

В поровые каналы депонировался ванкомицин ($C_{66}H_{75}C_{12}N_9O_{24}$) - антибиотик с бактерицидной активностью в отношении большинства организмов. Также, необходим энтрейнер для переноса препарата в поровые каналы КМ, в качестве которого использовался диметилсульфоксид $(CH_3)_2SO$.

Вакуумная импрегнация очищенного КМ раствором «ДМСО – ванкомицин» осуществлялась при давлении $5 \div 10$ мм рт.ст. в несколько циклов. После каждой пропитки проводилась дегазация образца - испарение ДМСО из поровых каналов.

Помимо мониторинга изменения массы образцов с точностью $\pm 10-5$ кг, эффективность импрегнации очищенного КМ оценивалась методом термогравиметрического анализа (ТГА). Полученные результаты показали, что метод эффективен, при этом необходимы исследования с другими и энтрейнерами (например, этанолом и его водными растворами).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Гаврилов Алексей Викторович – кандидат технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань.
e- mail: vacuum-ag@yandex.ru.

Максудов Рашид Наилевич – доктор технических наук, профессор. ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань.
e- mail: r.n.maksudov@gmail.com.

Аляев Валерий Алексеевич – доктор технических наук, профессор. ФГБОУ ВО
«Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань.
e-mail: alyaev@kstu.ru.

ТЕРМОМЕТРИРОВАНИЕ ДВУХРОТОРНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА ТИПА РУТС

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ДВН ТИПА РУТС, ТЕРМОМЕТРИРОВАНИЕ, ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ

THERMOMETERING OF ROOTS VACUUM PUMP

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

KEYWORDS

ROOTS VACUUM PUMP, THERMOMETING, THERMAL CALCULATION

К современным системам создания вакуума предъявляются все более жесткие требования по чистоте получаемой среды, производительности и энергоэффективности. Поэтому все чаще применение находят системы безмасляной откачки. Одним из основных претендентов на роль лидера в области создания «сухого» среднего вакуума является двухроторный вакуумный насос (ДВН) типа Рутс. Математическая модель ДВН, чаще всего, строится на дифференциальных уравнениях состояния системы с переменной массой. При расчете учитываются температуры элементов, контактирующих с газом, а наиболее достоверные данные по температурам рабочих поверхностей могут быть получены в результате экспериментального термометрирования. Большинство работ посвящено исследованию температур в режиме воздухоудвки. В настоящей работе исследуется машина Рутса в вакуумном режиме. В качестве объекта исследования использовались ДВН различных размеров с роторами различного профиля. В ходе эксперимента изменялись: давление на входе, перепад давлений между выходом и входом, частота вращения роторов. Полученные данные были аппроксимированы уравнениями для определения температур роторов и корпуса при их использовании в математической модели.

Проведенные исследования позволяют расширить диапазон рабочих условий при определении температур рабочих элементов насоса и снижают погрешность при определении температур роторов и корпуса ДВН.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Исаев Александр Анатольевич (ORCID: 0000-0001-9068-8555) – аспирант кафедры «Вакуумная техника электрофизических установок». КНИТУ, г. Казань. e-mail: isaevaa050391@yandex.ru.

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

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

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

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ВАКУУМНОГО НАСОСА ТИПА РУТС С ТРЕХЛЕПЕСТКОВЫМ ПРОФИЛЕМ РОТОРОВ

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ДВН ТИПА РУТС, CFD МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНДИКАТОРНЫЕ ДИАГРАММЫ

CHARACTERISTICS CALCULATION OF THREE-LOBE ROOTS VACUUM PUMP

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

KEYWORDS

ROOTS VACUUM PUMP, CFD MODELING, INDICATOR DIAGRAMS

Двухроторные вакуумные насосы типа Рутс (ДВН) широко используются для получения безмасляного вакуума, однако для работы требуют агрегатирования с форвакуумными насосами. Многоступенчатая конструкция из нескольких последовательно соединенных ступеней позволяет решить эту проблему. В таких насосах используются различные профили роторов с двумя, тремя или четырьмя лопастями. В данной работе проводится расчетное исследование трехлепесткового эллиптического профиля, используемого в качестве последней ступени, то есть при выходном давлении, равном атмосферному. Моделирование проводится в CFD пакете Ansys CFX при различных входных давлениях и частотах вращения роторов. Структурированная расчетная сетка создается в пакете TwinMesh.

По результатам расчета построены индикаторные диаграммы рабочего процесса и зависимости быстроты действия. Проанализированы пульсации давлений и расхода на выходе. Проведено сравнение характеристик двух, трех и четырех – лепестковых насосов.

Полученные данные будут использоваться при разработке отечественных многоступенчатых агрегатов на базе ДВН типа Рутс.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Малин Илья Александрович – магистр кафедры «Холодильная техника и технология». 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 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).

ИЗЛУЧАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЧИСТЫХ МЕТАЛЛОВ ВКЛЮЧАЯ ОБЛАСТЬ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ТВЕРДОЕ ТЕЛО - ЖИДКОСТЬ

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ, ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, ТЕХНИЧЕСКИЕ
КОНСТРУКЦИОННЫЕ МЕТАЛЛЫ

EMISSIVITY OF PURE METALS INCLUDING THE SOLID-LIQUID PHASE TRANSITION REGION

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

KEYWORDS

EXPERIMENTAL RESEARCH, THERMAL RADIATION, TECHNICAL STRUCTURAL METALS

Отсутствие более или менее определенных теоретических подходов к основным закономерностям поведения излучательной способности металлов, делает совершенно необходимым осуществление широкой программы экспериментальных исследований. В связи с этим большое значение должно быть уделено экспериментальному изучению излучательной способности металлов в вакууме или в среде инертных газов.

В настоящей работе представлены результаты по изучению нормальной интегральной излучательной способности технических никеля, алюминия и хрома широко применяемых в технологических процессах вакуумной металлзации различных поверхностей с целью улучшения характеристик.

В проведенном исследовании авторы отмечают положительное увеличение излучательной способности исследованных металлов от температурного интервала. Такое поведение излучательной способности характерно для переходных металлов периодической системы. Разрушение кристаллической решетки при плавлении элементов ведет к увеличению металлических свойств элементов и полностью соответствует их расположению в системе Д.И. Менделеева.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

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

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

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНОЙ ОТКАЧКИ

Ю.В. Панфилов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

СВЕРХВЫСОКИЙ ВАКУУМ, МОНОСЛОЙ СОРБАТА, РЕЖИМЫ ОТКАЧКИ

DURATION OF ULTRA HIGH VACUUM PUMPING

Y.V. Panfilov

KEYWORDS

ULTRA HIGH VACUUM, SORBATE MONOLAYER, PUMPING REGIME

Сверхвысоковакуумное оборудование используется не только для решения исследовательских задач, но и для реализации современных технологий нанесения тонких пленок. Если длительность откачки до высокого вакуума определяется в основном удалением газа из объема вакуумной камеры, то получение сверхвысокого вакуума связано с удалением сорбированных газов, главным образом, паров воды с поверхности стенок вакуумной камеры. Методика расчета режимов откачки с учетом сорбированного газа на стенках вакуумной камеры подробно изложена Л.Н. Розановым в [1].

Расчет времени откачки до давления p с учетом наличия сорбата паров воды на внутренних стенках вакуумной камеры можно рассчитать по формуле

$$t = \frac{Fadm}{S_0(1-m)p^{1-m}}$$

где F – площадь внутренней поверхности вакуумной камеры, m^2 ; S_0 – эффективная быстрота откачки вакуумной камеры, m^3/c ; a – количество сорбата в монослое на единице поверхности, m^3Pa/m^2 ; d и m – коэффициенты в уравнении Френдлиха; p – давление, до которого необходимо откачать вакуумную камеру, Па.

Используя данную методику, были смоделированы режимы откачки вакуумных камер объемом от 2 до 2000 л с площадью внутренней поверхности от 0,1 до 10 m^2 . Считая, что $a=2 \cdot 10^{-2} m^3Pa/m^2$, по приведенной выше формуле были рассчитаны длительности откачки для отношения F/S_0 0,1, 1, и 10 при $S_0=1 m^3/c$.

Расчеты показали, что в зависимости от площади внутренней поверхности камеры, температуры её нагрева и эффективной быстроты откачки время откачки до давления 10^{-7} Па может составлять от нескольких секунд до двух часов, а до давления 10^{-9} Па – от нескольких минут до 50 часов, что во-многом соответствует экспериментальным данным.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Розанов Л.Н. Вакуумная техника: учебник для вузов.–М.: Высшая шк., 2007. –391 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Панфилов Юрий Васильевич – доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0001-6861-2028). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: panfilov@bmstu.ru

ВАКУУМНАЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ УСТАНОВКА

А.В. Хошев, Е.В. Аверьянов, В.В. Одинокоев, Д.А. Костюков, А.А. Овцын

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМ, НАНЕСЕНИЕ, ИСПАРЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ, ТИГЕЛЬ, ШЛЮЗ, ОСНАСТКА, ПЛАСТИНЫ

VACUUM ELECTRON BEAM EVAPORATION UNIT

A.V. Khoshev, E.V. Averyanov, V.V. Odinokov, D.A. Kostyukov, A.A. Ovtzyn

KEYWORDS

VACUUM, DEPOSITION, EVAPORATION, TECHNOLOGY, CRUCIBLE, SILICON WAFERS, EQUIPMENT

Разработана новая вакуумная установка (ЭЛУ ТМ 1Ш) с многотигельным электронно-лучевым испарителем (ЭЛИ) и шлюзовой загрузкой групповых подложкодержателей под пластины 100-150 мм. Установка предназначена в основном для нанесения однослойных или многослойных пленок в технологии взрывной фотолитографии.

В состав вакуумной установки ЭЛУ ТМ 1Ш входят следующие основные узлы: прогреваемая шлюзовая камера; технологическая камера, привод вращения карусели; измеритель толщины, лампы ИК нагрева; пирометр; камера испарителя с электронно-лучевой пушкой; три турбомолекулярных насоса; два форвакуумных насоса; элементы гидравлической и пневматической систем охлаждения.

Наличие шлюзовой камеры позволяет поддерживать рабочее давление и состав газовой среды в технологической камере на требуемом уровне от процесса к процессу и воспроизводить требуемые параметры тонкой плёнки металлов.

В шлюзовую камеру возможно загрузить два подложкодержателя с 5 пластинами диаметром 150 мм на каждом. Шлюз оборудован датчиками положения подложкодержателей. Транспортно-загрузочная система обеспечивает автоматическую загрузку подложкодержателей из шлюзовой камеры в технологическую.

Измеритель толщины имеет 6 позиций с резонаторами (кварцевыми кристаллами), настроенными на определённый металл. Измеритель толщины позволяет наносить плёнки металла с заданной точностью.

Электронно-лучевая пушка имеет 6-ти позиционный поворотный тигель и расположена в отдельной камере испарителя. Эта камера снабжена двухступенчатой системой откачки, состоящей из турбомолекулярного и форвакуумного насосов, которая обеспечивает достижение высокого вакуума после загрузки материала в тигель.

Каждая позиция в тигле предназначена для распыления одного материала, при этом для загрузки используется тугоплавкий тигель. Материал вставки выбирается исходя из физико-химических особенностей испаряемого материала.

Вакуумная установка ЭЛУ ТМ 1Ш электронно-лучевого испарения позволяет проводить качественные процессы нанесения и получать тонкие плёнки металлов с высокой точностью воспроизведения параметров. Установка предназначена для применения при производстве современных изделий микро- и наноэлектроники.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Хошев Александр Вячеславович – кандидат технических наук, ORCID: 0009-0002-9243-561X. НИИТМ, г. Зеленоград, г. Москва, e-mail: akhoshev@niitm.ru.

Аверьянов Евгений Владимирович – ORCID:0009-0008-8424-2045 НИИТМ, г. Зеленоград, г. Москва, e-mail: eaveryanov@niitm.ru.

Одинокоев Вадим Васильевич – доктор технических наук, ORCID: 0000-0003-1652-8013. НИИТМ, г. Зеленоград, г. Москва, e-mail: vodinokov@niitm.ru.

Костюков Денис Андреевич – ORCID: 0009-0005-7144-5394. НИИТМ, г. Зеленоград, г. Москва, e-mail: dkostyukov@niitm.ru.

Овцын Александр Андреевич – кандидат химических наук, ORCID: 0000-0002-7621-1571. НИИТМ, г. Зеленоград, г. Москва, e-mail: aovtsin@niitm.ru

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МИССИИ РОСКОСМОСА: АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К СТЕНДАМ ТЕПЛОВАКУУМНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Д.Е. Алфимов, С.Б. Нестеров, А.А. Филатов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ТЕПЛОВАКУУМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ, ИМИТАТОР СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

STATE-OF-THE-ART ROSKOSMOS MISSIONS: AN ANALYSIS OF THE REQUIREMENTS TO THE THERMAL VACUUM TEST FACILITIES

D.E. Alfimov, S.B. Nesterov, A.A. Filatov

KEYWORDS

THERMAL VACUUM TEST FACILITY, SOLAR SIMULATOR

Перспективные проекты Российского космического агентства связаны с увеличением массогабаритных характеристик, выводимых в космическое пространство аппаратов. Это приводит к необходимости использования все более габаритных стендов для проведения тепловакуумных испытаний и дегазации КА. В статье рассматривается возможность использования существующих стендов (как действующих, так и требующих реконструкции) для испытаний новейших КА. Рассматриваются подходы к созданию новых крупногабаритных стендов, особенно в части вопросов имитации солнечного излучения и имитации тепловых потоков.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алфимов Дмитрий Евгеньевич – генеральный директор ООО «Научно-производственное объединение «Группа компаний приборостроения и машиностроения», г. Москва

Нестеров Сергей Борисович - доктор технических наук, профессор. (ORCID: 0000-0002-7457-4213). Российское научно-техническое вакуумное общество им. академика С.А. Векшинского, г. Москва. e-mail sb.nesterov@vacuum.org.ru

Филатов Антон Александрович – технический директор ООО «НПО Гелиосфера», Санкт-Петербург e-mail: filatov@geliosfera.com

ИСПЫТАНИЯ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ СВАРНЫХ ШВОВ ТЕРМОВАКУУМНЫХ УСТАНОВОК СПОСОБОМ НАКЛАДНОЙ КАМЕРЫ (ВАКУУМНОЙ ПРИСОСКИ) С ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ НЕ МЕНЕЕ $6,62 \cdot 10^{-9} \text{ М}^3 \text{ ПА/С}$

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ГЕРМЕТИЧНОСТЬ, СВАРНЫЕ ШВЫ, ОТКАЧНАЯ СИСТЕМА

LEAKPROOFNESS TESTS OF WELDS OF THERMOVACUUM INSTALLATIONS BY THE METHOD OF AN OVERHEAD CHAMBER (VACUUM SUCTION CUP) WITH A SENSITIVITY OF AT LEAST $6.62 \cdot 10^{-9} \text{ M}^3 \text{ PA/S}$

E.V. Zhirovov, A.M. Zverev, V.A. Kobzev, I.A. Lozanov, K.V. Smetanin, F.A. Feimov,
A.S. Shavin, S.B. Nesterov. I.V. Udod

KEYWORDS

TIGHTNESS, WELDS, PUMPING SYSTEM

В статье представлено описание метода контроля сварных соединений термовакuumных установок способом накладной камеры (вакуумной присоски)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Жировов Евгений Васильевич - председатель совета директоров АО «Криогенмонтаж», (ORCID: 0009-0008-8691-1409) ветеран космонавтики России, заслуженный испытатель космической техники, академик международной академии холода. г. Москва. e-mail: 7070630@mail.ru

Зверев Андрей Михайлович - эксперт по экспертизе промышленной безопасности. (ORCID: 0009-0009-8890-9043) АО «Криогенмонтаж», г. Москва. e-mail: andrey_zverev@bk.ru

Кобзев Владимир Александрович - директор структурного подразделения «Вакуумный участок». (ORCID: 0009-0007-4737-8982) АО «Криогенмонтаж», г. Москва. e-mail: svovacuuum@mail.ru

Лозанов Игорь Александрович - прораб (ORCID: 0009-0002-9128-3845) АО «Криогенмонтаж», г. Москва. e-mail: i.lozanov@yandex.ru

Сметанин Константин Викторович - мастер СМР. (ORCID: 0009-0009-3256-9019) АО «Криогенмонтаж», г. Москва. e-mail: smetanin_k@list.ru

Феимов Фахри Аккыевич - эксперт по экспертизе промышленной безопасности. (ORCID: 0009-0001-3855-5074) АО «Криогенмонтаж», г. Москва. e-mail: fahri.feimov@gmail.com

Шавин Алексей Сергеевич - первый заместитель генерального директора - главный инженер АО «Криогенмонтаж» (ORCID: 0009-0005-6253-7473) АО «Криогенмонтаж», г. Москва. . e-mail: shavin_as@mail.ru

Нестеров Сергей Борисович – профессор (ORCID: 0000-0002-7457-4213) МГТУ им. Н.Э. Баумана. . e-mail: sbn1108@yandex.ru

Удод Игорь Владимирович - индивидуальный предприниматель (ORCID: 0009-0007-7890-5693) e-mail: ydod66@gmail.com

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ОБЪЕМЕ МИНИАТЮРНОГО ЭВП БЕЗШТЕНГЕЛЬНОГО ТИПА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ВАКУУМИРОВАНИЯ

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ГАЗОВАЯ НАГРУЗКА, ОТКАЧКА, ПРОВОДИМОСТЬ, ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЙ ПРИБОР

THE RESULTS OF CALCULATING THE CHANGE IN PRESSURE IN THE VOLUME OF A MINIATURE EVD OF A PINLESS TYPE IN THE PROCESS OF ITS EVACUATION

S.A. Bushin, S.G. Davydov, V.O. Revazov, R.Kh. Yakubov

KEYWORDS

GAS LOAD, PUMPING, CONDUCTIVITY, ELECTROVACUUM DEVICE

В работе представлены результаты теоретического исследования зависимости изменения давления остаточного газа в объеме миниатюрного электровакуумного прибора безштенгельного типа (ЭВП) при его вакуумировании с учетом скорости откачки и объемного расхода газа через суммарное сечение щелевого канала прибора.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Бушин Сергей Артурович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник (ORCID: 0000-0002-7037-1283). Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова, г. Москва. e-mail: vnii4@vnii.ru

Все авторы – сотрудники ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», г. Москва.

ПРОЕКТЫ, РЕАЛИЗОВАННЫЕ ГК «КРИОСИСТЕМЫ»

Л.В. Шпикалов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ПОСТАВКА ОБОРУДОВАНИЯ, МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ, РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОТКАЧКИ, ДОРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.

PROJECTS IMPLEMENTED BY GC «CRYOSYSTEMS»

L.V. Shpikalov

KEYWORDS

EQUIPMENT SUPPLY, EQUIPMENT MODERNIZATION, PUMPING SYSTEM DEVELOPMENT, SOFTWARE MODIFICATION.

Группа компаний «Криосистемы» была создана в 2002 году высокопрофессиональной командой российских инженеров, конструкторов и технических специалистов. Решение о создании было вызвано необходимостью сохранения знаний и опыта, а также в целях получения возможности для развития научно-технического потенциала в области криогенных и вакуумных технологий.

1. В августе 2019 года для ОАО «НИТИ «Прогресс» (ведущее технологическое предприятия российской промышленности) инженерами ГК «Криосистемы» разработана и смонтирована безмасляная система откачки высоковакуумной технологической камеры объемом 40 м³ с повышенным газовыделением.

2. В целях модернизации оборудования криогенного обеспечения источника холодных нейтронов реактора «ИБР-2», в ноябре 2021 года осуществлена поставка в международную межправительственную организацию - «Объединенный институт ядерных исследований» (Россия, Дубна) гелиевого рефрижератора («Linde Kryotechnik AG», Швейцария, мощность 1800 Вт на температурном уровне 10 К).

3. В 3-м квартале 2022 года осуществлены диагностика, доработка программного обеспечения, настройка алгоритма работы и запуск, с выходом на паспортную производительность гелиевой ожижительной станции (M-1410 «LINDE»).

4. В июле 2022 года ГК «Криосистемы» выполнила комплекс работ по модернизации вакуумной камеры на предприятии, входящим в состав российской ракетно-космической промышленности (АО «НПО Лавочкина»).

5. В августе 2022 года инженерами ГК «Криосистемы» на территории заказчика (АО «НПО Лавочкина») выполнен комплекс работ по модернизации стенда для проведения испытаний на прочность и герметичность в вакуумной камере.

6. В сентябре 2022 года инженеры ГК «Криосистемы» разработали и сдали в эксплуатацию АО «НИКИМТ – Атомстрой» автоматизированный стенд контроля герметичности.

7. В ноябре 2022 года для нашего постоянного заказчика – АО «РКЦ «Прогресс» (ведущее предприятие российской ракетно-космической промышленности, входит в состав госкорпорации «Роскосмос») был разработан и сдан в эксплуатацию стенд для проведения теплофизических испытаний.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Леонид Вячеславович Шпикалов, ООО «Современное вакуумное оборудование»,
г. Москва, e-mail: info@cryosystems.ru

РЕКОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕООРУЖЕНИЕ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ ВК-48

П.Н. Берёзко, А.Ю. Кочетков

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМНАЯ КАМЕРА, ТЕРМОВАКУУМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

RECONSTRUCTION AND TECHNICAL RE-EQUIPMENT OF THE VK-48 VACUUM CHAMBER

P.N. Berezko, A.U. Kochetkov

KEYWORDS

THERMAL-VACUUM TEST CHAMBER, THERMAL-VACUUM TESTING

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

Анализ возможных вариантов формы корпуса термовакуумной камеры однозначно показывает, что выбор вакуумной камеры в виде куба оптимален с точки зрения испытаний в ней космических аппаратов с негерметичным приборным контейнером, с другой стороны цилиндрическая термовакуумная камера дешевле и проще в изготовлении, при этом результаты испытаний в ней имеют большие погрешности. С точки зрения надёжности и достоверности получаемых результатов, кубическая термовакуумная камера предпочтительна.

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

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

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Берёзко Павел Николаевич – ведущий инженер. АО «НПО Лавочкина», г. Химки Московской обл. e-mail: BerezkoPN@laspace.ru

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

НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВАКУУМНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ БОРА ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА ЛАЗЕРНО-СЕЛЕКТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ КОНДЕНСАЦИИ

К.А. Ляхов, Muhammad Waqar Ahmed

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЛАЗЕРНЫЕ МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ, ИЗОТОПЫ БОРА,
ТУРБОМОЛЕКУЛЯРНЫЙ ВАКУУМНЫЙ НАСОС, ПРИБЛИЖЕНИЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ,
УРАВНЕНИЯ БАЛАНСА, СВЕРХЗВУКОВОЙ ПОТОК ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО
РАЗРЕЖЕННОГО ГАЗА

SOME PARAMETERS OF VACUUM SYSTEM FOR BORON ISOTOPES SEPARATION BY THE LASER ASSISTED RETARDATION OF CONDENSATION

К.А. Lyakhov, Muhammad Waqar Ahmed

KEYWORDS

LASER-ASSISTED METHODS OF ISOTOPE SEPARATION, BORON ISOTOPES, TURBO-
MOLECULAR VACUUM PUMP, BOUNDARY LAYER APPROXIMATION, BALANCE
EQUATIONS, OVERCOOLED RAREFIED SUPERSONIC GAS FLOW

На основе модели диффузии, управляемой лазерным излучением, [1] были найдены значения температура $T=27\text{K}$ и давление $P=10\text{mTorr}$, при которых фактор обогащения изотопом бора-10 достигает максимума $\beta=1.2$ в сверхзвуковом газовом потоке (2% смесь BCl_3 в Ar). Действенность данного метода была впервые экспериментально проверена в [2].

Не смотря на малость давления, которая необходима для уменьшения столкновительного уширения и релаксационных потерь, а также величины среза потока скиммером и фактора обогащения, данный метод всё же остаётся привлекательным для промышленного использования, поскольку позволяет итеративное сверхбыстрое извлечение изотопов (число Маха потока $M=5$), а также параллельное использование нескольких модулей и объединение их в каскады.

Для производства газового потока с данными параметрами была собрана установка в университете Чеджу (Юж. Корея). Были измерены распределения температуры вдоль оси газового потока последовательностью медно-никелевых термопар на расстояниях 60mm, 245mm, 435mm, 630mm и 820mm от среза сопла, а также была получена интерферограмма распределения плотности газового потока на расстоянии 21 см от среза сопла в интерферометре Маха-Цандера.

На основе полученных данных (недостаточно низкое давление в разделительной ячейке $P=13.4$ Torr и высокая температура в ядре газового потока $T=10.5\text{C}$ на удалении 24.5cm от среза сопла) был сделан вывод о необходимости корректировки размеров сопла в меньшую сторону, если используется турбомолекулярный вакуумный насос TMP-3403LMES-T2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zellweger, J M, Isotopically Selective Condensation and Infrared-Laser-Assisted Gas-Dynamic Isotope Separation, Physical Review Letters (1984) 52,7,522-525

2. Erkens, J. W., Laser-induced migration and isotope separation of epi-thermal monomers and dimers in supercooled free jets, *Laser and Particle Beams* (2005) 3,225-253

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ляхов Константин Андреевич – кандидат физико-математических наук (PhD),
(ORCID: 0000-0003-2023-5811). Математический институт имени В.А. Стеклова,
г. Москва. e-mail: lyakhov2000@yahoo.com

Muhammad Waqar Ahmed -PhD. Department of Physics, Riphah International University,
Islamabad 44000, Pakistan. e-mail: mwaqar.ahmed@riphah.edu.pk

ОСНОВЫ ОБЕЗГАЖИВАНИЯ СВВ ОБОРУДОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Ю.А. Веренкова, Е.А. Деулин, Р.О. Емельяненко, Д.В. Копытов, И.Ф. Ханбеков

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ОБЕЗГАЖИВАНИЕ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА,
ТРИБОЛОГИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ РЕШЁТКА

OUTLINES OF DEGASSING OF UHV EQUIPMENT BY VARIOUS METHODS

Yu.A. Verenkova, E.A. Deulin, R.O. Emelianenko, D.V. Kopytov, I.F. Khanbekov

KEYWORDS

OUTGASSING, HEAT TREATMENT, ULTRASONIC TREATMENT, TRIBOLOGICAL
TREATMENT, CRYSTAL LATTICE

На сегодняшний день актуальна проблема повышения количества годных изделий при производстве электро-вакуумных приборов. Исследование методов обезгаживания СВВ оборудования может позволить уменьшить вероятность отказов, а также ускорить этот достаточно продолжительный процесс. Развивая традиционно используемое в вакуумной технике понятие "обезгаживание" можно получить как минимум три вариации физических моделей процессов обезгаживания, добавляя к традиционно используемому термическому - ультразвуковой и трибологический высокочастотные методы.

Показательно, что физическая основа всех трех методов на атомарном уровне одинакова – это увеличение суммарного количества "попыток" преодоления растворенными атомами энергетических барьеров кристаллических решеток материала (при стабильной вероятности). Результат (поток газа) оказывается пропорциональным количеству "попыток", но не "вероятности".

Работа выполнена в рамках продолжения тематики диссертации к.т.н. И.Ф.Ханбекова.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Веренкова Юлия Антоновна – студентка (ORCID: 0009-0003-9681-8594). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: verenkova.yulia@mail.ru

Деулин Евгений Алексеевич – доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0000-0000-0000). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: deulin@bmstu.ru

Копытов Дмитрий Вячеславович – студент магистратуры (ORCID: 0009-0004-1628-9045). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: dima.sds@mail.ru

ВАКУУМНЫЙ ПРИВОД С ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Д.С. Шахов, В.П. Михайлов, А.М. Базиненков, М.Е. Жуков

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМ, ПРИВОД, ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЖИДКОСТЬ, СКОРОСТЬ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, ГИДРАВЛИКА

VACUUM DRIVE WITH ELECTORRHEOLOGICAL CONTROLS

D.S. Shakhov, V.P. Mikhailov, A.M. Bazinenkov, M.E. Zhukov

KEYWORDS

VACUUM, DRIVE, ELECTORRHEOLOGICAL FLUID, MOVEMENT SPEED, HYDRAULICS

Задача точного перемещения объектов в вакууме с заданной скоростью может быть успешно решена применением механизмов на основе интеллектуальных материалов. Одним из таких материалов является электрореологическая жидкость (ЭРЖ). ЭРЖ является суспензией непроводящих твердых частиц, обратимо поляризующихся под действием внешнего электрического поля.

Гидравлические механизмы, в которых в качестве рабочей жидкости используется ЭРЖ, обладают всеми преимуществами классических гидравлических приводов, в том числе, высокой нагрузочной способностью, быстродействием и большим диапазоном перемещений. Кроме того, благодаря уникальным свойствам ЭРЖ, они способны обеспечить беспрецедентную для гидравлических приводов точность перемещения.

Объектом исследований является вакуумный пневматический привод с электрореологическим управлением. В работе приведены результаты исследования свойств ЭРЖ, а также эффективности управления скоростью перемещения привода в зависимости от создаваемого в гидравлическом канале электрического поля.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Шахов Дмитрий Сергеевич – аспирант кафедры МТ-11 (ORCID: 0000-0003-1113-0428).
ФБГОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИУ). e-mail: shakhovds@student.bmstu.ru

Михайлов Валерий Павлович – доктор технических наук, профессор кафедры МТ-11
(ORCID: 0000-0003-3638-7932). ФБГОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИУ). e-mail: mikhailov@bmstu.ru

Базиненков Алексей Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-11
(ORCID: 0000-0003-0845-2290). ФБГОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИУ). e-mail: ambazinenkov@bmstu.ru

Жуков Михаил Евгеньевич – студент 4го курса кафедры МТ-11 (ORCID: 0000-0001-6522-1304). ФБГОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИУ). e-mail: zhukovme@student.bmstu.ru

ПОВЫШЕНИЕ СВЯЗНОСТИ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ТРАНЗИТНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ (ИТТС) НА БАЗЕ ВАКУУМНОГО МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА (ВМЛТ)

Ю.А. Терентьев, В.В. Коледов, В.Г. Шавров, А.С. Бугаёв, С.Б. Нестеров, Р.О. Кондратенко, Г.Г. Малинецкий, В.С. Смолин, В.В. Филимонов, Б.А. Лёвин, П.В. Куренков, А.М. Давыдов, А.В. Камынин, И.В. Гавриков, К.Л. Ковалёв, Р.И. Ильясов, Б.В. Дроздов, А.А. Сафонов, Н.А. Нижельский, И.Ю. Родин, С.Е. Сычевский, А.А. Фирсов, В.В. Васильев, В.В. Асеев, В.С. Ларюхин, А.В. Бабачанак, В.К. Балабанов, С.В. Самойленков, В.И. Щербаков, О.В. Варганов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ТРАНСПОРТНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА, СВЯЗНОСТЬ ТЕРРИТОРИИ СТРАНЫ, ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ТРАНСПОРТ, ВАКУУМНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, МАГНИТНАЯ ЛЕВИТАЦИЯ, ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

INCREASING CONNECTIVITY OF THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION THROUGH THE TRANSPORT INFRASTRUCTURE OF THE INTEGRATED TRANSIT TRANSPORT SYSTEM (ITTS) BASED ON VACUUM MAGNETOLEVITATION TRANSPORT (VMLT)

Yu.A. Terentiev, V.V. Koledov, V.G. Shavrov, A.S. Bugaev, S.B. Nesterov, R.O. Kondratenko, G.G. Malinetsky, V.S. Smolin, V.V. Filimonov, B.A. Levin, P.V. Kurenkov, A.M. Davydov, A.V. Kamynin, I.V. Gavrikov, K.L. Kovalev, R.I. Ilyasov, B.V. Drozdov, A.A. Safonov, N.A. Nizhelsky, I.Yu. Rodin, S.E. Sychevsky, A.A. Firsov, V.V. Vasiliev, V.V. Aseev, V.S. Laryukhin, A.V. Babachanakh, V.K. Balabanov S.V. Samoilenkov, V.I. Shcherbakov, O.V. Vartanov

KEYWORDS

TRANSPORT INFRASTRUCTURE, NATIONAL CONNECTIVITY, HIGH-SPEED TRANSPORT, VACUUM TECHNOLOGY, MAGNETIC LEVITATION, HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTIVITY, ENERGY EFFICIENCY

Доклад посвящен краткому описанию возможного инфраструктурного Проекта ИТТС на базе принципиально новой передовой транспортной концепции «Вакуумной Магнито-Левитационной Транспортной («ВМЛТ») технологии» которая является ярким примером энергоэффективной конвергенции магнитолевитационной, вакуумной и сверхпроводниковой технологий для высокоскоростного наземного транспорта, а также одним из наиболее эффективных решений проблемы кардинального повышения скорости и пропускной способности транспортных систем, позволяющим в потенциале достигать скорости движения транспортных средств кратной 1000 км/ч, при высокой пропускной способности магистральных путепроводов, невысокой стоимости перемещения пассажиров и грузов и рекордно низких затратах энергии в комбинации с новыми перспективными низкотемпературными оптоволоконными и криогенными технологиями.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Терентьев Юрий Алексеевич – независимый эксперт (ORCID: 0000-0003-2453-8377)
РНТВО им. академика С.А. Векшинского, г. Москва. e-mail: teren_y@mail.ru

В.В. Коледов – доктор физико-математических наук, профессор (ORCID: 0000-0002-2439-6391) Институт радиотехники и электроники РАН, г. Москва

В.Г. Шавров – доктор физико-математических наук, профессор (ORCID: 0000-0003-0873-081X) Институт радиотехники и электроники РАН, г. Москва

А.С. Бугаёв – Академик РАН (ORCID: 0000-0001-9445-3446) Институт радиотехники и электроники РАН, г. Москва

Нестеров Сергей Борисович – доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0002-7457-4213). РНТВО им. академика С.А. Векшинского, г. Москва

Кондратенко Рим Олегович – кандидат технических наук (ORCID: 0009-0009-8305-4605). РНТВО им. академика С.А. Векшинского, г. Москва. e-mail: rim19@mail.ru

Г.Г. Малинецкий – доктор физико-математических наук, профессор (ORCID: 0000-0001-6041-1926) Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, г. Москва

В.С. Смолин – (ORCID: 0000-0001-9030-6545) Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, г. Москва

В.В. Филимонов – (ORCID: 0000-0003-0824-7748) НПО АСТ, г. Санкт-Петербург

Б.А. Лёвин – (ORCID: 0000-0002-7158-5160) РУТ МИИТ, г. Москва

П.В. Куренков – доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор (ORCID: 0000-0003-0994-8546) РУТ МИИТ, г. Москва

А.М. Давыдов – доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0002-6263-846X) РУТ МИИТ, г. Москва

А.В. Камынин – кандидат технических наук (ORCID: 0000-0002-9183-6799) ЗАО «СпецМагнит», г. Москва

И.В. Гавриков – (ORCID: 0000-0002-5856-6213) ЗАО «СпецМагнит», г. Москва

К.Л. Ковалёв – доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0002-1923-3539) Московский авиационный институт, г. Москва

Р.И. Ильясов – кандидат технических наук (ORCID: 0000-0003-3124-3489) Московский авиационный институт, г. Москва

Б.В. Дроздов – доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0003-1722-8901) JSC «НИИ ИАТ», г. Москва

А.А. Сафонов – (ORCID: 0000-0002-5031-9058) ООО «Нева Технологии», г. Москва

Н.А. Нижельский – кандидат технических наук (ORCID: 0000-0002-6419-7223) МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

И.Ю. Родин – (ORCID: 0000-0002-9710-3203) АО «НИИЭФА им. Ефремова», г. Москва

С.Е. Сычевский – (ORCID: 0000-0001-9365-4502) АО «НИИЭФА им. Ефремова», г. Москва

А.А. Фирсов – (ORCID: 0000-0001-5523-7927) АО «НИИЭФА им. Ефремова», г. Москва

В.В. Васильев – (ORCID: 0000-0001-5091-2137) АО «НИИЭФА им. Ефремова», г. Москва

В.В. Асеев – (ORCID: 0000-0003-4098-2136) Филиал АО «ОДК» МКБ «Горизонт»,
г. Москва

В.С. Ларюхин – студент (ORCID: 0000-0002-5720-3111) МГТУ им. Н.Э. Баумана,
г. Москва

А.В. Бабачаных – студент (ORCID: 0009-0008-3685-7467) РУТ МИИТ, г. Москва

В.К. Балабанов – студент (ORCID: 0000-0003-2205-3501) Самарский НИУ им. Академика
С.П. Королёва, г. Самара

С.В. Самойленков – кандидат химических наук (ORCID: 0000-0002-3830-1058) ЗАО
«SuperOx», г. Москва

В.И. Щербаков – (ORCID: 0000-0003-4769-6634) ЗАО «SuperOx», г. Москва

О.В. Варганов – (ORCID: 0000-0003-3749-7105) НТУ СИРИУС, г. Сочи

РЕШЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЗАДАЧ ОБ ИСТЕЧЕНИИ И ТЕПЛООБМЕНЕ В РАЗРЕЖЕННОМ ГАЗЕ С УЧЕТОМ МНОГОАТОМНОСТИ МОЛЕКУЛ И ПОДВИЖНОСТИ ГРАНИЦЫ РАСЧЕТНОЙ ОБЛАСТИ

А.Н. Якунчиков

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ИСТЕЧЕНИЕ В ВАКУУМ, ТЕПЛООБМЕН В РАЗРЕЖЕННОМ ГАЗЕ, ПОДВИЖНЫЕ ГРАНИЦЫ

SOLVING THE UNSTEADY PROBLEMS OF OUTFLOW AND HEAT TRANSFER IN A RAREFIED GAS, TAKING INTO ACCOUNT THE POLYATOMIC NATURE OF MOLECULES AND THE MOVING BOUNDARY OF THE COMPUTATIONAL DOMAIN

A.N. Yakunchikov

KEYWORDS

OUTFLOW INTO VACUUM, HEAT TRANSFER IN A RAREFIED GAS, MOVING BOUNDARIES

Современные потребности газоразделительной и вакуумной техники представляют серьезный вызов существующим теоретическим методам динамики разреженного газа, а именно (1) необходимость решения задач с существенным перепадом числа Кнудсена, (2) существенным изменением в скорости течения, (3) значительными перепадами температур, (4) с учетом вращательных степеней свободы в молекулах газа и (5) подвижными границами расчетной области. В работе развит подход событийного молекулярно-динамического моделирования (EDMD) применительно к задачам динамики разреженного газа, который позволил преодолеть перечисленные выше трудности. Методика проверялась сравнением с результатами экспериментов по истечению азота вакуум. Решена задача о теплопередаче в разреженном газе между движущимися относительно друг друга профилированными поверхностями и задача об истечении смеси двухатомных газов в вакуум, которое периодически прерывается движущимися навстречу струе телами.

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 РФФИ в рамках научного проекта № 20-71-10049.

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

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

А.С. Масакбаев, В.Н. Масловский, К.М. Моисеев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ОБРАБОТКА, ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА, ЛЕГКОПЛАВКИЕ МЕТАЛЛЫ, АЛЮМИНИЙ, АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ, ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.

ELECTRON BEAM WELDING OF FUSIBLE ALUMINUM ALLOYS

A.S. Masakbaev, V.N. Maslovsky, K.M. Moiseev

KEYWORDS

ELECTRON BEAM PROCESSING, ELECTRON BEAM WELDING, FUSIBLE / LOW-MELTING-POINT METALS, ALUMINIUM, ALUMINUM ALLOYS, WELDING DEFECT.

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) – один из наиболее перспективных способов соединения деталей из химически активных и легкоплавких металлов и сплавов в аэрокосмической и автомобильной отраслях, энергомашиностроении, производстве электровакуумных приборов и др.

С помощью ЭЛС возможно получать равнопрочные соединения из легкоплавких сплавов в конструкциях, работающих при высоких нагрузках. Одной из актуальных задач является сварка тормозных суппортов, выполненных из алюминиевого сплава, с помощью аддитивных технологий.

Для решения этой задачи на основании литературного анализа определены основные требования и рекомендации для ЭЛС легкоплавких металлов сплавов, в том числе на основе алюминия. Так, их сваривают при ускоряющем напряжении 60 кВ, силе тока луча от 5 до 30 мА, скорости сварки от 15 до 30 м/ч. Выполнение второго прохода по сварному шву, сохраняя заданные параметры, позволяет уменьшить пористость. Для избегания пустот следует выполнять сварку на малых скоростях порядка 15 м/ч. К уменьшению пористости приводит предварительная обработка инструментом с алмазным покрытием. Для качественного шва необходимо обеспечить хороший теплоотвод путем обеспечения достаточной силы затяжки заготовок в оснастке. Для избегания растрескивания следует минимизировать зазор между свариваемыми деталями и работать сфокусированным пучком. На основе этих рекомендаций подобраны режимы и сварены две заготовки из сплава Д16 толщиной 3 мм, получен однородный шов глубиной 2 мм на длине 15 мм между заготовками толщиной 3 мм. Процесс проведен на установке электронно-лучевой обработки «ЛУЧ» с электронно-лучевой пушкой ЭЛТА-60.15ДП при токе пучка 6 мА, скорости сварки 1 мм/с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Масакбаев Артем Сереевич - студент 4-го года бакалавриата, (ORCID: 0000-0001-9273-7701). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: oro4561lecd@mail.ru

Масловский Валерий Николаевич - магистр 2 года, (ORCID: 0000-0003-0725-986X) МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: maslovskyvn.nano@yandex.ru

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

**СЕКЦИЯ 2. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ
ТОНКИХ ПЛЕНОК. МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

ГЕНЕРАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГИЕЙ ИОНОВ В КОМБИНИРОВАННОМ РЕЖИМЕ РАСПЫЛЕНИЯ ГРАФИТА

В.О. Оскирко, А.Н. Захаров, А.П. Павлов, А.А. Соловьев, В.А. Семенов, М.И. Ажгихин

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ИСТОЧНИК ИОНОВ, ИОНЫ УГЛЕРОДА, УГЛЕРОДНЫЕ ПЛЕНКИ

GENERATION AND CONTROL OF ION ENERGY IN THE COMBINED GRAPHITE SPUTTERING MODE

V.O. Oskirko, A.N. Zakharov, A.P. Pavlov, A.A. Solovyev, V.A. Semenov, M.I. Azhgikhin

KEYWORDS

ION SOURCE, CARBON IONS, CARBON FILMS

Представлена электрическая схема питания магнетронной распылительной системы, позволяющая реализовать импульсный комбинированный режим распыления графита при давлении в вакуумной камере $5 \cdot 10^{-2}$ Па. Формирование импульсов высокой мощности происходит при достижении на разрядном конденсаторе схемы питания уровня напряжения 600-700 В. Затем формируется сильноточный магнетронный разряд, который при величине тока $\sim 400-500$ А переходит в дуговую стадию с током разряда до 3 кА. После чего формируется импульс положительной полярности. В паузах между импульсами высокой мощности в вакуумной камере горит слаботочный магнетронный разряд. Электрическая дуга является источником ионов углерода, энергия которых определяется амплитудой положительного импульса. Продемонстрирована возможность регулирования частоты, длительности и амплитуды импульсов дугового разряда путём изменения ёмкости разрядного конденсатора.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В.О. Оскирко - научный сотрудник ИСЭ СО РАН, г. Томск, кандидат технических наук, технический директор ООО «Прикладная электроника» (ORCID: 0000-0001-5167-0133) e-mail: oskirkovo@gmail.com

А.Н. Захаров - научный сотрудник, кандидат технических наук, (ORCID: 0000-0002-1068-6160) ИСЭ СО РАН, г. Томск. e-mail: zare17@yandex.ru

А.П. Павлов - инженер ИСЭ СО РАН, директор ООО «Прикладная электроника», г. Томск (ORCID: 0000-0002-4018-7098) e-mail: APELTom@yandex.ru

А.А. Соловьев - ведущий научный сотрудник ИСЭ СО РАН, кандидат технических наук (ORCID: 0000-0001-7775-9769) e-mail: andrewsol@mail.ru

В.А. Семенов - инженер ЛПЭ ИСЭ СО РАН (ORCID: 000-0001-5089-7096) e-mail: semenofvjacheslav@gmail.com

М.И. Ажгихин - инженер-конструктор ООО "Прикладная электроника" (ORCID: 0000-0002-1558-1026) e-mail: maxazhg@gmail.com

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ПОДЛОЖКУ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ МАГНЕТРОННОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В.О. Оскирко, А.Н. Захаров, А.С. Гренадёр, А.А. Соловьев, В.А. Семенов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

СИЛЬНОТОЧНОЕ ИМПУЛЬСНОЕ МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ, ПОЛНАЯ И УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ, ПОТОК ЭНЕРГИИ НА ПОДЛОЖКУ

CONTROLLING THE ENERGY IMPACT ON THE SUBSTRATE BY CHANGING THE PULSES PARAMETERS OF THE MAGNETRON SPUTTERING SYSTEM POWER SUPPLY

V.O. Oskirko, A.N. Zakharov, A.S. Grenadyorov, A.A. Solovyev, V.A. Semenov

KEYWORDS

HiPIMS, TOTAL AND NORMALIZED ENERGY, ENERGY FLUX ON SUBSTRATE

На примере использования трех металлических мишеней (Al, Ti, Cr), продемонстрирована возможность управления удельной энергией, передаваемой покрытию в процессе его роста за счёт изменения длительности и частоты импульсов питания при фиксированной средней мощности разряда, давлении рабочего газа и расстоянии от мишени до подложки. Показано, что уменьшение длительности импульсов разрядного тока со 100 до 10 мкс приводит к увеличению потока энергии на плавающую подложку примерно на 40 %. Подача на подложку отрицательного потенциала -100 В увеличивает поток энергии на подложку на 70%. Уменьшение длительности импульсов разрядного тока с 50 до 5 мкс или снижение коэффициента заполнения с 15 до 2 % позволяет в 2 раза увеличить значение энергии, приходящейся на единицу объема покрытия, наносимого в процессе HiPIMS.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В.О. Оскирко - научный сотрудник, кандидат технических наук, технический директор (ORCID: 0000-0001-5167-0133) ИСЭ СО РАН, ООО «Прикладная электроника» г. Томск, e-mail: oskirkovo@gmail.com

А.Н. Захаров - научный сотрудник ИСЭ СО РАН, кандидат технических наук, (ORCID: 0000-0002-1068-6160) e-mail: zare17@yandex.ru

А.С. Гренадёр - научный сотрудник (ORCID: 0000-0001-6013-0200) ИСЭ СО РАН, г. Томск, кандидат технических наук, монтажник ООО «Прикладная электроника» ИСЭ СО РАН, г. Томск, e-mail: 1711Sasha@mail.ru

А.А. Соловьев - ведущий научный сотрудник ИСЭ СО РАН, кандидат технических наук (ORCID: 0000-0001-7775-9769) e-mail: andrewsol@mail.ru

В.А. Семенов - инженер ЛПЭ ИСЭ СО РАН (ORCID: 000-0001-5089-7096) e-mail: semenofvjacheslav@gmail.com

ПЛАНАРНЫЙ МАГНЕТРОН С УСКОРЕНИЕМ ИНЖЕКТИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В КАТОДНОМ СЛОЕ

М.В. Шандриков, А.А. Черкасов, В.О. Оскирко

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

МАГНЕТРОН, РАБОЧЕЕ ДАВЛЕНИЕ, ИНЖЕКЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ

PLANAR MAGNETRON WITH ACCELERATION OF INJECTED ELECTRONS IN THE CATHODE LAYER

M.V. Shandrikov, A.A. Cherkasov, V.O. Oskirko

KEYWORDS

MAGNETRON, OPERATING PRESSURE, ELECTRON INJECTION

Предложен метод снижения предельного рабочего давления планарного магнетронного разряда за счет инъекции дополнительных электронов с обратной стороны распыляемой мишени из плазмы эмиттерного разряда и последующим их ускорением в катодном слое магнетронного разряда. Инъекция электронов в магнетронный разрядный промежуток осуществляется через эмиссионную апертуру малого диаметра (1-3 мм), расположенную в центре мишени в области наименьшего ионного распыления. Перепад давления на эмиссионной апертуре обеспечивает стабильное зажигание и функционирование эмиттерного разряда с одной стороны, и низкое требуемое рабочее давление в области магнетронного разряда с другой. Предложенный метод выгодно отличается от используемых ранее систем с внешними источниками электронов более высокой энергетической эффективностью. В области предельно низкого рабочего давления (менее 0.1 Па) суммарные энергетические затраты на двухступенчатую разрядную систему оказываются меньше, чем на одноступенчатый магнетронный разряд. Предельное рабочее давление для магнетронного разряда с медной мишенью диаметром 120 мм составило 0.03 Па.

Металлические пленки, полученные в области предельно низких значений рабочего давления характеризуются увеличением адгезии, уменьшением шероховатости поверхности, увеличением степени кристалличности и уменьшением размера зерна.

Исследование выполнено по теме государственного задания ИСЭ СО РАН, проект FWRM-2021-0006.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Шандриков Максим Валентинович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник (ORCID: 0000-0002-0844-0356). Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск. e-mail: shandrikov@opee.hcei.tsc.ru

Черкасов Александр Алексеевич – аспирант (ORCID: 0000-0000-0000-0000). Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск. e-mail: cherkasov@opee.hcei.tsc.ru

Оскирко Владимир Олегович – кандидат технических наук, научный сотрудник (ORCID: 0000-0001-5167-0133). Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, технический директор ООО «Прикладная электроника» e-mail: oskirkovo@gmail.com

ПРОЗРАЧНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ С МОДУЛИРОВАННЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ. АНАЛИЗ И ПРОГНОЗЫ

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ПРОЗРАЧНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ, СВЕРХРЕШЕТКИ, ПОДВИЖНОСТЬ

TRANSPARENT ELECTRODES WITH MODULATED DOPING. ANALYSIS AND FORECASTS

A. Abduev, A. Asvarov, A. Akhmedov, V. Belyaev, D. Generalov, D. Nikolaeva, E. Smetanin.

KEYWORDS

TRANSPARENT ELECTRODES, SUPERLATTICES, MOBILITY

Выполнен анализ литературных данных о характеристиках и моделях транспорта носителей в трехслойных и многослойных структурах «металл/оксид». Изучено влияние составов и архитектуры сверхрешеток на достигаемые величины подвижностей носителей заряда и величины оптического пропускания.

Выдвинуты предложения по низкотемпературному синтезу металлических и аморфных оксидных слоев с высокой плотностью и однородностью. Определены оптимальные методы формирования аморфных слоев.

Проанализированы перспективы использования многослойных структур «оксид/металл» и структур с модулированным легированием в индустрии ЖК (OLED) дисплеев и, в целом, в прозрачной электронике.

Работа была выполнена в рамках гранта РФФ 22-19-00157.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

Ахмедов Ахмед Кадиевич – кандидат физико-математических наук, (ORCID: 0000-0002-9466-9842). Институт физики Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, г. Махачкала.

Беляев Виктор Васильевич. - доктор технических наук, профессор, Государственный университет просвещения, Московская обл.

Генералов Дмитрий Владимирович – аспирант. Российский университет дружбы народов, г. Москва. e-mail: 1042200024@rudn.ru

Николаева Дарья Владимировна - аспирант. Российский университет дружбы народов, г. Москва. e-mail: darnik.dn2@gmail.com

Сметанин Егор Александрович - аспирант. Российский университет дружбы народов,
г. Москва. e-mail: tujh98@mail.ru.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ТОЛЩИНЕ В ПЛЁНКАХ YBa₂Cu₃O_{7-δ}, ОСАЖДЁННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНОГО ЭКСИМЕРНОГО ЛАЗЕРА

В.К. Егоров, А.И. Ильин, А.А. Иванов, Е.В. Егоров

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ, ROP, СЭМ, ЭПИТАКСИАЛЬНАЯ ПЛЕНКА, ВТСП

ELEMENT DISTRIBUTION BY DEPTH IN YBa₂Cu₃O_{7-δ} FILMS DEPOSITED USING A PULSED EXCIMER LASER

V.K. Egorov, A.I. Il'in, A.A. Ivanov, E.V. Egorov

KEYWORDS

ELEMENTAL ANALYSIS, RBS, SEM, EPITAXIAL FILM, HTSC

В данной работе проведено сравнение пленок YBa₂Cu₃O_{7-δ}, полученных в вакуумной камере импульсным лазерным осаждением на монокристаллические подложки SrTiO₃ (100) при давлении кислорода 0.24 торр с фильтрацией эрозионного факела и без него. Исследования проводились методами электронной сканирующей микроскопии и резерфордовского обратного рассеяния. Как показала аппроксимация, пленки могут рассматриваться как трехслойная макроструктура. Однако, проведенная электронная микроскопия поверхности полученных пленок, продемонстрировала, что они не являются сплошным монолитом. Обсуждаются причины роста таких пленок. Результаты аппроксимации спектров обратного резерфордовского рассеяния ионов гелия для полученных покрытий позволили оценить степень пустотелости поверхностного слоя, составить представление о значении критической толщины монолитного эпитаксиального слоя с составом, близким к оптимальному содержанию базовых структурных элементов и получить оценочные сведения о толщине и стехиометрии переходного слоя плёнка/подложка.

Работа была выполнена в рамках государственного задания № 075-01304-23-00.

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

Ильин Александр Иванович – кандидат физико-математических наук (ORCID: 0000-0002-2658-6121). Институт проблем технологии микроэлектроники РАН, г. Черноголовка Московской обл. e-mail: alivil2017@yandex.ru

Иванов Андрей Анатольевич - кандидат физико-математических наук, доцент (ORCID: 0000-0002-7904-3833). Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва. e-mail: ivanov@gmail.com

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: hed1317@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ АЛМАЗОПОДОБНЫХ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО СИЛЬНОТОЧНОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА ИХ СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА

Л.Л. Колесник, Мьо Ти Ха

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

АЛМАЗОПОДОБНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ИМПУЛЬСНАЯ СИЛЬНОТОЧНАЯ МАГНЕТРОННАЯ
РАСПЫЛЕНИЯ, ВЫСОКИЙ И СВЕРХВЫСОКИЙ ВАКУУМ, ВНУТРЕННИЕ НАПРЯЖЕНИЯ,
МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ

STUDY OF THE EFFECT OF TECHNOLOGICAL CONDITIONS FOR THE FORMATION OF DIAMOND-LIKE CARBON COATINGS BY THE METHOD OF HIGH-POWER IMPULSE MAGNETRON SPUTTERING ON THEIR STRUCTURE AND PROPERTIES

L.L. Kolesnik, Myo Thi Ha

KEYWORDS

DIAMOND-LIKE COATING, HIGH-POWER IMPULSE MAGNETRON SPUTTERING, HIGH AND
ULTRA-HIGH VACUUM, INTERNAL STRESSES, SURFACE MORPHOLOGY

Рассмотрены результаты отработки технологии нанесения пленок углерода на образцы алюмооксидной керамики. Приведены результаты измерения характеристик пленок, полученных образцов по мере увеличения времени обработки.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Л.Л. Колесник – кандидат технических наук, доцент (ORCID: 0009-0004-9011-1579).
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва Московской обл. e-mail: kolesnik@bmstu.ru

Мьо Ти Ха – кандидат физико-математических наук, докторант (ORCID: 0009-0004-9011-1579).
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва Московской обл. e-mail: myothiha53@gmail.com

ТЕПЛОВОЙ ПРОЦЕСС НА ПОДЛОЖКЕ ПРИ РАСПЫЛЕНИИ СЭНДВИЧ МИШЕНИ CU/TI

М.О. Иванцов, В.И. Шаповалов, Д.С. Шарковский

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ, СЭНДВИЧ МИШЕНЬ, НАГРЕВАНИЕ ПОДЛОЖКИ, ПОТОК ЭНЕРГИИ, ТЕПЛОВОЙ ДАТЧИК

THERMAL PROCESS ON A SUBSTRATE AT SPUTTERING A SANDWICH TARGET CU/TI

M.O. Ivantsov, V.I. Shapovalov

KEYWORDS

MAGNETRON SPUTTERING, SANDWICH TARGET, SUBSTRATE HEATING, ENERGY FLOW, THERMAL SENSOR

Установлено, что нагревание подложек при осаждении пленок с помощью магнетронного распыления может значительно влиять на их кристаллическую структуру и физические свойства. В связи с этим исследование влияния на температуру подложки тока разряда, давления рабочих газов и иных факторов всегда привлекало внимание специалистов.

Целью данной статьи было экспериментальное исследование тепловых процессов при распылении сэндвич мишени, содержащей медную и титановую пластины. Для определения потока энергии на подложку был использован термопарный датчик. Его чувствительным элементом служил медный диск площадью 100 мм² и толщиной 1 мм. Диск был закреплен на спае термопары хромель-копель с диаметром проводников 0.3 мм.

Выполненные исследования позволили установить, что кинетические кривые нагревания имеют точки перегиба, положение которых на оси времени пропорционально плотности тока разряда. Наличие точек перегиба обусловлено конечным значением постоянной времени нагревания внешней пластины магнетрона. Для учета кинетики нагревания мишени в аналитическую формулу, описывающую кинетику нагревания подложки, введен безразмерный экспоненциальный множитель.

Работа была выполнена в порядке инициативы при подготовке магистерской выпускной работы.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Иванцов Максим Олегович – магистрант, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, e-mail: max1738nat@mail.ru

Шаповалов Виктор Иванович – д-р техн. наук, профессор (ORCID: 0000-0003-2196-6851), Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, e-mail: vishapovalov@mail.ru

Даниил Сергеевич Шарковский – студент, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, e-mail: sharkovskiy.d@yandex.ru

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ПЛЕНОК ДИОКСИДА КРЕМНИЯ С ВОСПРОИЗВОДИМЫМИ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

О.М. Медведева, Е.В. Панфилова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ФОТОННЫЙ КРИСТАЛЛ, КОЛЛОИДНЫЙ РАСТВОР, КОЛЛОИДНАЯ ПЛЕНКА, САМООРГАНИЗАЦИЯ, ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕ, МИКРОСФЕРА

DEVELOPMENT OF THE DEPOSITION PROCESS OF SILICON DIOXIDE FILMS WITH REPRODUCIBLE PHOTONIC-CRYSTALLINE PROPERTIES

O.M. Medvedeva, E.V. Panfilova

KEYWORDS

PHOTONIC CRYSTAL, COLLOIDAL SOLUTION, COLLOIDAL FILM, SELF-ORGANIZATION, CENTRIFUGATION, MICROSPHERE

В современном мире для возможности разработки и совершенствования новых технологий от современных материалов требуются новые свойства. Фотонно-кристаллические структуры с этой точки зрения представляют значительный интерес для науки благодаря своим уникальным оптическим свойствам – наличие фотонной запрещенной зоны. Рассматриваемые структуры могут применяться в оптике для создания волноводов, суперлинз, дисплеев, низко- и беспороговых лазеров и т.д.

Сборка коллоидных частиц снизу вверх привлекает значительное внимание в последние десятилетия, поскольку позволяет экономично и гибко изготавливать однослойные или многослойные коллоидные пленки с заданной микроструктурой, которые имеют широкий спектр реальных и потенциальных применений, включая фотонные кристаллы, фотонные стекла, электронные устройства, чувствительные датчики, макропористые материалы и поверхностные покрытия со структурным цветом или определенной смачиваемостью.

Самосборка на твердой подложке – наиболее распространенная стратегия изготовления коллоидных пленок. В этой работе описывается простой и быстрый метод осаждения наночастиц – метод центрифужного осаждения. Этот метод представляет собой очень простой и эффективный процесс, который может быть применен к широкому спектру подложек и различных наночастиц. Этим способом можно производить нанесение на гибкие или шероховатые поверхности, не ограничиваясь плоскими поверхностями, такими как гибкий пластик, алюминиевая фольга, медный лист и т.д. Это обеспечивает хорошее покрытие и контроль толщины пленок наночастиц и послойное нанесение различных наночастиц очень простым способом.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Медведева Олеся Михайловна – студентка магистратуры, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: medvedevaom@student.bmstu.ru

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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ С МАЛЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

А.Д. Купцов, С.В. Сидорова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, РАСПЫЛЕНИЕ, ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

EVALUATION OF THE EFFECT OF PRETREATMENT ON THE FORMATION OF THIN-FILM COATINGS WITH LOW RESIDUAL STRESSES

A.D. Kouptsov, S.V. Sidorova

KEYWORDS

ION-PLASMA TECHNOLOGIES, SPUTTERING, RESIDUAL STRESSES

Остаточным напряжениям подвержены однослойные и многослойные тонкие пленки. Многослойные кластеры позволяют обеспечить требования по надежности и функциональному назначению формируемых изделий. При этом последовательность пленок металл-диэлектрик-полупроводник толщиной от нанометров до микрометров подвержены влиянию остаточных напряжений, распределенных как в объеме структуры, так и на границах раздела пленок и подложки. Выделяют внешние и внутренние факторы возникновения напряжений, например, несоответствие кристаллической решетки подложки и пленки. Наличие напряжений не увеличивает трудозатраты технологического процесса, но релаксация напряжений может вызывать деструкцию покрытий, что приводит к ухудшению свойств и возможному отсутствию необходимых характеристик изделия.

Существуют научно-исследовательские и технологические решения для изучения физико-математической модели распределения напряжений. Влиять на уменьшение остаточных напряжений можно с помощью подбора режимов формирования текущего и обработки предыдущего слоев.

Целью работы является исследование процесса ионно-плазменной подготовки подложки для формирования многослойных тонкопленочных покрытий с малыми значениями остаточных напряжений.

Работа направлена на отработку технологических принципов и решений для подготовки подложки к формированию мультислойных тонкопленочных покрытий, а именно: очистка подложек ситалла и гибких эластомеров ионно-плазменным способом с последующим ассистированием. Качественный показатель степени очистки измерялся на гониометре. Разрушающий контроль адгезии проводился после релаксации структуры.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Купцов Алексей Дмитриевич – аспирант 1 года (ORCID 0009-0002-3997-9722). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: alex-kouptsov@yandex.ru

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

ОСТРОВКОВЫЕ ТОНКИЕ ПЛЕНКИ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ АКТИВНОГО СЛОЯ МЕМРИСТОРА

Н.О. Юркин, С.В. Сидорова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

МЕМРИСТОР, ОСТРОВКОВЫЕ ТОНКИЕ ПЛЕНКИ, ВАКУУМ, ПРОВОДИМОСТЬ

INSULAR THIN FILMS FOR MEMRISTOR ACTIVE LAYER MODIFICATION

N.O. Yurkin, S.V. Sidorova

KEYWORDS

MEMRISTOR, ISLAND THIN FILM, VACUUM, CONDUCTIVITY

Рост количества обрабатываемой информации в современном мире и достижение предела уменьшения технологического процесса современных вычислительных устройств привели к необходимости поиска новой электронной компонентной базы (ЭКБ). Перспективным устройством является мемристор, представляющий собой структуру металл-диэлектрик-металл и способный изменять свое сопротивление – кодировать информацию в зависимости от полярности приложенного на электроды напряжения. Мемристоры легко объединяются в cross-bar матрицы, совместимые с КМОП.

Мемристор является структурой, состоящих из 3 основных компонентов: нижний электрод, активный слой, верхний электрод. Электроды выполняются из металлов, выбор которого зависит от механизма переключения, а активный слой является диэлектрическим слоем, зачастую используется оксиды. Определено два основных механизма переключения: механизм электрохимической металлизации и механизм измененной валентности.

Основной проблемой, останавливающей применение мемристоров в качестве новой ЭКБ, является достижение воспроизводимости сопротивления ячейки. Данная задача может быть решена посредством модификации активного слоя – использование набора чередующихся слоев, легирование или же внедрение дополнительных структур. В качестве таких дополнительных структур могут выступать островковые пленки, материал которых может влиять на механизм переключения.

Целью данной работы является исследование процесса формирования методами вакуумного нанесения покрытий проводящего островкового слоя и его внедрение в мемристорную структуру

Получена тестовая структура мемристора, сформированная на кремниевой подложке и состоящая из металлических электродов, разделенных слоем диэлектрика. В конфигурацию мемристора внедрен слой проводящих островковых структур.

Проведенное тестирование показало, что полученный элемент мемристора способен менять свое сопротивление в зависимости от полярности приложенного напряжения.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Юркин Никита Олегович – студент 4 курса. МГТУ им. Н.Э. Баумана, e-mail: yurkin.nik18@mail.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 ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ОСТРОВКОВЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК КОБАЛЬТА ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ В УСТРОЙСТВА НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

С.В. Кирьянов, С.В. Сидорова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ОСТРОВКОВЫЕ ПЛЕНКИ, ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ, МНОГСЛОЙНАЯ
ОСТРОВКОВАЯ СТРУКТУРА, ДАТЧИКИ ПОЛЕЙ, МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ТОНКИЕ ПЛЕНКИ

INVESTIGATION OF THE COBALT INSULAR THIN FILMS FORMATION FEATURES FOR INTEGRATION INTO NANOELECTRONICS DEVICES

S.V. Kiryanov, S.V. Sidorova

KEYWORDS

INSULAR FILMS, THIN-FILM COATINGS, MULTILAYER INSULAR STRUCTURE, FIELD
SENSORS, METAL THIN FILMS

В современном мире интенсивное развитие электронной промышленности требует улучшения показаний приборов и уменьшение габаритов устройств. Для реализации данного запроса подходят несплошные металлические покрытия на стадии формирования островков, которые обладают уникальными свойствами проводимости. Одним из перспективных материалов для формирования островковых тонких пленок (ОТП), благодаря уникальным свойствам в области магнетизма, является Co. Это практически единственный чистый магнитотвердый материал, который обладает коэрцитивной силой 50...70 кА/м, что позволяет применять Co в спин-туннельных магниторезистивных датчиках на основе ОТП.

Целью работы является отработка режимов формирования в вакууме ОТП Co для дальнейшего внедрения в устройства микро- и нанoeлектроники.

Нанесение островковых пленок Co осуществлялось методом термического испарения в вакууме на лабораторном стенде, организованном на базе установки МВТУ-11-1МС, на заранее подготовленные подложки из ситалла с медными контактными площадками. Испарение гранул Co массой 25мг производилось путем стабилизации по току с максимальным напряжением $U_{max}=30В$ и мощностью $P_{max}=3кВт$. При этом активное испарение наблюдалось при токе на испарителе $I=7,5...8А$. В качестве испарителя использовалась конусная спираль из вольфрамовой проволоки диаметром 0,3мм, средний диаметр витков составлял 4мм. Контроль стадий роста покрытий в процессе нанесения осуществлялся методом туннельного тока при помощи пикоамперметра Keithley 6485.

В результате проведения экспериментальных исследований была получена серия зависимостей туннельного тока от времени формирования покрытия. Измерения проводились на режиме SLOW, что соответствует 10 измерениям в секунду.

Для формирования ОТП Co рекомендованы режимы: ток – 7,5...8А, время – 3...3,5сек. В дальнейшем планируется формирование многослойной ОТП с чередующимися слоями Ni и Co, разделенных диэлектрической прослойкой.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кирьянов Сергей Владимирович – студент 4 курса. МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: makdrin@mail.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 СТРУКТУРЫ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК WSi ДЛЯ SSPD

Д.Д. Платонов, В.А. Желтиков, С.Ю. Хыдырова, К.М. Моисеев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

СВЕРПРОВОДНИКОВЫЙ ОДНОФОТОННЫЙ ДЕТЕКТОР, ТОНКАЯ ПЛЕНКА, МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ

INVESTIGATION OF STRUCTURE OF SUPERCONDUCTING WSi THIN FILMS FOR SSPD

D.D. Platonov, V.A. Zheltikov, S.Yu. Hydyrova, K.M. Moiseev

KEYWORDS

SUPERCONDUCTING SINGLE PHOTON DETECTOR, THIN FILM, MAGNETRON SPUTTERING

Сверхпроводниковые однофотонные детекторы (Superconducting Single Photon Detector, SSPD) имеют лучшие характеристики среди однофотонных детекторов. SSPD применяются в LIDAR системах, квантовых оптических интегральных схемах. Чувствительным элементом SSPD является ультратонкая (от 5 до 10 нм) пленка сверхпроводящего материала, свойства которой существенно влияют на выходные характеристики детектора. Детекторы на основе пленок из WSi показывают эффективность детектирования 93% и широкий рабочий диапазон длин волн до 10 мкм.

Тонкие пленки для SSPD получают преимущественно магнетронным распылением, так как этот метод позволяет получить большую равномерность и однородность пленки. Для изготовления детекторов из WSi пленка должна иметь рентгеноаморфную структуру (плотноупакованную, мелкозернистую). Известно, что при магнетронном распылении на структуру пленки оказывает существенное влияние энергия осаждаемых частиц.

На установке магнетронного распыления ВУП-11М проведено исследование по определению зависимости плотности пленок W и Si от мощности и рабочего давления. Пленки W и Si поочередно осажжены на подложку и кварцевый резонатор. При помощи кварцевого резонатора измерена удельная масса осажженной пленки непосредственно во время нанесения. После проведения осаждения на сканирующем электронном микроскопе определена толщина покрытий и рассчитана плотность каждого из слоев W и Si.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Платонов Данил Дмитриевич – студент 4 курса бакалавриата кафедры МТ-11 (ORCID: 0000-0003-0246-4290). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва e-mail: danillplaton0ff@yandex.ru

Желтиков Владимир Александрович – студент 2 курса магистратуры кафедры МТ-11 (ORCID: 0000-0001-7099-1039). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва e-mail: zheltikov.vladimir@yandex.ru

Хыдырова Селби – аспирант 2 года кафедры МТ-11 (ORCID 0000-0002-5510-0899). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва e-mail: hydyrova.selbi@yandex.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: k.moiseev@bmstu.ru

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ПОДЛОЖКИ НА ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЁНОК ДИОКСИДА ТИТАНА

И.М. Будкина, Д.Е. Шашин, Н.И. Сушенцов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ, ТОНКИЕ ПЛЁНКИ, ДИОКСИД ТИТАНА

THE EFFECT OF THE SUBSTRATE MATERIAL ON THE PHOTOCATALYTIC PROPERTIES OF TITANIUM DIOXIDE THIN FILMS

I.M. Budkina, D.E. Shashin, N.I. Sushentsov

KEYWORDS

PHOTOCATALYTIC COATINGS, THIN FILMS, TITANIUM DIOXIDE

В настоящее время возрос интерес к металлическим тонким плёнкам, в частности, для изготовления приборов очистки воздуха на основе фотокатализа. Отличные фотокаталитические свойства демонстрирует диоксид титана TiO_2 , что делает его одним из самых востребованных материалов в области создания самоочищающихся покрытий.

Существует необходимость определения оптимальных режимов формирования тонких плёнок TiO_2 и разработки техпроцесса напыления данных покрытий методом реактивного магнетронного распыления (RMP) с целью получения наиболее ярко выраженных фотокаталитических свойств.

В настоящее время проводятся опыты по анализу и улучшению фотокаталитических свойств плёнок TiO_2 . Было так же проведено исследование влияния материала подложки на фотокаталитические свойства тонких плёнок диоксида титана. Исследования проводились для плёнок, сформированных на подложках из ситалла, кремния, нержавеющей стали и стекла. Полученные зависимости сравнивались между собой и с необлучёнными ультрафиолетом плёнками для выявления фотокаталитических свойств, определения их численных показателей и выбора материала подложки, обеспечивающего наилучшие фотокаталитические свойства диоксида титана.

Результаты экспериментов послужат для разработки техпроцесса получения данных покрытий с высокими фотокаталитическими свойствами на установке RMP.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Будкина Ирина Михайловна – студентка 4 курса кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола республики Марий Эл. e-mail: irine_ice2001@mail.ru

Шашин Дмитрий Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры (ORCID: 0000-0002-8222-2824). Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола республики Марий Эл. e-mail: ShashinDE@volgatech.net

Сушенцов Николай Иванович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоаппаратуры. Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола республики Марий Эл. e-mail: SushentsovNI@volgatech.net

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ ПЛЁНОК ДИОКСИДА ТИТАНА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ГИДРОФИЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Д.Е. Шашин, Д.С. Владимиров

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ОКСИД ТИТАНА, ТОНКИЕ ПЛЁНКИ, МАГНЕТРОННОЕ РАСПЫЛЕНИЕ, ГИДРОФИЛЬНОСТЬ

FORMATION OF TITANIUM DIOXIDE FILMS BY REACTIVE MAGNETRON SPUTTERING AND INVESTIGATION OF THEIR HYDROPHILIC CHARACTERISTICS

D.E. Shashin, D.S. Vladimirov

KEYWORDS

TITANIUM OXIDE, THIN FILMS, MAGNETRON SPUTTERING, HYDROPHILICITY

Фотокаталитические и гидрофильные свойства диоксида титана за последнее десятилетие вызывают все больший интерес. Такие свойства могут применяться в различных отраслях промышленности. Например, фотокаталитическая активность может применяться для разложения вредных органических соединений, как в растворах, так и в газовой среде. Гидрофильность может препятствовать запотеванию стекла, а также позволяет легко удалять масляные пятна водой. И самое главное, что эти полезные процессы способны протекать под действием солнечной энергии. Поэтому получение пленок диоксида титана является актуальной задачей.

Плётки диоксида титана можно получить различными способами, такими как термическое испарение, дуговое испарение, реактивное магнетронное распыление, золь-гель метод и многие другие. Реактивное магнетронное распыление является наиболее перспективным методом получения плётки из диоксида титана. Интерес к данному методу обусловлен высокой скоростью осаждения, высокой кристалличностью, хорошей адгезией получаемых покрытий и возможностью управления свойствами.

В нашей работе расстояние между подложкодержателем и катод-мишенью составляет 100 мм. Использовалась титановая мишень. Вакуум в камере порядка $5 \cdot 10^{-3}$ Па. В зависимости от эксперимента концентрация аргона и кислорода изменяется от 30/70 до 70/30. Так же нагрели подложку с помощью блока нагрева до 100 °С. С помощью блока питания установили на титановой мишени ток 1,5 А.

Для определения гидрофильности полученные подложки осветили УФ лампой в течение 2 часов. После освещения с помощью дозатора на подложке получили каплю дистиллированной воды для измерения угла смачивания с поверхностью подложки. Для фиксирования изображения капли воды на поверхности образца был использован фотоаппарат. Полученные изображения были обработаны на компьютере.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Шашин Дмитрий Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры (ORCID: 0000-0002-8222-2824). Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола Республики Марий Эл. e-mail: shashinde@volgatech.net

Владимиров Дмитрий Сергеевич – студент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры, Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола Республики Марий Эл. e-mail: slender.200.9@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ В ПЛАЗМЕ

В.С. Мальцев, С.В. Сидорова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ОКСИД АЛЮМИНИЯ, ПЛАЗМА, АРГОН, КИСЛОРОД, РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ

STUDY OF ALUMINUM OXIDE SURFACE STRUCTURE AFTER PLASMA TREATMENT

V.S. Maltsev, S.V. Sidorova

KEYWORDS

ALUMINUM OXIDE, PLASMA, ARGON, OXYGEN, X-RAY STRUCTURE ANALYSIS

Состояние поверхности подложки существенно влияет на структуру наносимых пленок и свойства пленочных элементов. При создании устройств микроэлектроники к функциональным слоям должны применяться повышенные требования к структуре поверхности для обеспечения требуемых параметров при нанесении функциональных слоёв. Высокая шероховатость поверхности подложки, наличие на ней микронеровностей уменьшают толщину пленок, вызывают локальное изменение электрофизических свойств пленок и тем самым снижают воспроизводимость параметров пленочных элементов и их надежность. В результате проведенных ранее исследований установлено: при обработке в аргоне поверхности оксида алюминия шероховатость увеличивается, а при добавлении кислорода – уменьшается.

Целью данной работы является изучение структуры поверхности оксида алюминия до и после плазменной обработки и выявление различий, существенно влияющих на свойства наносимых покрытий.

Исследование структуры поверхности оксида алюминия проводили на рентгеновском дифрактометре общего назначения ДРОН-4. Рентгеноструктурный анализ показал, что изначальная структура образца была частично аморфной и имела структуру $Al(OH)_3$ (нордстрандит). В полученной после обработки структуре уменьшилось количество молекул воды и, как следствие, структура стала более кристаллической. Увеличилось количество атомов кислорода, что говорит об изменении структуры поверхностного слоя.

Изменение структуры поверхности оксида алюминия происходит в результате образования молекул воды при взаимодействии ОН-групп с ионами кислорода и их дальнейшего улетучивания из-за слабых водородных связей, недостаточных для удержания H_2O в структуре оксида. Данное изменение может служить причиной уменьшения шероховатости образцов при добавлении кислорода в газовую смесь.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Мальцев Владислав Сергеевич – студент 1 курса магистратуры на кафедре МТ11 «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

e-mail: malzev.vladislav.99@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

СЕКЦИЯ 3. НАНОТЕХНОЛОГИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

ПЛЕНКИ ГРАФИТА, ГРАФЕНА И УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТЕНОК

А.Ф. Белянин, П.В. Пащенко, Е.Р. Павлюкова, А.Л. Талис

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОСТЕНКИ, ГРАФЕН, ГРАФИТ, ТОНКИЕ ПЛЕНКИ

FILMS OF GRAPHITE, GRAPHEN AND CARBON NANOWALLS

A.F. Belyanin, P.V. Paschenko, E.R. Pavlyukova, A.L. Talis

KEYWORDS

CARBON NANOWALLS, GRAPHENE, GRAPHITE, THIN FILMS

Возрастающий интерес к таким углеродным материалам как графен и многослойным пластинам, состоящим из нескольких десятков слоев графена, называемых углеродными наностенками (УНС), связан с перспективами их применения. Пленки графена и УНС выращивали методом CVD на подложках из кремния (УНС), а также из стекла и медной фольги (графен). Пленки графита формировали механическим отделением от высокоориентированного пиролитического графита. Строение пленок изучали методами растровой электронной микроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС), ИК-спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии.

Пленки графена состояли из не связанных друг с другом слоев графена. Искривление слоев графена (углеродный слой толщиной в один атом, состоящий из шестиугольных ячеек), связано с образованием пяти- и семиугольных ячеек. Пленки УНС представляли собой пористый материал (пористость 92–96%) и состояли из изогнутых пластин толщиной до ~30 нм. Однородную ориентированность и сцепление десятков слоев графена в пластинах УНС обеспечивали кристаллические и некристаллические упорядоченные области. Механизм формирования УНС связан с нуклеацией, характеризующей образование новых материалов через метастабильные состояния.

Отношение интенсивностей полос D, G и 2D (ID/IG) и (I2D/IG) на спектрах КРС пленок графита, графена и УНС составляло <0,02 и 0,42–0,48; 0,27–0,31 и 1,25–1,75; 0,32–2,03 и 0,47–0,52, соответственно. Отношения ID/IG и I2D/IG на спектрах КРС показывает наличие дефектов в слоях графена и могут быть использованы для оценки пригодности пленок в конкретных устройствах различных областей техники.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Пащенко Павел Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, МИРЭА – РТУ, Инновационно-инжиниринговый центр; НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова. г. Москва. e-mail: pvpastchenko@gmail.com

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

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

ФОРМИРОВАНИЕ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ОПАЛОВЫХ МАТРИЦ

А.Ф. Белянин, П.В. Пащенко, В.В. Борисов, А.Н. Рябинкин, А.О. Серов, М.А. Тимофеев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

МЕТОДЫ РАСПЫЛЕНИЯ, ОПАЛОВЫЕ МАТРИЦЫ, ТРЕХМЕРНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ

FORMATION BY MAGNETRON SPUTTERING OF METAL- DIELECTRIC NANOCOMPOSITES BASED ON OPAL MATRICES

A.F. Belyanin, P.V. Paschenko, V.V. Borisov, A.N. Ryabinkin, A.O. Serov, M.A. Timofeev

KEYWORDS

SPUTTERING METHODS, OPAL MATRIXES, THREE-DIMENSIONAL NANOCOMPOSITES

Перспективным методом формирования трехмерных нанокomпозитов является заполнение пустот пористых материалов различными веществами. В качестве пористого материала использовали опаловые матрицы (ОМ), представляющие правильную упаковку шаровых частиц аморфного SiO₂, диаметром (d) от 200 до 700 нм ($\Delta d < 5\%$). Трехмерная решетка сообщающихся пространственно упорядоченных межшаровых пустот ОМ, занимающих ~26% объема образца, при их заполнении металлами позволяет получать правильное трехмерное строение отдельных компонентов нанокomпозитов. Для введения металлов по всему объему ОМ разработана и изготовлена установка, в которой распыляемые магнетроном частицы ионизируются ВЧ индуктором и ускоряются напряжением смещения, приложенным к подложкодержателю.

Для формирования нанокomпозитов использовали образцы ОМ с диаметром шаровых частиц SiO₂ ~250 нм. Титан (Ti) на образцы ОМ размером 20×10×3 мм наносили распылением аргоном мишеней из Ti в режиме постоянного тока. После нанесения Ti образец отжигали в вакууме при 870 К. Методом энергодисперсионного микроанализа поперечного скола образца ОМ с шагом 250 мкм показано равномерное распределение Ti по толщине образца в пределах 3,48–3,93 весовых %. Равномерное объемное распределение металла улучшает физико-технические характеристики металлодиэлектрических нанокomпозитов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Пащенко Павел Владимирович – кандидат технических наук, ст. научный сотрудник, МИРЭА – РТУ, Инновационно-инжиниринговый центр; НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова; e-mail: pvpastchenko@gmail.com

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

Рябинкин Алексей Николаевич – канд. физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник, НИИ ЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва; e-mail: alex.ryabinkin@gmail.com

Серов Александр Олегович – канд. физ.-мат. наук, ст. научный сотрудник, НИИ ЯФ
им. Д.В. Скобельцына МГУ им М.В. Ломоносова, г. Москва; e-mail: aloleserov@yandex.ru

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

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ В РАЗРЯДЕ 40 КГц НА ГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИВИНИЛТРИМЕТИЛСИЛАНА

А.В. Зиновьев, М.С. Пискарев, А.Б. Гильман, А.А. Кузнецов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

МОДИФИЦИРОВАНИЕ В РАЗРЯДЕ, ПОЛИВИНИЛТРИМЕТИЛСИЛАН

EFFECT OF MODIFICATION IN THE 40 KHZ DISCHARGE ON THE GAS SEPARATION PROPERTIES OF POLYVINYLTRIMETHYLSILANE

A.V. Zinoviev, M.C. Piskarev, A.B. Gilman, A.A. Kuznetsov

KEYWORDS

MODIFICATION, POLYVINYLTRIMETHYLSILANE

Исследовано изменение контактных свойств тонких пленок поливинилтриметилсилана а под воздействием разряда переменного тока частотой 40 кГц. Изучено изменение краевых углов смачивания по воде и глицерину, работы адгезии, полной поверхностной энергии, ее полярного и дисперсионного компонентов от времени обработки. Показано существенное уменьшение контактных углов смачивания, увеличение работы адгезии, полной поверхностной энергии, ее полярного и дисперсионного компонентов. Получены данные по сохранности указанных параметров при хранении пленок на воздухе при комнатных условиях.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации, номер темы FFSM-2021-0006 и РФФИ (грант № 20-08-00655). Измерения контактных свойств пленок проводили в Центре коллективного пользования "Центр исследований полимеров" ИСПМ РАН.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А.В. Зиновьев - аспирант, (ORCID: 0000-0002-58367150) Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва, e-mail: zinovev.97@inbox.ru

М.С. Пискарев - старший научный сотрудник, кандидат химических наук, Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва, e-mail: mikhailpiskarev@gmail.ru,

А.Б. Гильман - старший научный сотрудник, кандидат химических наук, Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва. e-mail: plasma@ispm.ru

А.А. Кузнецов - заведующий лабораторией, доктор химических наук, профессор, Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва e-mail: kuznets24@yandex.ru

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК ПОЛИЭТИЛЕННАФТАЛАТА И ПОЛИКЕТОНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ

М.С. Пискарев, А.В. Зиновьев, Е.А. Скрылева, Б.Р. Сенатулин, А.Б. Гильман,
А.А. Кузнецов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ПОЛИЭТИЛЕННАФТАЛАТ, ПОЛИКЕТОН, НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПЛАЗМА, РФЭС

LOW-TEMPERATURE PLASMA-INDUCED CHANGES IN THE SURFACE CHEMICAL COMPOSITION OF POLYETHYLENE NAPHTALATE AND POLYKETONE FILMS

M.S. Piskarev, A.V. Zinoviev, E.A. Skryleva, B.R. Senatulin, A.B. Gilman, A.A. Kuznetsov

KEYWORDS

POLYETHYLENENAPHTALATE, POLYKETONE, LOW-TEMPERATURE PLASMA, XPS

Методом РФЭС исследован химический состав поверхности пленок полиэтиленнафталата и поликетона, модифицированных в разряде постоянного тока воздуха. Показано образование на поверхности полимеров значительного количества кислородсодержащих групп.

Работа была выполнена при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации, номер темы FFSM-2021-0006. Исследования методом РФЭС проведены на оборудовании центра коллективного пользования «Материаловедение и металлургия» НИТУ МИСиС.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Пискарев Михаил Сергеевич – кандидат химических наук, с.н.с. (ORCID: 0000-0002-8850-032X). Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва. e-mail: mikhailpiskarev@gmail.com

Зиновьев Александр Владимирович – аспирант, (ORCID: 0000-0002-5836-7150). Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва. e-mail: zinovev.97@inbox.ru

Скрылева Елена Александровна – ведущий инженер, (ORCID: 0000-0002-9588-4456). НИТУ «МИСиС», г. Москва. e-mail: easkryleva@gmail.com

Сенатулин Борис Романович – инженер, (ORCID: 0000-0001-8293-6221). НИТУ «МИСиС», г. Москва. e-mail: borisrs@yandex.ru

Гильман Алла Борисовна – кандидат химических наук, с.н.с. (ORCID: 0000-0001-8059-6956). Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва. e-mail: plasma@ispm.ru

Кузнецов Александр Алексеевич – доктор химических наук, профессор (ORCID: 0000-0001-7527-2869). Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва. e-mail: kuznets24@yandex.ru

МИКРОФОКУСНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ С АВТОЭМИССИОННЫМ КАТОДОМ

А.Ю. Таикин, Е.П. Шешин, Ф.Д. Мань

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ, АВТОЭМИССИЯ, АВТОЭМИССИОННЫЙ КАТОД

MICROFOCUS X-RAY TUBES WITH FIELD-EMISSION CATHODE

A.Y. Taikin, E.P. Sheshin, P.D. Manh

KEYWORDS

X-RAY TUBES, FIELD EMISSION, FIELD EMISSION CATHODE

В настоящее время развитие рентгеновских трубок идет по двум основным направлениям: создание приборов широкого назначения и создание специализированных конструкций трубок, предназначенных для решения определенных задач. Например, для растровой рентгеновской топографии кристаллов необходимы рентгеновские трубки с конструкцией, принципиально отличной от конструкции трубок широкого назначения.

Важное место рентгеновские методы заняли в медицине — общая диагностика, изучение отдельных органов, травматология, стоматология, терапия и др. Для использования в медицине при внутрисполостных облучениях опухолевых тканей и в технике для рентгенографии сложных механизмов и устройств при внутреннем размещении источника излучения известны рентгеновские трубки, работающие в статическом режиме. Недостатком этих трубок являются использование в конструкции термокатода и необходимость системы охлаждения.

Миниатюризация источника рентгеновского излучения и расширение области его применения возможны при использовании рентгеновских трубок с холодным катодом. Предлагается использовать вместо термокатода один или несколько автоэмиссионных катодов. Однако следует учитывать, что при появлении искрового разряда внутри рентгеновской трубки будет происходить необратимое разрушение острия эмиттера. Поэтому в качестве материалов для автокатодов было решено использовать углеродные волокна, как наиболее стабильные и способные к самовосстановлению.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Таикин Андрей Юрьевич – студент. МФТИ, г. Долгопрудный Московской обл. e-mail: witcher.andre@mail.ru

Шешин Евгений Павлович – доктор физико-математических наук, профессор. МФТИ, г. Долгопрудный Московской обл. e-mail: sheshin.ep@mail.ru

Мань Фунг-Дык – аспирант. МФТИ, г. Долгопрудный Московской обл. e-mail: phungducmanh@phystech.edu

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЫ ФОРВАКУУМНОГО ДАВЛЕНИЯ

Г.Б. Бузин, Т.М. Васильева

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВАЯ ПЛАЗМА, ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ РЕАКТОР ФОРВАКУУМНОГО ДАВЛЕНИЯ, МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

COMPUTER SIMULATION OF FOREVACUUM PRESSURE ELECTRON-BEAM PLASMA

G.B. Buzin, T.M. Vasilieva

KEYWORDS

ELECTRON-BEAM PLASMA, FOREVACUUM PRESSURE PLASMA-CHEMICAL REACTOR, MONTE CARLO METHOD, COMPUTATIONAL EXPERIMENTS

Проведены вычислительные эксперименты по моделированию электронно-пучковой плазмы в свободном объеме, внутри контейнера и вблизи поверхности твердых тел простейшей геометрии, с использованием программного обеспечения на основе метода Монте-Карло. Моделировались траектории движения электронов в среде форвакуумного давления: чистые газы, газовые смеси, аэрозоли. Рассчитывались пространственные распределения энерговыделения и температуры в различных зонах реакционного объема.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Г.Б. Бузин – студент Московского физико-технического института, г. Долгопрудный, Московской обл. e-mail: buzin.gb@phystech.edu;

Т.М. Васильева – доктор технических наук, доцент (ORCID: 0000-0001-6103-6195).
Объединенный институт высоких температур РАН, г. Долгопрудный, Московской обл. e-mail: tmvasilieva@gmail.com

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНВЕРСИИ ГАЗОВ В ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЕ

М.К. Никитин, Т.М. Васильева

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВАЯ ПЛАЗМА, ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ РЕАКТОР
ФОРВАКУУМНОГО ДАВЛЕНИЯ, КОНВЕРСИЯ ГАЗОВ, ПАРОГАЗОВАЯ СМЕСЬ

EXPERIMENTAL SETUP FOR RESEARCH OF GASES CONVERSION IN ELECTRON-BEAM PLASMA

M.K. Nikitin, T.M. Vasilieva

KEYWORDS

ELECTRON-BEAM PLASMA, FOREVACUUM PRESSURE PLASMA-CHEMICAL REACTOR,
CONVERSION OF GASES, GAS-VAPOR MIX

Окислительная и безокислительная конверсия газов (природного газа, попутного нефтяного газа, углекислого газа и др.) обеспечивают получение широкого спектра экологически чистых видов топлива и других продуктов с добавленной стоимостью, которые могут быть использованы в современном химическом синтезе (водород, этилен, ацетилен). Особый интерес представляет газожидкостная конверсия (ГЖК), при которой богатое метаном сырье превращается в жидкие синтетические топлива либо путем прямой конверсии (через промежуточную стадию получения метанола), либо в процессе Фишера-Тропша через синтез-газ. Конверсия углекислого газа до монооксида углерода и кислорода также является перспективным направлением для проведения исследований.

В работе описана конструкция лабораторного образца плазмохимического реактора и варианты постановки экспериментов, направленных на оптимизацию конверсии газов в электронно-пучковой плазме. Проведены предварительные эксперименты с целью диагностики и поэлементной отработки установки. Конечными целями оптимизации являются улучшение весогабаритных характеристик реактора, повышение выхода целевых продуктов и минимизация техногенной нагрузки на окружающую среду при его эксплуатации.

Работа поддержана грантом РФФ № 21-79-30062.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Татьяна Михайловна Васильева - профессор Объединенного института высоких температур РАН, доктор технических наук, доцент, г. Долгопрудный, Московской обл. e-mail: tmvasilieva@gmail.com (ORCID: 0000-0001-6103-6195).

ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЫ ФОРВАКУУМНОГО ДАВЛЕНИЯ В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ

Ч.В. Дык, М.Н. Васильев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЭЛЕКТРОННЫЙ ПУЧОК, ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВАЯ ПЛАЗМА ФОРВАКУУМНОГО
ДАВЛЕНИЯ

GENERATION OF ELECTRON-BEAM PLASMA OF FOREVACUUM PRESSURE INSIDE A CLOSED VOLUME

T.V. Duc, M.N. Vasiliev

KEYWORDS

ELECTRON BEAM PLASMA, ELECTRON BEAM PLASMA OF FOREVACUUM PRESSURE

Необходимость в изучении генерации электронно-пучковой плазмы (ЭПП), т.е. плазмы, возбуждаемой при инъекции электронного пучка (ЭП) в плотную газообразную среду, в замкнутом объеме возникает при разработке плазмохимических реакторов, предназначенных для модификации материалов, плазмохимического синтеза и управляемой деструкции сложных органических и биологических соединений. С аналогичными задачами сталкиваются, если требуется обработать внутреннюю поверхность полых изделий. В наиболее простом для исследования случае является генерация плазмы внутри цилиндрического контейнера, например, в металлической или диэлектрической трубке (в реакционной камере). При этом облако ЭПП полностью или частично локализовано в трубке. Важнейшим параметром, характеризующим плазменный объем, является мощность энерговыделения в различных зонах реакционной камеры. Именно от этой величины зависят многие плазменные процессы, протекающие в реакционной камере, например скорости плазмохимических реакций.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование пространственного распределения энерговыделения ЭПП, генерируемой в диэлектрической трубке. Исследовано продольное распределение интенсивности свечения стенки цилиндрического диэлектрического (кварцевого) контейнера, внутри которого генерировалась электронно-пучковая плазма воздуха или аргона при форвакуумном давлении. Было установлено, что интенсивность свечения имеет максимум, положение которого зависит от величины давления плазмообразующей среды, однако положение максимумов варьируется в зависимости от условий генерации плазмы и молекулярной массы плазмообразующего газа.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА В ХИТОЗАН ДЛЯ БИОЭЛЕКТРОННЫХ СЕНСОРОВ

О.А. Сильницкая, В.М. Елинсон, В.А. Кочетов, В.В. Мурныкина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ХИТОЗАН, ИОННАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ, БИОСЕНСОРЫ, ТЕОРЕТИКО-
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

MODELING OF THE PROCESS OF ION IMPLANTATION OF CARBON AND OXYGEN INTO CHITOSAN TO CREATE BIOELECTRONIC SENSORS

O.A. Silnitskaya, V.M. Elinson, V.A. Kochetov, V.V. Murnykina

KEYWORDS

CHITOSAN, ION IMPLANTATION, BIOSENSORS, THEORETICAL AND EXPERIMENTAL
MODEL

Биосенсоры — это устройства, которые применяются для сбора информации с использованием биологических образцов. Содержащийся в таком устройстве датчик имеет блок биологического распознавания и преобразователь, который преобразует биологические свойства в электрические сигналы. Биосенсоры довольно широко используются в различных областях, таких как: сельское хозяйство, медицина, биологическая защита и т. д. Они просты в эксплуатации, портативны, доступны и дают быстрые результаты.

Для разработки данных устройств используются органические полимеры, в частности природный полимер – хитозан, в силу его дешевизны и простоты модификации. Возобновляемый и технологически безопасный биополимер хитозан может использоваться в качестве материала подложки благодаря: биосовместимости с тканями человека, низкой токсичности, способности усиливать регенеративные процессы при заживлении ран, а также биodeградируемости. А полностью гибкая матрица биоэлектронных сенсоров на основе хитозана, способна обнаруживать глюкозу в крови и лактат в поту для многоканального анализа пота.

Имплантация ионов в приповерхностные слои хитозана приводит к изменению электрических, оптических и механических (легкость и пластичность) свойств полимера.

Известно, что под действием ионизирующих излучений в полимерах происходит деструкция полимера, т.е. разрыв полимерных цепей с образованием низкомолекулярных летучих продуктов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кочетов Владислав Алексеевич – аспирант 2 курса. Московский Авиационный Институт (МАИ), г. Москва. e-mail: dlav1997@mail.ru

Елинсон Вера Матвеевна – профессор кафедры РТН, г. Москва, доктор технических наук, профессор, e-mail: vm_e@mail.ru

Сильницкая Ольга Андреевна – доцент, кандидат технических наук, e-mail: olray@rambler.ru

Мурныкина Виктория Вячеславовна – студент 5 курса. Московский Авиационный
Институт (МАИ), г. Москва. e-mail: Vika.murnykina@yandex.ru

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА АНТИАДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ФТОРУГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТЕ

В.М. Елинсон, П.А. Щур, Т.В. Ходырев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

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

FACTORS AFFECTING THE ANTIADHESIVE PROPERTIES OF FLUOROCARBON COATINGS ON POLYETHYLENE TEREPHTHALATE

V.M. Elinson, P.A. Shchur, T.V. Khodyrev

KEYWORDS

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

В настоящее время полимерные материалы составляют существенную часть всех изделий, используемых в науке и технике. При взаимодействии с окружающей средой у полимеров ухудшаются эксплуатационные и функциональные свойства. Одним из наиболее значимых отрицательных факторов является биодеструкция, на долю которой приходится более 20% всех повреждений. Биодеструкция - это разрушение органического материала под воздействием организмов, в частности микроорганизмов (бактерии и плесневые грибы). К основным признакам биодеструкции полимеров можно отнести: снижение механической прочности, потускнение поверхности, изменение диэлектрических свойств, изменение формы, набухание и другие.

Известно, что 95-99% микроорганизмов обитают не изолировано, а в составе микробных сообществ – биоплёнок. Биопленка – это множество микроорганизмов, характеризующееся клетками, прикрепленными к поверхности и друг к другу, окружены синтезированным ими же матриксом из внеклеточных полимерных веществ. Этапы развития биоплёнок: 1 – первичное прикрепление к поверхности (адгезия), 2 – окончательное прикрепление (необратимое), 3 – созревание, 4 – рост и 5 – дисперсия (выброс бактерий). Таким образом, для предотвращения формирования биопленки целесообразно воздействовать на первый этап развития биоплёнок, то есть на первоначальную адгезию бактерий к поверхности. Антиадгезионные покрытия являются более перспективным способом борьбы с микроорганизмами, чем удаление образовавшейся биоплёнки, поскольку во многих областях, где применяются полимеры, нет возможности произвести очистку поверхности материала от биоплёнки.

Формирование антиадгезионных покрытий на поверхности полимера происходит с помощью ионной обработки и последующего нанесения двухкомпонентной газовой смеси, содержащей углеводородный компонент C_6H_{12} (циклогексан - компонент для нанесения пленок) и фторуглеродный компонент CF_4 (тетрафторметан - компонент для травления). Нанесения данного покрытия происходит с различным соотношением данных компонентов. Особое внимание в данной работе уделяется области «переходных»

процессов (от 30% до 60% содержания CF_4 в газовой смеси $CF_4+C_6H_{12}$), поскольку в данной области наблюдаются повышенные антиадгезионные свойства.

К факторам, определяющим антиадгезионные свойства относятся: химический состав (на поверхности полимера создаётся не питательная для микроорганизма среда), поверхностный заряд (создаётся одноименный по отношению к микроорганизму заряд, благодаря чему происходит кулоновское отталкивание микроорганизма от поверхности полимера), а также специфический рельеф (расстояние между ближайшими пиками неоднородности рельефа меньше диаметра микроорганизма, по этой причине микроорганизму затруднительно адгезироваться к поверхности).

Целью работы является исследование основных факторов, влияющих на появление антиадгезионных свойств у фторуглеродных покрытий на поверхности полиэтилентерефталата, в частности химического состава, поверхностного заряда, а также рельефа поверхности.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Елинсон Вера Матвеевна – доктор технических наук, профессор (ORCID: 0000-0002-4432-7991). Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва. e-mail: vm_e@mail.ru

Щур Павел Александрович - кандидат технических наук, ассистент (ORCID: 0000-0002-7862-2366). Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва. e-mail: shur-pavel@mail.ru

Ходырев Тимур Васильевич – (ORCID: 0000-0003-4061-259X). Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва. e-mail: xtimur7@gmail.com

ФОРМИРОВАНИЕ НА ПОВЕРХНОСТИ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН ВЫСОКО- И СУПЕРГИДРОФОБНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ В ВОДЕ И ВОДНО- СОЛЕВЫХ РАСТВОРАХ

Л.И. Кравец, М.А. Кувайцева, М.А. Ярмоленко, Р.В. Гайнутдинов, М.Ю. Яблоков

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ТРЕКОВАЯ МЕМБРАНА, ПОЛИМЕРНЫЕ ПОКРЫТИЯ, КОМПОЗИЦИОННЫЕ МЕМБРАНЫ

FORMATION OF HIGH- AND SUPERHYDROPHOBIC POLYMER COATINGS ON THE SURFACE OF TRACK MEMBRANES AND INVESTIGATION OF THEIR STABILITY IN WATER AND WATER- SALT SOLUTIONS

L.I. Kravets, M.A. Kuvaytseva, M.A. Yarmolenko, R.V. Gainutdinov, M.Yu. Yablokov

KEYWORDS

TRACK MEMBRANE, POLYMER COATINGS, COMPOSITE MEMBRANES

Проведено исследование морфологии и смачиваемости наноразмерных покрытий, осажденных на поверхности полиэтилентерефталатных трековых мембран путем электронно-лучевого диспергирования полимеров в вакууме. Показано, что применение данного метода модифицирования при использовании полимеров с низкой поверхностной энергией приводит к существенной гидрофобизации поверхностного слоя мембран. Это позволяет получать композиционные мембраны, состоящие из двух слоев, одним из которых является исходная трековая мембрана, характеризующаяся средним уровнем гидрофильности. Второй слой, осажденный из активной газовой фазы, имеет гидрофобную природу, угол смачивания которого зависит от величины поверхностной энергии полимера, используемого для модифицирования, и толщины образованного на поверхности трековых мембран покрытия. Показано, что мембраны подобного образца могут быть применены для опреснения морской воды методом мембранной дистилляции.

Установлено, что осаждение на поверхности трековых мембран покрытий электронно-лучевым диспергированием сверхвысокомолекулярного полиэтилена и политетрафторэтилена вызывает повышение шероховатости поверхностного слоя мембран. Данный эффект вызван образованием на их поверхности полимерных наноструктур. Значительное повышение поверхностной шероховатости за счет роста размеров наноструктур приводит к формированию покрытий, обладающих высоко- и супергидрофобными свойствами, для которых характерен гетерогенный режим смачивания (модель Касси-Бакстера). Обсуждаются причины перехода из гетерогенного режима смачивания в процессе хранения образцов в гомогенный режим (модель Венцеля), сопровождающегося снижением значений угла смачивания. Для выяснения устойчивости полимерных покрытий проведено исследование полученных композиционных мембран при длительном контакте с водой, а также водно-солевыми растворами хлорида натрия с концентрацией от 5 до 15 г/л, моделирующими морскую воду.

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

Кувайцева Мария Андреевна, инженер, Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Московской обл.

Ярмоленко Максим Анатольевич, доцент, доктор технических наук, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, г. Гомель

Гайнутдинов Радмир Вильевич, старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, г. Москва

Яблоков Михаил Юрьевич, старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, г. Москва

ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ МОДИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НАНОЧАСТИЦЫ, КАВИТАЦИЯ, МЕТАЛЛИЗАЦИЯ, ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ

ELECTRO-PULSE MODIFICATION OF CARBON FIBERS BY METAL NANOPARTICLES

V.V. Sleptsov, R.A. Tsyrvkov, D.Y. Kukushkin, A.O. Diteleva, S.V. Matsykin

KEYWORDS

CARBON MATERIALS, NANOPARTICLES, CAVITATION, METALLIZATION, THIN-FILM COATINGS

Ежегодно в мире увеличивается спрос на электронные устройства, работающие от встроенных в них источников энергии. Основные требования, выдвигаемые потребителем к таким устройствам – высокая вычислительная мощность, длительный срок работы без подзарядки и малый вес. Исходя из этого перед производителями накопителей энергии ставятся задачи – повышения плотности энергии накопителя, уровня безопасной эксплуатации и снижения времени зарядки.

Одно из направлений по решению этих задач – поиск и разработка универсальных электродных материалов. Такие материалы должны сочетать в себе ряд важных характеристик, таких как: высокая удельная площадь поверхности при малом весе; высокая пористость материала и правильная геометрия структуры пор; высокая электрическая проводимость по всей его поверхности; широкий диапазон рабочих температур.

Перспективным типом материалов, способным в промышленном масштабе сделать шаг вперёд в разработке качественно новых накопителей энергии, может стать углеродное волокно. В литературе [1] уже описаны способы разработки накопителей с материалом электродов, сделанным из углеродного материала «Бусофит». Развитие идеи применения углеродного волокна в качестве электродного материала привело к разработке технологии формирования проводящего металлического слоя на поверхности нитей углеродного волокна методом магнетронного распыления [2].

Предложенный способ модификации материала, оказывает положительное влияние на его характеристики, в частности снижается ESR и поверхностное сопротивление, а также увеличивается площадь поверхности материала и улучшается электрический контакт между электродным материалом и токосъёмником. Но предложенный метод не решает задачу металлизации материала внутри его объема, что никак не сказывается на сопротивлении через толщину материала.

Для уменьшения как внутреннего, так и объемного сопротивления волокна была проведена электроимпульсная модификация электродного материала. Данный метод основан на эффекте кавитации, который возникает в зоне формирования наночастиц в процессе схлопывания парогазового пузырька [3]. Под воздействием акустических волн, содержащиеся в растворе наночастицы проникают в материал и фиксируются в поровом пространстве за счет ударно-волновой природы кавитации. Данная технология

обеспечивает одновременное получение наночастиц и их позиционирование на поверхности и в объеме углеродного материала в едином технологическом цикле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ву Дык Хоан, В.В. Слепцов. Анализ конструктивно-технологических решений создания конденсаторных структур и теоретические исследования предельных значений энергоемкости. Международный научно-исследовательский журнал. № 10-2(41) 2015 г. 31-38.
2. В.В. Слепцов, С.Н. Куликов, Д.Ю. Кукушкин, Р.А. Цырков, Ву Дык Хоан. Вакуумная технология формирования тонкопленочных покрытий на поверхности высокопористых материалов конденсаторных структур. X международная научно-техническая конференция «Вакуумная техника, материалы и технология» № X – 2015. С. 259-263
3. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве / В.Н. Хмелев, Г.В. Леонов, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2007.

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

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Цырков Роман Александрович – Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: roma1992@yandex.ru

Кукушкин Дмитрий Юрьевич – кандидат технических наук, (ORCID: 0000-0002-6968-1495), Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: Skyline34@nxt.ru

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

Дителева Анна Олеговна – (ORCID: 0000-0002-0819-6517), Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: anna.diteleva@mail.ru

Мацыкин Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: msev2000@mail.ru

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНДЕНСАТОРОВ НА ВОДНОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ С ВЫСОКИМ РАБОЧИМ НАПРЯЖЕНИЕМ

V.V. Slepsov, A.O. Diteleva, D.Y. Kukushkin, R.A. Tsyrcov, S.B. Savilkin, E.O. Diteleva

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

КОНДЕНСАТОР, ВОДНЫЙ ЭЛЕКТРОЛИТ, НАНОЧАСТИЦЫ, ПОВЫШЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ,
НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ, УГЛЕРОДНАЯ МАТРИЦА

DEVELOPMENT OF DESIGN AND MANUFACTURING TECHNOLOGY OF AQUEOUS ELECTROLYTE CAPACITORS WITH HIGH OPERATING VOLTAGE

V.V. Slepsov, A.O. Diteleva, D.Y. Kukushkin, R.A. Tsyrcov, S.B. Savilkin, E.O. Diteleva

KEYWORDS

CAPACITOR, AQUEOUS ELECTROLYTE, NANOPARTICLES, VOLTAGE INCREASE, ENERGY
STORAGE, CARBON MATRIX

Суперконденсаторы обычно используются везде, где требуется быстрый заряд энергии. Самый распространенный тип суперконденсаторов – суперконденсаторы с двойным электрическим слоем (ДЭС). Но их плотность энергии в 10 раз меньше, чем у аккумуляторов. Также наличие у таких суперконденсаторов саморазряда и внутреннего сопротивления являются недостатками для их применений. Альтернативным вариантом является литий-ионный аккумулятор (Li-ion). Он предлагает более высокую плотность энергии с уменьшенным саморазрядом, но имеет плохую стабильность циклов заряда/разряда и страдает от проблем, связанных с безопасностью. По оценкам Panasonic существующие ЛИБ в ближайшие года смогут увеличить свою эффективность не больше чем на 20% (сейчас 250 Вт*ч/кг). Увеличение энергетической емкости ЛИБ заключалось в изменении объема кобальта, алюминия, марганца и никеля в катодах.

Решить данные проблемы можно разработав конденсатор, сочетающий в себе все лучшие характеристики конденсаторов с ДЭС и литий-ионных аккумуляторов, т.е. разработав гибридный конденсатор, представляющий собой комбинацию этих двух технологий. В результате получается устройство с лучшей плотностью энергии, чем у суперконденсаторов с ДЭС, но без характеристики саморазряда, более высокой долговечностью (большее число циклов заряда-разряда) и безопасностью, в отличии от литий-ионных аккумуляторов. Основными параметрами к перспективным накопителям энергии выделяют рост энергоемкости и безопасности. Для этого необходимо применять различные электроды с существенно бóльшей теоретической емкостью, увеличивать предел напряжения и переходить к безопасным электролитам.

Еще одним фактором уменьшения эффективности ЛИБ является технология изготовления. Существующие толсто пленочные технологии реализуют лишь 10-15% от теоретически возможной энергоемкости для одноразовых ХИТ и в 2-3 раза меньше для многоразовых ХИТ. Перспективно использовать тонкопленочную технологию изготовления накопителей энергии, что позволяет на порядки снизить внутреннее сопротивление ячеек, что приведет к снижению тепловыделения в процессе работы ячейки и соответственно к увеличению удельной энергоемкости и безопасности эксплуатации, которые являются наиболее важными требованиями к ячейкам.

В ближайшее время наибольшим потенциалом развития обладают 3-е поколение аккумуляторов, к которым относятся NMC-материалы (Li, Ni, Mg, C) с высоким содержанием Li и Ni, которые используются в качестве катода. Анод представляет из себя углерод в виде высокопористой матрицы, в которой находятся наночастицы материалов Si, Ge, Sn, P, Sb. Эластичная матрица на основе графена с наночастицами Si (анод) имеет удельную энергоёмкость анода ~2000 мАч/г, что в два раза больше ёмкости графена (1000 мАч/г) и также возрастает ее стабильность при росте числа циклов. Основным недостатком является относительно низкий электрический потенциал (не более 1В) [1-6].

Второй важной задачей при разработке новых перспективных накопителей энергии является увеличение предела напряжения. Эта возможность появляется тоже только при создании конструкции конденсатора по тонкоплёночным технологиям. Третьей важной задачей является повышение безопасности накопителя. Электротермическая безопасность устройств на основе водных электролитов выше в сравнении с накопителями с органическими электролитами, что очень важно при их производстве и эксплуатации. Способом увеличения плотности энергии устройства с водным электролитом является преодолеть «окно» электрохимической стабильности воды.

Целью данной работы являлось разработать перспективный безопасного конденсатор с водным электролитом, его конструкцию и технологию, изготовить лабораторный образец и измерить его основные характеристики. В качестве электродного материала использовалась токопроводящая матрица с высокой удельной поверхностью с тонким слоем диэлектрика, заполненная наночастицами металла. В качестве электролита использовался водный 10%-ый раствор NaCl. Изготовленные ячейки на водном электролите смогли выдержать напряжение 2.6 В и ток 0.15 А без видимых процессов разложения электролита. Максимальная ёмкость образцов составила 148 Ф при напряжении 2.6 В и токе 0.15 А. Удельная энергоёмкость изготовленного конденсатора составила 5.5 Вт*ч/кг при весе образца 25 г.

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

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Дителева Анна Олеговна – (ORCID: 0000-0002-0819-6517), Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: anna.diteleva@mail.ru

Кукушкин Дмитрий Юрьевич – кандидат технических наук, (ORCID: 0000-0002-6968-1495), Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: Skyline34@nxt.ru

Цыркков Роман Александрович – Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: roma1992@yandex.ru

Савилкин Сергей Борисович — кандидат физико-математических наук, Московский авиационный институт, г. Москва e-mail: savilkin@mail.ru

Дителева Елизавета Олеговна — Московский авиационный институт, г. Москва. e-mail: elizavetaditeleva@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНЕТРОННОГО ОСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

О.Э. Алиханов, А.И. Беликов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

МАГНЕТРОННОЕ ОСАЖДЕНИЕ, НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ,
МОДЕЛИРОВАНИЕ

MODELING OF MAGNETRON DEPOSITION OF COATINGS ON PARTS OF COMPLEX SHAPE

O.E. Alikhanov, A.I. Belikov

KEYWORDS

MAGNETRON DEPOSITION, COATING THICKNESS NON-UNIFORMITY, SIMULATION

Расширение спектра задач, связанных с необходимостью формирования методами физического осаждения на деталях сложной формы тонкопленочных покрытий, повышение требований к их равномерности, зачастую сопряжено с необходимостью разработки оптимального структурно-компоновочного решения технологической системы оборудования в кратчайшие сроки. Наиболее широко используемым в промышленности методом является метод магнетронного нанесения покрытий. В машиностроении объектами под упрочняющие и антифрикционные покрытия выступают различных технологический инструмент и оснастка, а также детали узлов трения. Проблема обеспечения равномерности покрытий на деталях сложной формы связана, как со сложной геометрией поверхности изделий, так и с особенностями магнетронной распылительной системы – пространственной конфигурацией области распыления мишени. При осаждении тонких пленок одним из параметров, определяющих скорость роста пленки в точке пространства, является угол осаждения, а у детали со сложной геометрией поверхности он меняется по сложному закону. Для таких случаев невозможно использование численного моделирования на основе аналитических зависимостей и интегрирования в пространственных координатах. Единственно возможным решением остается использование подхода на основе дискретных моделей.

Разработанная, и зарегистрированная в реестре ПО, программа «TFDepositionR» предназначена для расчета параметров осаждения тонких пленок магнетронным методом и дискретного моделирования распределения толщины осажденного покрытия на поверхностях модели произвольного 3D-объекта с учетом возможности его вращения вокруг собственной оси симметрии. Моделирование осуществляется в трехмерном пространстве, пользователь задает параметры магнетронного распыления, геометрию мишени, а также ее расположение относительно детали. Функционалом программы предусмотрено использование в модели нескольких источников распыления. По завершении расчета программа выдает распределение толщины на трехмерной цветовой карте, можно просмотреть толщину покрытия в любой конкретной точке поверхности.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАМЕТРА ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ЭЛП ЭЛТА-60.15ДП НА УСТАНОВКЕ ЭЛО «ЛУЧ»

Я. Чжо, В.Н. Масловский, К.А. Махкамбоев, К.М. Моисеев

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ПУШКА, ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ОБРАБОТКА, ЭЛЕКТРОННЫЙ ПУЧОК, МЕТОД ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ЗОНДА, НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

ELECTRON BEAM DIAMETER INVESTIGATION OF THE E-BEAM GUN AT THE E-BEAM TREATMENT MACHINE «LUCH»

Y. Zhuo, V.N. Maslovsky, K.A. Makhkamboev, K.M. Moiseev

KEYWORDS

ELECTRON-BEAM GUN, ELECTRON-BEAM TREATMENT, ELECTRON BEAM, ROTATING PROBE METHOD, MEASUREMENT UNCERTAINTY

Электронно-лучевая обработка (ЭЛО) – один из наиболее перспективных способов обработки деталей из различных материалов в аэрокосмической и автомобильной отраслях, энергомашиностроении, производстве электровакуумных приборов и др.

Основным технологическим инструментом ЭЛО является электронный пучок, формируемый электронно-лучевой пушкой (ЭЛП). Ускоряющее напряжение, ток пучка, плотность распределения энергии по его сечению, а также его диаметр являются важнейшими характеристиками процесса ЭЛО, однако могут отличаться от паспортных значений, поэтому требуют экспериментальной оценки для последующего использования.

Для определения характеристик электронного луча используют контактные и бесконтактные датчики. Первые непосредственно взаимодействуют с частицами пучка; оптические датчики регистрируют излучение пучка в видимом, ультрафиолетовом или рентгеновском диапазонах; электромагнитные датчики принимают значения электромагнитных полей, индуцированных пучком. Простым в реализации является метод вращающегося зонда, позволяющий оценить диаметр и плотность распределения энергии пучка. Метод оптимизирован для ЭЛП ЭЛТА-60.15ДП с автоматическим управлением отклонения пучка и реализован на установке ЭЛО «ЛУЧ». Вместо вращающегося зонда использована развертка пучка по прямой линии с заданной частотой. Изменение тока при прохождении пучка через зонд отслеживается с помощью осциллографа. Кроме того, оптимизированный метод позволяет уменьшить неопределенность измерения диаметра электронного пучка за счет исключения из конструкции механических компонентов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Чжо Янъян - аспирант, (ORCID: 0000-0003-4108-5971). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва.
e-mail: zhuooy@yandex.ru

Масловский Валерий Николаевич - магистр 2 года (ORCID: 0000-0003-0725-986X). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: maslovskyyvn.nano@yandex.ru

Махкамбоев Карим Абдурасулович - магистр 1 года, (ORCID: 0000-0002-5010-5762). МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва. e-mail: makhkamboevkarim@gmail.com

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

ИОННО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА В ВАКУУМЕ ЭЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.А. Фельде, П.А. Ежова, С.В. Сидорова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ИОННАЯ ОБРАБОТКА, ПЛАЗМА, ЭЛАСТОМЕР, ЭЛАСТИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, АТОМНО-СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ

ION-PLASMA VACUUM TREATMENT OF ELASTIC MATERIALS

A.A. Felde, P.A. Yezhova, S.V. Sidorova

KEYWORDS

ION PROCESSING, PLASMA, ELASTOMER, ELASTIC MATERIALS, ATOMIC FORCE MICROSCOPY

Во многих сферах современной жизни востребованы эластичные материалы, которые обеспечивают гибкость, отличаются своими изоляционными и демпфирующими свойствами. Наиболее распространенные примеры устройств на основе эластичных материалов – актуаторы и тактильные датчики различного назначения. В таких устройствах необходимо обеспечить подвод напряжения с помощью электродов. При этом функциональность зависит от качества сцепления материала электрода и эластомера. Для улучшения сцепления применяется предварительная ионно-плазменная обработка, которая модифицирует поверхность эластичного материала, улучшая его адгезионные свойства.

Ионно-плазменная обработка в инертном газе – физическое распыление высокоэнергетическими ионами газа без химического взаимодействия между ними и частицами подложки. Она может использоваться для получения микрорельефа, полировки, и для модификации и легирования поверхностных слоев деталей.

Целью данной работы является исследование влияния ионно-плазменной обработки в вакууме на топологию эластичного материала.

В результате проведенных исследований топологии эластомера выявлено, что ионная обработка эластичного материала может увеличить шероховатость поверхности, делает ее более развитой. При обработке в плазме аргона имеются более широкие и глубокие впадины, чем при обработке автономным источником ионов. Поэтому на данном этапе исследования ионно-лучевая обработка показывает себя лучше, так как шероховатость эластомера не становится слишком большой, а достигнутая развитость поверхности положительно влияет на адгезию последующих слоев металлизации.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Фельде Анастасия Александровна – студент 4 курса бакалавриата. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. г. Москва. e-mail: nastja-bloom@mail.ru

Полина Андреевна Ежова – студент 2 курса магистратуры. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. г. Москва. e-mail: polina.ezhova.1210@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

ОТРАБОТКА ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОЛЛОИДНЫХ ПЛЕНОК НА ОБРАБОТАННЫЕ В ПЛАЗМЕ ГИБКИЕ ПОДЛОЖКИ МЕТОДОМ SPIN-COATING

К.Р. Минько, Е.В. Панфилова, А.Р. Ибрагимов

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ФОТОННЫЙ КРИСТАЛЛ (ФК), ГИБКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА, ПЛАЗМА

DEVELOPMENT OF THE PROCESS OF OBTAINING PHOTONIC-CRYSTALLINE COLLOIDAL FILMS ON FLEXIBLE SUBSTRATES BY SPIN-COATING METHOD

K.R. Minko, E.V. Panfilova, A.R. Ibragimov

KEYWORDS

PHOTONIC CRYSTAL (FC), FLEXIBLE ELECTRONICS, PLASMA

Гибкая электроника — это класс изделий, которые могут потенциально обеспечить гибкость устройств. Преимуществом таких технологий являются более простые и дешевые производственные процессы, которые позволяют снизить стоимость конечных устройств по сравнению с традиционными технологиями электроники. Так, можно снизить количество циклов фотолитографии, избежать высокотемпературных процессов и специальных вакуумных условий. Использование материалов гибкой электроники позволяет не только снизить стоимость одного устройства, но также производить устройства большой площади, снизив при этом стоимость единицы площади. Это играет большую роль в производстве дисплеев и сенсорных интерфейсов. Механические свойства — гибкость, растяжимость — имеют большое значение при интеграции электроники в области, недоступные при использовании кремниевой электроники.

Наилучшим решением при выборе материала подложки для изделий являются органические пленки, так как они легко переносят изгибные деформации без изменения параметров и сравнительно дешевы. Наиболее популярными материалами подложек для гибких структур являются полиимид, полиэтилентерефталат и т.п. Используемые органические подложки должны иметь шероховатую поверхность, малый коэффициент термического расширения, а также высокую устойчивость к воздействию повышенных температур. Кроме того, важным фактором является их доступность и приемлемая цена.

Одной из проблем, связанных с получением ФК коллоидных пленок, является связанная, в том числе, с плохой адгезией дефектность получаемых пленок, проявляющаяся в нарушении периодичности ФК решетки, появлении «дырок» и трещин. Естественно, при использовании гибких подложек эти проблемы усугубляются. Поэтому в данной работе особое внимание уделяется процессу предваряющей осаждение пленки подготовки подложек.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

К.Р. Минько - студент магистратуры, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: konstantin.minko@ya.ru

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

А.Р. Ибрагимов - ассистент, МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, (ORCID: 0000-0001-9689-1837) e-mail: zotaak@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТЕКЛЯННЫХ ПОДЛОЖЕК В ПЛАЗМЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МИКРОФЛЮИДИКЕ

Д.М. Работяжева

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ПЛАЗМА, ГИДРОФИЛЬНОСТЬ, ДИАГНОСТИКА, КАЧЕСТВО ОЧИСТКИ

TECHNOLOGY FOR CLEANING GLASS SUBSTRATES IN GLOW DISCHARGE PLASMA FOR USE IN MICROFLUIDICS

D.M. Rabotyazheva

KEYWORDS

PLASMA, HYDROPHILICITY, DIAGNOSTICS, PURIFICATION QUALITY

Производство микрофлюидных чипов с каждым годом растет, так как технология с использованием чипа позволяет делать экспресс тест для получения анализов, а также экономически выгоден. За основу в микрофлюидных чипах зачастую используют стекло, в котором формируют микроканалы. Для точного производства микро- размерного устройства требуется тщательная подготовка стеклянной подложки, для повышения адгезии при дальнейшем нанесении функциональных слоев. Выбор режима очистки сильно влияет на выходной продукт, поэтому нужно четкое понимание какие факторы воздействуют на качество очистки в ВЧ плазме. Построение математической модели зависимости между мощностью плазмы тлеющего разряда, времени и газовой среды, в первую очередь дает понятие какой режим очистки является оптимальным и какой параметр воздействует сильнее, весьма актуально для развития данной потенциально перспективной технологии обеспечения качества изделий.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Работяжева Дарья Михайловна – студент кафедры «Электронные технологии в машиностроении» (ORCID: 0000-0002-8182-0953) МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: pryanichnikovadm@student.bmstu.ru.

ВАКУУМНОЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЕ ТРАВЛЕНИЕ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

И.Е. Пименов, С.В. Сидорова

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМНЫЕ ТЕНОЛОГИИ, ИОННО-ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИОННОЕ
ТРАВЛЕНИЕ, ФОРМИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ

VACUUM ION-PLASMA ETCHING IN THE FORMATION OF MICROELECTRONICS ELEMENTS

I.E. Pimenov, S.V. Sidorova

KEYWORDS

VACUUM TENOLOGIES, ION-PLASMA TECHNOLOGIES, ION ETCHING, TOPOLOGY
FORMATION

В современном мире устройства микроэлектроники применяются повсеместно от бытовых приборов до сложных технических систем. Обширной областью применения микроэлектроники, планарных технологий, является телекоммуникация. Устройства приема-передачи информации содержат множество функциональных компонентов, например, фильтры частот, антенны, диплексеры, смесители, усилители, переключатели. При производстве этих элементов важна высокая точность геометрических размеров, равномерная толщина, чистота покрытий и адгезивные свойства.

В процессе производства компонентов систем телекоммуникации для создания топологий устройств применяются методы вакуумного осаждения и травления материалов, а также фотолитография. Для металлизации применяется метод магнетронного распыления, термического испарения, электронно-лучевого испарения и др. Методы травления отвечают за соблюдение допуска на геометрию топологии. Жидкостные методы позволяют быстро проводить процесс, однако явление бокового протравы сильно влияет на геометрические параметры. Поэтому при изготовлении ответственных элементов применяют метод ионного травления. Направленный плазменный разряд позволяет исключить боковой протрав и обеспечивает равномерность травления по всей поверхности.

Целью работы является исследование процесса ионно-плазменного травления в вакууме слоев металлов.

В результате проведенной работы отработаны режимы ионно-плазменного травления и получены зависимости неравномерности глубины травления слоя меди от технологических режимов. Полученные результаты дополнены моделированием процесса ионного травления.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Пименов Илья Евгеньевич – магистр 2-го года. МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, e-mail: ilyapimenov2004@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

Вакуумная техника, материалы и ТЕХНОЛОГИЯ

Тезисы
XVII международной научно-технической конференции
«Вакуумная техника, материалы и технология»
Москва, ВДНХ, павильон 57
2023, 11-13 апреля

ООО «Электровакуумные технологии»

<https://vacuum.org.ru>

info@vacuum.org.ru

Подписано в печать 15.12.2023

Электронное издание

