

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль 03.06.01 Физика и астрономия
Школа Исследовательская школа физики высокоэнергетических процессов

**Научный доклад об основных результатах подготовленной
научно-квалификационной работы**

Тема научного доклада
Управление морфологией и внутренней структурой тонких кальцийфосфатных покрытий при осаждении методом ВЧ магнетронного распыления

УДК 539.23:621.793.

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
А6-08	Просолов К. А.		

Руководитель профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор-консультант отделения экспериментальной физики ИЯТШ	Чернов И.П.	д.ф.-м.н., профессор		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Директор ИШФВП	Сухих Л.Г.	д.ф.-м.н.		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Шаркеев Ю. П.	д.ф.-м.н., профессор		

Физические аспекты поверхности имплантатов, такие как зарядовое состояние, распределение потенциала, элементный состав, фазовое состояние, микро- и нано-шероховатость определяют успешность взаимодействия имплантата с клетками. Для управления этими параметрами применяют различные виды модификации поверхности. Изменению физического состояния поверхности уделяется особое внимание в области медицинского материаловедения. Основными задачами на сегодня являются борьба с постоперационными инфекциями и увеличение срока службы имплантатов. Кальцийфосфатные покрытия с антибактериальными ионами цинка и меди являются перспективными в этом отношении, а метод ВЧ магнетронного распыления, используемый в данной работе, позволяет управлять структурой и свойствами биопокрытий в широком диапазоне в сочетании с высокой адгезионной прочностью с металлической матрицей.

В работе были использованы следующие экспериментальные методы исследования для изучения структуры, фазового, элементного составов и физико-механических свойств осажденных кальцийфосфатных покрытий: просвечивающая электронная микроскопия, растровая электронная микроскопия, энергодисперсионная спектроскопия, рентгенофазовый анализ, атомно-силовая микроскопия, спектральная эллипсометрия. Адгезионная прочность сформированных кальцийфосфатных покрытий исследовалась с помощью метода склерометрии.

В работе рассмотрены различные методы модификации поверхности медицинских изделий покрытиями, используемыми в медицинских приложениях. Рассмотрены способы получения покрытий, особенности их структуры, фазового состава и физико-механические свойства в зависимости от метода нанесения. Уделено внимание современным способам формирования биосовместимых и биоактивных покрытий на подложках из сплавов на основе титана и магния. Приведен анализ литературных данных по физико-химическим свойствам различных кальцийфосфатных покрытий в связи с их биологической активностью и результатами экспериментов *in vitro* и *in vivo*. Описаны теоретические основы и принципы формирования кальцийфосфатных покрытий в условиях ВЧ магнетронной плазмы. Рассмотрен метод получения порошков и синтеза мишеней для распыления из бифазной керамики, цинк- и медь-замещенного гидроксиапатита.

Методами рентгенофазового анализа и просвечивающей электронной микроскопии установлено, что при осаждении кальцийфосфата на титановые подложки в состоянии поставки формируется аморфное, плотное, однородное покрытие. В работе также показано что при осаждении покрытия на основе цинк-замещенного гидроксиапатита на подложки титана в ультрамелкозернистом состоянии, дефектность структуры и напряженное состояние материала способствует формированию кристаллического гидроксиапатита с равноосными зёрнами. В работе изучено влияние принудительного нагрева подложек в процессе ВЧ магнетронного распыления на рост кальцийфосфатных покрытий. Методом рентгенофазового анализа показано, что начальной температурой для формирования покрытия с

образованием текстуры и преимущественным ростом ориентации кристаллитов в плоскости (002) является температура 300 °С. Приведенные результаты в отношении формирования как аморфного, так и поликристаллического гидроксиапатита детально изучены, опираясь на имеющиеся литературные данные в отношении модели расширенной зонной теории и результатов других научных групп, работающих в смежном направлении. Полученные результаты имеют как фундаментальную, так и прикладную ценность в поле медицинских приложений.

Описано влияние микро- и нано-шероховатости на адгезию белков, клеток и бактерий к поверхности имплантата. Подчеркнута важность морфологии поверхности, которая в свою очередь предоставляет микросреду для развития биообъектов. Отмечена актуальность разработки новых подходов для формирования нанорельефа. Показано как функционализация поверхности на наномасштабном уровне может усилить антибактериальный эффект биоматериалов. В работе представлен способ управления морфологией поверхности кальцийфосфатных покрытий на титане посредством распыления мишеней на основе чистого гидроксиапатита, трикальцийфосфата и их гомогенных смесей, представляющих собой бифазные мишени. Детально изучен один из основных процессов контролирующей структурную эволюцию пленок, получаемых под скользящим углом к подложке – теневой эффект. Этот эффект предотвращает осаждение частиц в областях, расположенных позади первоначально сформированных зародышей пленки. При увеличении угла падения осаждаемого материала механизм затенения значительно усиливается, что приводит к уменьшению среднего размера структурных элементов поверхности покрытия в режиме ограниченной диффузии адатомов. Установлено, что шероховатость поверхности кальцийфосфатных покрытий определяется углом наклона подложки. При увеличении угла наклона подложки наношероховатость увеличивается в два раза. По результатам биотестирования сформированных покрытий в аморфном состоянии на подложках магния и на титановых сплавах, показано что цинк-замещенный и медь-замещенный гидроксиапатит обладает потенциальной способностью к торможению роста патогенных бактерий в условиях *in vitro*.

Результаты работы опубликованы в 11-ти работах, из них в 1-й статье в журнале из перечня ВАК, 9-ти статьях – в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, получен 1 патент РФ. Работа была апробирована на профильных конференциях в России и за рубежом.