

ПРЕДИСЛОВИЕ

Тонкопленочные покрытия, выполненные из материалов с заранее заданными физико-механическими, электрофизическими, тепловыми и химическими свойствами, давно и успешно применяются в современных технологиях повышения износостойкости изделий и устройств самого разнообразного назначения. При этом плазменное напыление обладает уникальными возможностями соединения разнородных материалов в результате разогрева и диспергирования капель расплава одного из них и соударения со слабо нагретой поверхностью другого. Этот метод, к примеру, позволяет получать покрытия из различных материалов на керамических подложках без значительного изменения свойств основы. Однако в ряде случаев покрытия, выполненные с помощью этой технологии, уступают по прочности известным типам газотермических покрытий. Проведение химических реакций в высокотемпературной среде плазмы лежит в основе нового направления физической химии и химической технологии — плазмохимии.

В плазме из-за появления высокорезакционных частиц и излучения возникают физико-химические взаимодействия, которые могут приводить к образованию новых соединений, не образующихся в обычном (низкотемпературном) состоянии, например соединений из инертных газов. В зависимости от свойств плазмообразующей среды и условий реализации разряда состояние плазмы может иметь существенное различие. В частности, состояние плазмы может быть достаточно близким к состоянию термодинамического равновесия (квазиравновесие), а может быть далеким от него (неравновесная плазма). Поэтому плазмохимические системы иногда условно разделяют на два больших класса — неравновесные и квазиравновесные.

Наиболее широкие возможности с точки зрения реакционных взаимодействий имеет неравновесная плазма, в которой каж-

дый сорт частиц и его состояние можно характеризовать своей температурой: например, температура электронов, температура ионов, вращательная температура, колебательная температура, температура заселения и др. Причем «температура» не является истиной термодинамической температурой, а является просто удобным параметром, позволяющим использовать при расчетах известные статистические функции распределения Максвелла, Больцмана, Саха, Планка и др. для соответствующего рода частиц. Эти температуры могут сильно отличаться друг от друга. В частности, в разряде низкого давления температура электронов в десятки тысяч градусов может быть в сотни раз больше температуры атомов и ионов (сотни градусов). В неравновесной плазме можно получить самые разнообразные химические вещества. Как правило, неравновесная плазма получается при низких давлениях плазмообразующей среды ($P \leq 100$ мм рт. ст.) и небольших токах, а квазиравновесная — при высоких давлениях ($P \geq 1$ атм). Иногда для получения газоразрядной плазмы используют микроволновое излучение ISM-диапазона частот (915 или 2450 МГц).

Создание керамических материалов и покрытий, характеризующихся хорошей биологической совместимостью с костной тканью живых организмов, является актуальной задачей современных биотехнологий. К настоящему времени исследованы и апробированы (как *in vivo*, так и *in vitro*) биологически активные материалы различного химического состава, находящиеся в различных физико-химических состояниях. Идеальными для этой цели являются материалы и покрытия на основе гидроксиапатитных и титановых порошков (биокерамики), поскольку по химическому и фазовому составам они близки к костной ткани и характеризуются хорошей биологической совместимостью с ней, ибо минеральная составляющая костной ткани представлена в основном гидроксиапатитом кальция (ГА).

Композиционные материалы, состоящие из металлической основы и керамического покрытия, имеют несомненные преимущества перед материалами, состоящими только из металла или керамики, поскольку они более эффективно обеспечивают остеоинтеграцию имплантатов с костными тканями и широко применяются в медицине для стоматологии и ортопедии.

Среди существующих методов нанесения гидроксиапатитных покрытий на металлические подложки, обеспечивающих высокий уровень связывания имплантата с костью, для клиническо-

го применения наиболее приемлемым и практичным является метод плазменного напыления.

Сцепление плазменнонанесенного покрытия с подложкой и его функциональные свойства зависят от многих технологических параметров: шероховатости поверхности подложки, температуры плазменной струи и подложки, дисперсности и состава порошка, дистанции напыления и ряда других условий напыления. Вариация этих параметров при напылении ГА приводит к образованию покрытия, имеющего различный кристаллический состав между своими внутренними и внешними слоями, что может влиять на стабильность, биоустойчивость и биомеханические свойства керамических материалов.

В данной монографии проведены исследования биокерамических гидроксиапатитовых покрытий, нанесенных на различные подложки методом газоплазменного напыления. В качестве подложек, кроме титана, использовались легко разрушаемые материалы (ситалл, поликор) в целях получения качественных сколов для просмотров торцевой части покрытий по их глубине. Микрофотографии получали на сканирующем электронном микроскопе MIRA II LMSU в разных продольных и поперечных областях поверхности. Экспериментально показано, что пористость структуры покрытия формируется именно методом плазменного напыления и это способствует эффективному прорастанию костной ткани в поры имплантата.

В основу трех первых глав данной монографии положены работы В.К. Семенченко и И.И. Новикова, рассматривающие критические явления в твердых фазах, впервые описанные американским физиком Дж. Гиббсом. Фундаментальные соотношения Гиббса определяют связь основных функций состояния внутренней энергии или энтропии, являющихся экстенсивными величинами, с экстенсивными независимыми переменными (давлением, объемом, температурой). Уравнения Гиббса показывают, что в критической точке все четыре первые частные производные от давления по объёму при постоянной температуре равны нулю, что доказывает частность условий Ван-дер-Ваальса для теории критического состояния Гиббса.

Четвертая глава посвящена процессам взаимодействия плазмы и СВЧ-излучения, а также устройствам для реализации микроволновых плазмохимических технологий.

В пятой и шестой главах анализируются различные аспекты практической реализации данной технологии на примере экспе-

риментального СВЧ-плазмотрона с двумя магнетронами и рабочей частотой 2450 МГц.

Авторы выражают благодарность Алексею Пименову за помощь при создании экспериментальной СВЧ-установки, описанной в данной монографии.