

**АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН  
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А.Н. ТУПОЛЕВА – КАИ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КАЗАНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»**

**НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПЛАЗМА  
В ПРОЦЕССАХ НАНЕСЕНИЯ  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ**

**X Юбилейная международная  
научно-техническая конференция**

**Казань, 5–8 ноября 2018 г.**

**Сборник статей**



**КАЗАНЬ  
2019**

УДК 5  
ББК 22  
Н61

*Конференция проведена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований  
и Правительства Республики Татарстан, грант № 18-42-161002*

**Оргкомитет:**

**Кашапов Н.Ф.** – доктор технических наук, член-корреспондент АН РТ (**председатель**);  
**Даутов Г.Ю.** – доктор технических наук, член-корреспондент АН РТ (**зам. председателя**);  
**Кашапов Р.Н.** – кандидат технических наук (**ученый секретарь**);  
**Лучкин А.Г.** – кандидат технических наук;  
**Фадеев С.А.; Шайдуллин Л.Р.; Кашапов Л.Н.**

**Программный комитет:**

**Баязитов Р.М.** – доктор физико-математических наук;  
**Бухараев А.А.** – доктор физико-математических наук, член-корреспондент АН РТ;  
**Гайсин Ф.М.** – доктор физико-математических наук;  
**Даутов Г.Ю.** – доктор технических наук, член-корреспондент АН РТ (**зам. председателя**);  
**Зиганшин Р.Р.** – доктор технических наук;  
**Исрафилов И.М.** – доктор технических наук;  
**Кашапов Н.Ф.** – доктор технических наук, член-корреспондент АН РТ (**председатель**);  
**Кашапов Р.Н.** – кандидат технических наук (**ученый секретарь**);  
**Тимеркаев Б.А.** – доктор физико-математических наук;  
**Файзрахманов И.А.** – доктор физико-математических наук;  
**Шаехов М.Ф.** – доктор технических наук

**Н61** **Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий. X Юбилейная международная научно-техническая конференция** (Казань, 5–8 ноября 2018 г.): сб. статей. – Казань: Издательство Казанского университета, 2019. – 496 с.

ISSN 2312-2285  
ISBN 978-5-00130-209-4

Сборник содержит материалы X Юбилейной международной научно-технической конференции «Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий», предоставленные учеными из ведущих учебных и научных учреждений Российской Федерации.

Организаторами конференции являются Академия наук РТ, Министерство образования и науки РТ, Российский фонд фундаментальных исследований, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук».

УДК 5  
ББК 22

ISSN 2312-2285  
ISBN 978-5-00130-209-4

© Издательство Казанского университета, 2019

## НАНЕСЕНИЕ БИОСОВМЕСТИМОГО ПОКРЫТИЯ РАТЕКС НА ДЕНТАЛЬНЫЕ ИМПЛАНТАТЫ И ВИНТЫ АБАТМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАЗМЫ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

*П.А. Тополянский<sup>1</sup>, С.В. Новиков<sup>2</sup>, И.Д. Тамазов<sup>2</sup>, С.А. Ермаков<sup>1</sup>,  
А.П. Тополянский<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

<sup>2</sup>*Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет  
им. акад. А.П. Павлова*

<sup>3</sup>*ООО «Плазмацентр»  
info@plasmacentre.ru*

**Аннотация.** Рассмотрена актуальность применения для дентальных имплантационных систем технологии нанесения тонкопленочных биосовместимых покрытий с использованием плазмы атмосферного давления. Обоснован выбор и разработан процесс химического осаждения из паровой фазы (PACVD) для нанесения биосовместимого стеклокерамического покрытия Pateks (системы SiOCN) в клинических условиях. Используемое для этой цели оборудование является малогабаритным и низкоэнергоемким. Исследования дентальных имплантатов с покрытием Pateks обосновывают возможность его нанесения в клинических условиях.

**Ключевые слова:** дентальный имплантат, биосовместимые покрытия, плазменная стерилизация.

Производители имплантационных систем постоянно совершенствуют их геометрию, применяют современные технологии и новые материалы. При этом, как было выявлено экспертной группой ученых при исследовании 62 наиболее часто используемых видов имплантатов, большинство из них имеют неудаляемые загрязнения, повышающие риск их ранней утраты или развития периимплантита [1]. В связи с этим перед врачами-стоматологами стоят задачи выбора оптимальной системы дентальных имплантатов и минимизации загрязненности их поверхности внутрикостной части.

Дентальные титановые имплантаты с минимальной шероховатостью используются уже более 50 лет. Имплантаты с развитой и одновременно модифицированной наружной поверхностью активно стали изготавливаться с начала 2000-х гг. при применении абразивно-струйной (пескоструйной, дробеструйной) обработки, травления (химического, ионного), электрохимического (анодного) и микродугового оксидирования (анодирования, пассивации), плазменного нанесения порошковых покрытий и других методов. Данные исследования посвящены дентальным имплантатам с минимальной исходной шероховатостью внутрикостной части и наличием тонкопленочного покрытия, обеспечивающего биосовместимые свойства. Эти покрытия способны минимизировать проблемы, связанные с выходом в окружающие ткани ионов токсичных легирующих элементов исходного материала и обеспечить снижение износа контактных поверхностей имплантатов, абатментов и винтов.

Для нанесения тонкопленочных покрытий на дентальные имплантаты с минимальной шероховатостью в российской практике предлагается использовать в основном процессы физического осаждения из паровой фазы (PVD) [2–5]. Для реализации этих технологий применяется наукоемкое, сложное и габаритное оборудование, экс-

плуатация которого требует высококвалифицированного персонала, специально оборудованного помещения, дополнительных методов обработки.

Нанесение тонкопленочных покрытий на дентальные имплантаты с одновременной их плазменной стерилизацией с использованием несложного, малогабаритного и низкоэнергетического оборудования является актуальной задачей.

Покрытия на основе соединений кремния получили известность после широкомасштабных исследований последних лет, доказывающих перспективность их применения [6]. Отечественными учеными также указывалось на эффективность использования таких покрытий в медицине [7].

Для нанесения тонкопленочных покрытий в клинических условиях разработан метод химического осаждения покрытий из паровой фазы в условиях плазменного асистирующего холодной атмосферной плазмы (PFCVD) [8]. Данный процесс осуществляется без вакуума и специализированных камер при локальном воздействии высокоскоростного атомарного и молекулярного плазменного потока с обрабатываемым изделием одновременно с его активацией. Для реализации технологии используется малогабаритный плазмохимический реактор, циклически перемещаемый относительно обрабатываемых поверхностей. Также возможно сканирование изделий относительно неподвижного плазмохимического реактора. Формирование покрытия осуществляется в результате химических реакций, протекающих вблизи от поверхности, на поверхности и в приповерхностном слое подложки дентальных имплантатов в условиях локализованной плазменной активации. При этом проявляются все основные активационные эффекты этого воздействия, а именно: тепловые и газодинамические свойства плазменного потока; наличие направленного потока ионизированных и возбужденных частиц; испускание инфракрасного, видимого и ультрафиолетового излучения; образование озона; наличие низкочастотных и высокочастотных пульсаций плазмы. Отличительной характеристикой процесса является минимальный нагрев дентальных имплантатов при нанесении покрытий, не превышающий 100 °С за счет возможности скоростного перемещения плазмохимического реактора или дентальных имплантатов. Осаждаемые покрытия являются мультислойными (50–250 слоев) с нанометровым диапазоном монослоев (2–20 нм). Для нанесения данных покрытий используются жидкие прекурсоры на основе элементоорганических и неорганических жидкостей семейства СЕТОЛ, суммарный годовой расход которых при односменной работе оборудования составляет примерно 0,5 литра. Данные покрытия являются аморфными, благодаря использованию прекурсоров, имеющих в своем составе элементы-аморфизаторы, а также в связи с высокими скоростями их охлаждения в процессе осаждения, равными ( $10^{10}$ – $10^{12}$ ) К/с [8].

Для реализации данного процесса разработано малогабаритное и низкоэнергетическое оборудование для нанесения биосовместимых покрытий на дентальные имплантаты с одновременной их плазменной стерилизацией (рис. 1, 2) [9].

Обработка холодной атмосферной плазмой в дентальной имплантологии наиболее активно стала использоваться в международной практике в последние десять лет [10]. Она обеспечивает улучшение адгезии факторов роста клеток костной ткани за счет изменения шероховатости и увеличения смачиваемости поверхности внутрикостной части дентальных имплантатов [11–13].

При выборе материала биосовместимого покрытия, наносимого с использованием разработанного оборудования, основное внимание уделялось:

– керамическим материалам, так как керамика является диэлектриком, а диэлектрические свойства поверхностного слоя имплантатов обеспечивают отсутствие

электрогальванических эффектов в полости рта и формирование отрицательно-монопольного электрета для адсорбции протеинов факторов роста костной ткани;

– осаждению покрытий в аморфном стеклообразном состоянии, позволяющем заполнять впадины шероховатой поверхности внутрикостной части дентальных имплантатов, уменьшающем количество микродефектов на их поверхности и тем самым снижающем способность прикрепления биопленки бактерий;

– физико-механическим свойствам материала покрытия, обладающим увеличенной твердостью при низком модуле упругости, повышенным упругим восстановлением и близостью модулей упругости покрытия и титанового материала дентальных имплантатов;

– повышенной адгезии наносимых при атмосферном давлении покрытий к оксидной пленке на исходном материале имплантатов;

– повышенной гидрофильности и смачиваемости поверхности с покрытием внутрикостной части дентальных имплантатов, что является условием остеоинтеграции.



Рис. 1. Установка для клинического нанесения покрытия Pateks на имплантационные системы с одновременной их плазменной стерилизацией



Рис. 2. Процесс нанесения биосовместимого покрытия Pateks с плазменной стерилизацией вертикального винта для абатмента имплантата

На основании вышеприведенных требований были разработаны биосовместимые стеклокерамические покрытия системы SiOCN (покрытие Pateks), метод и оборудование для его нанесения в клинических условиях. Процесс осуществляется без использования вакуумных и других специализированных камер при атмосферном давлении с одновременной плазменной стерилизацией.

Проведенные исследования плазменной стерилизации имплантатов при нанесении покрытия Pateks показали отсутствие микробного роста при инкубации в триптон-соевом и анаэробном бульонах в течение максимальных 14 суток испытаний.

Цитотоксическими исследованиями установлено, что покрытие Pateks на экспериментальных имплантатах не угнетает жизнедеятельность фибробластов легкого эмбриона человека, величина отклонения – 7,7 (величина отклонения от контроля >10 является цитотоксичной для фибробластов легкого человека).

При биологических исследованиях *in vivo* на гистологических срезах костной ткани животных экспериментальные имплантаты с покрытием Pateks по сравнению с имплантатами без покрытия формируют область плотного прилегания с узкой по-

лоской костной ткани с большим количеством клеточных элементов через 4 месяца после инсталляции их в костную ткань животных. Использование покрытия Pateks позволяет добиться более быстрой реорганизации и компактизации костной ткани в области установленного имплантата, независимо от вида протекания остеогенеза при сравнении с исходным материалом Grade 5.

### Литература

1. Ушаков А.И. Краткий обзор доклада об исследовании поверхностей моделей имплантатов различных производителей / А.И. Ушаков // Российская стоматология. – 2014. – Т. 7. – № 3. – С. 57–68.
2. Scarano A. Bacterial adhesion on titanium nitride-coated and uncoated implants: An in vivo human study / A. Scarano, M. Piattelli, G. Vrespa et al. // J. Oral Implant. – 2003. – № 29. – P. 80–85.
3. Youssef S. Titanium Nitride and Nitrogen Ion Implanted Coated Dental Materials / S. Youssef, A. Jabbari, J. Fehrman et al. // Coatings. – 2012. – № 2. – P. 160–178.
4. Штанский Д.В. Адгезионные, фрикционные и деформационные характеристики покрытий Ti-(Ca,Zr)-(C,N,O,P) для ортопедических и зубных имплантов / Д.В. Штанский, М.И. Петржик, И.А. Башкова и др. // Физика твердого тела. – 2006. – № 7 (48). – С. 1231–1238.
5. Иванов С.Ю. Сравнительная оценка адгезивных свойств бактерий полости рта к новому электрретному покрытию дентальных имплантатов / С.Ю. Иванов, В.Н. Царев, Ю.А. Быстров и др. // Институт стоматологии. – 2007. – № 2. – С. 80–81.
6. Sadow S.E. Silicon Carbide Biotechnology. A Biocompatible Semiconductor for Advanced Biomedical Devices and Applications / S.E. Sadow // Elsevier. – 2016. – 356 p.
7. Мансурова Л.А. Физиологическая роль кремния / Л.А. Мансурова, О.В. Федчишин, В.В. Трофимов и др. // Сибирский медицинский журнал. – 2009. – № 7. – С. 16–18.
8. Соснин Н.А. Плазменные технологии / Н.А. Соснин, С.А. Ермаков, П.А. Тополянский. – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2013. – 406 с.
9. Новиков С.В. Использование холодной атмосферной плазмы в стоматологии / С.В. Новиков, И.Д. Тамазов, П.А. Тополянский, А.П. Тополянский // Здоровье и образование в 21 веке. – 2018. – Т. 20. – № 1. – С. 124–127.
10. Cha S. Plasma in dentistry / S. Cha, Y.-S. Park // Clin Plasma Med. – 2014, July. 2 (1). – P. 4–10.
11. Arora V. Cold Atmospheric Plasma (CAP) in Dentistry / V. Arora, V. Nikhil, N.K. Suri, P. Arora // Dentistry. – 2014. – № 4. – P. 189–193.
12. Giro G. Osseointegration assessment of chairside argon-based nonthermal plasma-treated Ca-P coated dental implants. / G. Giro, N. Tovar, L. Witek et al. // J. Biomed Mater Res. Part A. – 2012. – 101. – 9. – P. 1–6.
13. Duske K. Atmospheric plasma enhances wettability and cell spreading on dental implant metals / K. Duske, I. Koban, E. Kindel et al. // J. Clin Periodontol. – 2012. – 39. – P. 400–407.