

**ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ПОДЛОЖКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ И СВОЙСТВА МИКРОДУГОВЫХ ПОКРЫТИЙ С ЧАСТИЦАМИ  $\beta$ -ТРИКАЛЬЦИЙФОСФАТА\***

М.Б. Седельникова<sup>1</sup>, А.В. Угодчикова<sup>2</sup>, П.В. Уваркин<sup>1</sup>, Ю.П. Шаркеев<sup>1,3</sup>,  
М.А. Химич<sup>1</sup>, Т.В. Толкачева<sup>1</sup>, В.В. Чебодаева<sup>1,4</sup>, И.А. Хлусов<sup>4</sup>, Ю. Шмидт<sup>5</sup>

<sup>1</sup> *Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия*

<sup>2</sup> *Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, г. Троицк, Московская область, Россия*

<sup>3</sup> *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

<sup>4</sup> *Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск, Россия*

<sup>5</sup> *Innovent Technology Development, Jena, Germany*

Изучены закономерности формирования покрытий с частицами  $\beta$ -трикальцийфосфата ( $\beta$ -ТКФ) методом микродугового оксидирования, на металлических подложках из Ti и сплавов Ti–40Nb, Mg0.8Ca. Установлено влияние электрофизических свойств переходного оксидного слоя на структурно-морфологические и адгезионные свойства покрытий. Малые значения ширины запрещенной зоны и высокая диэлектрическая проницаемость оксидов TiO<sub>2</sub> и Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> способствуют пропусканию каскадов микродуговых разрядов с небольшой интенсивностью, тогда как оксид MgO с низкой диэлектрической проницаемостью накапливает большое количество электрической энергии, которая затем высвобождается в виде единичных микродуговых разрядов высокой интенсивности. Покрытия на сплаве Mg0.8Ca характеризуются высокими значениями толщины и шероховатости, содержат наибольшее количество кристаллической фазы и имеют хорошие адгезионные свойства. Максимальное значение критической нагрузки, равное 17 Н, было отмечено для покрытий на сплаве Mg0.8Ca, а минимальное значение, равное 7 Н, наблюдалось для покрытий на сплаве Ti–40Nb.

**Ключевые слова:** кальцийфосфатное покрытие, оксидный слой, частицы  $\beta$ -трикальцийфосфата, ширина запрещенной зоны, диэлектрическая проницаемость, адгезионная прочность.

**Введение**

Металлические материалы широко используются в клинической практике для лечения травм, переломов, замены костных дефектов. Наиболее распространенными для создания медицинских имплантатов являются биоинертные металлы, а именно три типа сплавов: нержавеющей стали, сплавы титана и кобальт-хром-молибденовые сплавы [1–5]. Кроме того, в последнее время разрабатываются биоматериалы нового поколения, биоразлагаемые металлы, такие как магний, железо, цинк и их сплавы [6–9]. Однако применение этих материалов несколько ограничено из-за недостаточных клинических исследований.

Титановые сплавы обладают хорошими механическими свойствами, а также отличной биосовместимостью и коррозионной стойкостью. Сплавы титана, используемые для замещения твердых тканей, должны иметь низкий модуль упругости, как у кортикальной кости (10–30 ГПа) [1], чтобы избежать эффекта «экранирования напряжения», вызванного несоответствием модулей упругости имплантата и костной ткани. Следуя этой стратегии, для ортопедических применений были разработаны титановые  $\beta$ -сплавы, обладающие относительно низким модулем упругости [4, 5]. Сплавы системы Ti–Nb являются перспективными материалами для замены широко используемого сплава Ti–6Al–4V из-за их меньшей токсичности и низкого модуля упругости. На графике зависимости модуля Юнга от концентрации Nb для Ti–Nb-сплавов, закаленных из  $\beta$ -области, наблюдаются два минимума для 15 и 40 мас.% Nb. При этих концентрациях Nb доминирует мартенситная фаза для сплава Ti–15Nb и  $\beta$ -фаза в случае сплава Ti–40Nb [3].

Биоразлагаемые сплавы на основе магния (Mg) активно используются в биомедицинских приложениях из-за их способности растворяться, не вызывая воспаления в окружающих тканях, низкой плотности (1.7 г/см<sup>3</sup>), близкой к плотности человеческой кости, и низкого модуля упругости (около 45 ГПа) [6, 7]. Однако серьезным недостатком магниевых сплавов является их высокая скорость биодеградации, поскольку Mg имеет наиболее отрицательный электрохимический по-

\* Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, номер FWRW-2021-0007, а также в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет – 2030». Исследования выполнены на экспериментальном оборудовании в ЦКП «Нанотех» ИФПМ СО РАН (г. Томск, Россия), а также Троицкого института инновационных и термоядерных исследований (г. Троицк, Московская область, Россия).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>