

**СПОСОБЫ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИМПЛАНТАТОВ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА**

А.А. Шаронова, М.А. Сурменова

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент Р.А. Сурменев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, 634050

E-mail: [rsurmenev@mail.ru](mailto:rsurmenev@mail.ru)

**APPROACHES FOR SUBSTRATE FUNCTIONALISATION WITH SILVER  
NANOPARTICLES**

A. A. Sharonova, M. A. Surmeneva

Scientific Supervisor: Associate Prof., R.A. Surmenev

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str. 30, 634050

E-mail: [rsurmenev@mail.ru](mailto:rsurmenev@mail.ru)

**Abstract.** *Functionalization of titanium substrates with silver nanoparticles (AgNPs) was carried out by sessile droplet, dip-coating and EPD approaches. According the SEM results the most effective methods of surface functionalization was EPD. The PVP-stabilized AgNPs were synthesized in aqueous solutions with a diameter of the metallic core of  $70 \pm 20$  nm, negative charge of  $-15$  mV.*

**Введение.** В области стоматологии и ортопедии на сегодняшний день металлы и сплавы имеют огромную роль. Чистый титан широко используется в качестве имплантатов из-за его биологических и физико-механических свойств [1]. Общеизвестно, что имплантация постороннего объекта в организм человека может приводить к его отторжению. Кроме того, возможны проявления локальных тканевых реакций, в частности, воспаление и фиброз. Перспективным решением бактериальной активности, при дентальной имплантации, является формирование на поверхности имплантата антибактериального покрытия, которое позволит избежать отторжения и ускорить процесс лечения и восстановления [2]. В настоящее время особое внимание обращено на наночастицы серебра, они характеризуются уникальными свойствами, связанными с высоким отношением их поверхности к объему, что определяет большую эффективность их действия. Не менее интересна их функциональная активность с точки зрения придания как бактерицидных, так и бактериостатических свойств различным материалам и изделиям. Механизм воздействия серебра на микробную клетку заключается в том, что ионы серебра сорбируются клеточной оболочкой, которая выполняет защитную функцию. Клетка остается жизнеспособной, но при этом некоторые ее функции нарушаются, например, деление (бактериостатический эффект). Как только на поверхности микробной клетки сорбируется серебро, оно проникает внутрь клетки и ингибирует ферменты [3, 4]. Среди множества существующих методов, химические методы были, главным образом, использованы для создания AgНЧ. Химические методы обеспечивают простой способ синтеза AgНЧ в растворе с высокими показателями монодисперсности и высокой химической однородностью [5, 6]. Самые последние доступные методы для изготовления антибактериальных пленок включают метод погружения (окунания), электрохимическое осаждение методика нанесения на вращающуюся подложку,

метод мультислойной сборки. Приведенные методы имеют хорошую перспективу при крупномасштабном производстве формирования тонких пленок наночастиц благородных металлов [7, 8].

**Экспериментальная часть.** В работе рассмотрен ряд простых методов формирования серебряных покрытий, таких как нанесение покрытия осаждением из раствора (окувание), метод высыхания капли или метод сидячей капли и электрофоретическое осаждение (ЭФО). Согласно работе [9], AgНЧ были синтезированы в водном растворе, стабилизированы с поливинилпирролидоном (PVP), имеют диаметр металлической оболочки  $70 \pm 20$  нм и отрицательный заряд  $-15$  мВ. Титановые образцы покрывали наночастицами серебра тремя методами: 1. Метод сидячей капли - процесс, основан на формировании капли 120 мкл водного раствора с концентрацией AgНЧ  $60 \text{ мкг мл}^{-1}$  и последующей сушкой при  $55,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . 2. Осаждение из раствора - образец погружали в 5 мл водного раствора НЧ с той же концентрацией и выдерживали в течение 24 часов с последующей сушкой при  $55,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . 3. Электрофоретическое осаждение - осаждение достигалось за счет движения отрицательно заряженных AgНЧ, диспергированных в рабочем растворе, к электроду под приложенным электрическим полем. Для электрофоретического осаждения были приготовлены два типа рабочих растворов. Первый раствор с дистиллированной водой, а второй на основе абсолютного этанола, концентрация AgНЧ в растворах составляла  $60 \text{ мкг мл}^{-1}$ . На рисунке 1 показаны результаты функционализации титановой подложки с помощью AgNP.

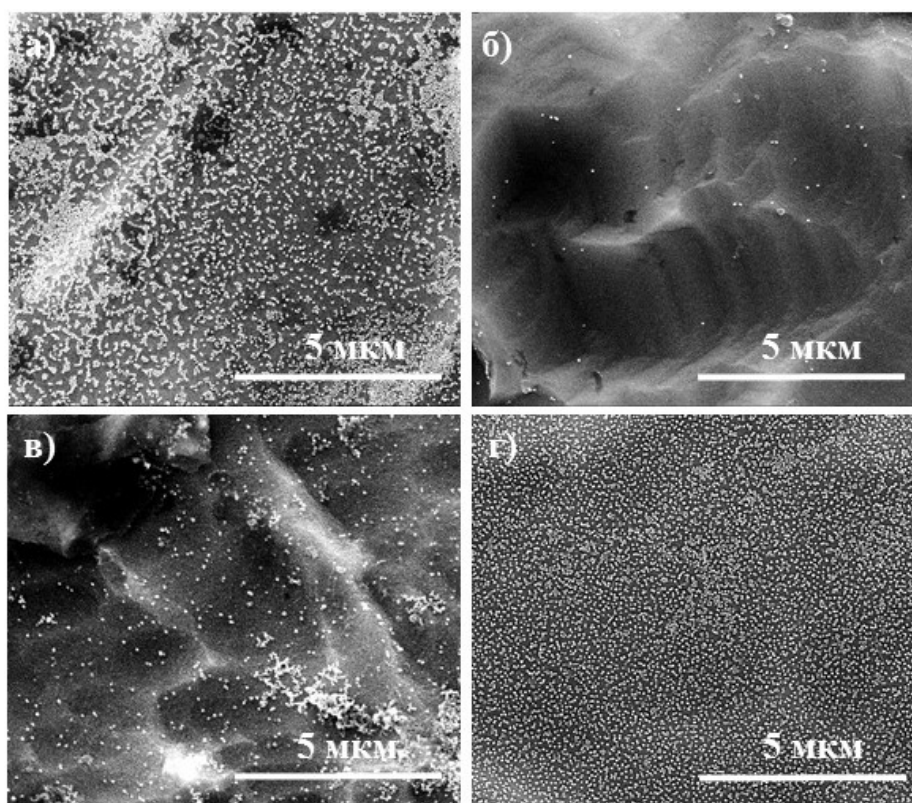


Рис. 1. Титановые образцы, функционализированные AgНЧ с PVP: а) метод сидячей капли 120 мкл, б) осаждение из раствора, в) ЭФО в воде (3 В, 60 мин), д) ЭФО в этаноле (50 В, 30 мин).

Концентрация рабочего раствора составляла  $60 \text{ мкг мл}^{-1}$  в каждом эксперименте.

**Результаты исследования.** Результаты сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) (рис.1) показали наличие сферической формы AgНЧ и их равномерное распределение по поверхности

титанового образца в случае использования метода ЭФО. Недостаток метода сидячей капли связан с поверхностным натяжением, и, как следствие, образцы не полностью покрыты частицами, а также наблюдаются островки с агломерацией НЧ. Также в случае практического применения метод сидячей капли имеет недостаток, связанный с процессом формирования покрытия на сложных конструкциях имплантатов. Методы окунания и ЭФО из водного раствора показали низкую концентрацию НЧ на поверхности образцов, а также обнаружены островковые агломерации НЧ.

**Заключение.** Функционализация поверхности титановых подложек с помощью AgНЧ осуществлялась методом сидячей капли, осаждением из раствора и ЭФО. Стабилизированные с PVP AgNP синтезировали в водных растворах. AgНЧ имеют диаметр металлической оболочки  $70 \pm 20$  нм и отрицательный заряд  $-15$  мВ. Эффективным методом для дальнейшей работы является ЭФО. Данная методика позволяет формировать равномерное покрытие на основе AgНЧ и имеет большие перспективы использования в производственных масштабах.

*Работа выполнена при поддержке стипендии Президента Российской Федерации (СП-444.2016.4) и российского научного фонда (15-13-00043). Авторы выражают благодарность проф. М. Энгле, др. К. Лозе и др. О. Примаку (университет Дуйсбург-Эссен).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hanawa T. (2010) Biofunctionalization of titanium for dental implant. Japanese Dental Science Review, vol. 46, no. 2, pp. 93–101.
2. Farooq I., Irman Z., Farooq U., Leghari A., & Ali U. (2012) Bioactive Glass: A Materials for the Future. World Journal of dentistry. no. 3, pp. 199–201.
3. Gupta K., Singh R. P., & Pandey A. (2013) Photocatalytic antibacterial performance of TiO<sub>2</sub> and Ag-doped TiO<sub>2</sub> against S. aureus. P. aeruginosa and E. coli. Beilstein Journal of Nanotechnology, no 4, pp. 345–351.
4. Ketonis C., Parvizi J., & Jones L. C. (2012) Evolving Strategies To Prevent Implant-associated Infections. JAAOS, no. 20, pp. 478–80.
5. Chen S., & Zhang H., (2012) Aggregation kinetics of nanosilver in different water conditions. Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol, no. 3, p. 035006.
6. Dang T. M. D., Le T. T. T., Fribourg-Blanc E., et al.. (2012) Influence of surfactant on the preparation of silver nanoparticles by polyol method. Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol, no. 3 p. 035004.
7. Zhang X. Y., Hu A., Zhang T., Lei W., Xue X. J., Zhou Y., & Duley W. W. (2011) Self-assembly of large-scale and ultrathin silver nanoplate films with tunable plasmon resonance properties. ACS Nano, no. 5, pp. 9082–9092.
8. Liang C., Zhong K., Liu M., Jiang L., Liu S., Xing D., Li H., Na Y., Zhao W., et. al. (2010) Synthesis of morphology-controlled silver nanostructures by electrodeposition. Nano-Micro Lett, no. 2, pp. 6–10.
9. Sharonova A., Loza K., Surmeneva M., Surmenev R., Prymak O., & Epple M. (2016) Synthesis of positively and negatively charged silver nanoparticles and their deposition on the surface of titanium. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, no. 116, p. 012009.