



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-23-1-7-13>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 577.1, 539.2, 621.315

ОКСИДНЫЕ ПЛЕНКИ СО ВСТРОЕННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЗАРЯДОМ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГЕМОСТАЗА

С. К. ЛАЗАРУК¹, О. В. КУПРЕЕВА¹, Л. П. ТОМАШЕВИЧ¹, Е. А. УТКИНА¹,
Д. В. ЖИГУЛИН², Ф. А. ГОРБАЧЕВ³, А. С. ЛАСТОВКА³

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)

²ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» (г. Минск, Республика Беларусь)

³Белорусский государственный медицинский университет (г. Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2025
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2025

Аннотация. Рассмотрено формирование пленок оксидов вентильных металлов ряда алюминий, цирконий, титан, тантал, ниобий толщиной около 100 нм электрохимическим анодированием в электролите на основе 1%-ного водного раствора лимонной кислоты. Исследовано влияние пленок анодных оксидов вентильных металлов со встроенным электретным зарядом на процесс гемостаза крови при ее контактировании с поверхностью оксидных пленок. Установлено, что пленки оксидов, имеющие отрицательный электрический заряд (оксиды алюминия и циркония), замедляют процесс гемостаза крови, а пленки анодных оксидов с положительным электрическим зарядом (оксиды ниобия и тантала) ускоряют его. Даны рекомендации по использованию покрытий с отрицательным электрическим зарядом в качестве покрытий имплантатов для обеспечения тромборезистентного эффекта. Оксиды вентильных металлов с положительным зарядом могут быть использованы при обработке ран для остановки кровотечения.

Ключевые слова: оксидные пленки, электрохимическое анодирование, встроенный электрический заряд, гемостаз крови, тромборезистентность.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Оксидные пленки со встроенным электрическим зарядом для регулирования процессов гемостаза / С. К. Лазарук [и др.] // Доклады БГУИР. 2025. Т. 23, № 1. С. 7–13. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-23-1-7-13>.

OXIDE FILMS WITH BUILT-IN ELECTRIC CHARGE FOR REGULATION OF HEMOSTASIS PROCESSES

SERGUEI K. LAZAROUK¹, OLGA V. KUPREEVA¹, LEONID P. TOMASHEVICH¹,
ELENA A. UTKINA¹, DMITRY V. ZHYHULIN², FEDOR A. GORBACHEU³,
ALEKSANDER S. LASTOVKA³

¹Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

²JSC "INTEGRAL" – Manager Holding Company "INTEGRAL" (Minsk, Republic of Belarus)

³Belarusian State Medical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The formation of films of valve metal oxides of the aluminum, zirconium, titanium, tantalum, niobium series with a thickness of about 100 nm by electrochemical anodization in an electrolyte based on a 1 % aqueous solution of citric acid is considered. The effect of films of anodic oxides of valve metals with a built-in electret charge on the process of blood hemostasis when it contacts the surface of oxide films is studied. It is found that films of oxides with a negative electric charge (oxides of aluminum and zirconium) slow down the process of blood hemostasis, and films of anodic oxides with a positive electric charge (oxides of niobium and tantalum) accelerate it. Recommendations are given for the use of coatings with a negative electric charge as implant coatings to ensure a thromboresistant effect. Positively charged valve metal oxides can be used in wound treatment to stop bleeding.

Keywords: oxide films, electrochemical anodizing, built-in electric charge, blood hemostasis, thromboresistance.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Lazarouk S. K., Kupreeva O. V., Tomashevich L. P., Utkina E. A., Zhyhulin D. V., Gorbacheu F. A., et al. (2025) Oxide Films with Built-in Electric Charge for Regulation of Hemostasis Processes. *Doklady BGUIR*. 23 (1), 7–13. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-23-1-7-13> (in Russian).

Введение

Оксидные пленки вентильных материалов (кремния, алюминия, титана, циркония, тантала, ниобия) используются в технологии изготовления изделий микроэлектроники [1–7]. В [8–10] отмечалось, что в зависимости от выбора исходного материала и режимов формирования анодных оксидных пленок можно создавать покрытия, обладающие встроенным электрическим зарядом – как положительным, так и отрицательным. Известно, что электростимуляция применяется при остеорепарации [11], а тромбоциты крови, ответственные за процесс гемостаза, имеют отрицательный электрический заряд, который обеспечивает их перемещение к положительно заряженному травмированному участку субэндотелий, где их взаимодействия с субэндотелиями и коллагенами обеспечивают эффект свертывания крови [12–15]. Таким образом, за счет использования покрытий с заданным электрическим зарядом можно управлять эффектом свертывания крови на поверхности данного покрытия, т. е. при необходимости можно усиливать этот эффект, когда нужно остановить кровотечение, и замедлять, чтобы предотвратить появление тромбов.

В статье рассмотрены влияние режимов формирования оксидных пленок на полярность и величину встроенного электрического заряда, а также влияние этого заряда на процесс гемостаза.

Проведение эксперимента

В качестве исходных образцов использовались прозрачные пластины из силикатного либо органического стекла толщиной менее 1 мм. Пленки металлов ряда алюминий, цирконий, титан, ниобий, тантал толщиной 50–100 нм осаждали магнетронным распылением при температуре подложки (100 ± 10) °С.

Анодное окисление металлических пленок проводили в электролите на основе 1%-ного водного раствора лимонной кислоты, анодирование – в гальваностатическом режиме при плотности анодного тока 10–20 мА/см². Время анодирования определялось выходом фронта анодирования к поверхности стеклянных пластин, что проявлялось заметным увеличением анодного напряже-

ния. Специальная форма катода обеспечивала практически полное прокисление металлических пленок, что подтверждалось прозрачностью получаемых структур.

Вольт-временные характеристики на формируемых структурах регистрировались после завершения анодных процессов в течение временных интервалов от 1 ч до нескольких дней. После прохождения нулевой точки потенциала на исследуемых образцах проводили замену вольтметра на высокоомный вольтметр с внутренним сопротивлением более 1 ГОм, чтобы исключить влияние схемы на кинетику измерения потенциала анодной пленки.

Полярность и величина встроенного электрического заряда оценивались с помощью измерения электродного потенциала открытой цепи после выдержки в электрохимической ячейке более 1 ч [8]. После процесса электрохимического анодирования экспериментальные структуры отмывали в дистиллированной воде.

Для оценки процесса гемостаза на экспериментальных структурах использовали коагулометр microINR (iLine Microsystems S.L., Испания), измеряя процесс гемостаза крови на прозрачных чипах по показаниям МНО (международное нормализованное отношение), покрытых оксидными пленками вентильных металлов. Фотографии чипов представлены на рис. 1.

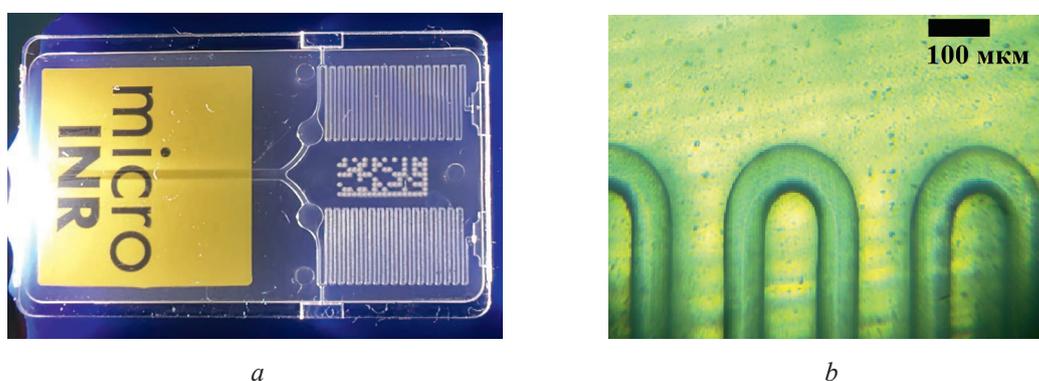


Рис. 1. Чип для определения показателя международного нормализованного отношения гемостаза крови:
a – общий вид; *b* – вид микроканалов внутри прозрачной подложки
Fig. 1. Chip for determining the international normalized ratio of blood hemostasis:
a – general view; *b* – view of microchannels inside the transparent substrate

Результаты исследований и их обсуждение

На рис. 2 приведены вольт-временные зависимости разности потенциалов между электродами, покрытыми анодными оксидными пленками, и контрольными металлическими электродами тех же металлов без анодных оксидов. Отсчет контролируемого времени начинался сразу после завершения электрохимического анодирования. Как видно из рис. 2, по окончании анодного процесса на всех исследуемых поверхностях наблюдается положительный электрический потенциал в диапазоне от 200 до 360 мВ относительно контрольных металлических электродов. Далее с течением времени отмечается постепенное изменение этого потенциала. Причем для металлов ряда алюминий, цирконий, титан происходит переход электродного потенциала в отрицательную область.

Уменьшение электродного потенциала наблюдалось для всех исследуемых электродов, покрытых оксидной пленкой. После 60 мин выдержки в электролите электрохимической ячейки изменение потенциала уменьшается, переходя в стадию его стабилизации. При последующих измерениях изменение не превышало 10 % от значения, соответствующего 60-минутной выдержке. Как видно из рис. 2, величина электродного потенциала минимальна для оксидных пленок алюминия, далее в порядке возрастания его значений следуют оксидные пленки циркония, титана, тантала и ниобия. Причем после 60-минутной стабилизации пленки оксидов алюминия, циркония и титана имеют отрицательную, а тантала и ниобия – положительную полярность электродного потенциала.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что отрицательный электродный потенциал свойственен оксидным пленкам вентильных металлов 3-й и 4-й групп, в то время как положительный отмечается в оксидных пленках металлов 5-й группы.

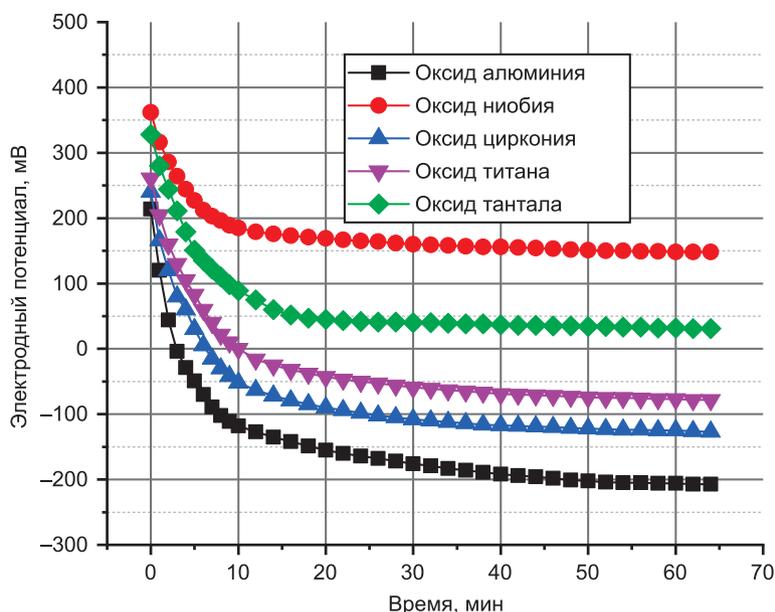


Рис. 2. Зависимость электродных потенциалов от времени выдержки в электрохимической ячейке после окончания анодного процесса для различных оксидов вентильных металлов
Fig. 2. Dependence of electrode potentials on the holding time in an electrochemical cell after the end of the anodic process for various valve metal oxides

Переход к стабильному электродному потенциалу наблюдается не только при выдержке в электролите, но и в атмосфере воздуха, однако время перехода к стабильному значению электродного потенциала больше. Тем не менее тенденция перехода электродного потенциала к соответствующему стабильному значению отмечена при выдержке исследуемых образцов и в альтернативных средах, таких как инертные газы, кислород, азот.

Результаты исследования влияния электродного потенциала оксидных пленок вентильных металлов на микрочипе на процесс гемостаза крови по показателю МНО представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты исследования влияния оксидных пленок вентильных металлов на процесс гемостаза крови по показателю международного нормализованного отношения
Table 1. Results of the study of the influence of oxide films of valve metals on the process of blood hemostasis according to the international normalized ratio

Тип оксидной пленки	Электродный потенциал, мВ	Показатель МНО
Оксидная пленка отсутствует	0	1,0–1,1
Анодный оксид алюминия	–(200–240)	1,1–1,3
Анодный оксид циркония	–(120–140)	1,1–1,2
Анодный оксид титана	–(60–80)	1,0–1,1
Анодный оксид тантала	20–40	1,0–1,1
Анодный оксид ниобия	130–160	0,9–1,0

Как видно из табл. 1, наличие анодных оксидных пленок алюминия и циркония замедляет процесс гемостаза за счет отрицательного электродного заряда, а пленки анодного оксида ниобия способствуют процессу гемостаза крови, о чем свидетельствует уменьшение показателя МНО. Пленки оксидов титана и тантала не показали заметного влияния на процесс гемостаза, что объясняется незначительной величиной электродного потенциала. Для более точных результатов таких исследований необходимы дополнительные эксперименты на оборудовании, обладающем высокой разрешающей способностью при определении показателя МНО.

Заключение

1. Проведенные исследования показали, что пленки оксидов вентильных металлов ряда алюминий, цирконий, титан, тантал, ниобий, обладающие определенным встроенным электричес-

ким зарядом, способны влиять на процесс гемостаза крови при их контактировании. Причем пленки оксидов алюминия и циркония за счет наличия отрицательного электрического заряда увеличивают показатель международного нормализованного отношения, т. е. уменьшают скорость свертываемости крови, в то время как пленки оксида ниобия, имеющие положительный электрический заряд, увеличивают скорость коагуляции крови.

2. Пленки оксидов вентильных металлов со встроенным отрицательным электрическим зарядом могут быть использованы в качестве покрытий имплантатов, обладающих тромборезистентными свойствами [16–18]. Оксиды вентильных металлов с положительными электрическими зарядами могут найти применение при обработке кровоточащих ран для остановки кровотечения за счет ускорения свертываемости крови.

3. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект от 1 марта 2024 г. № T24B-009).

Список литературы

1. Efficiency of Avalanche Light-Emitting Diodes Based on Porous Silicon / S. K. Lazarouk [et al.] // *Semiconductors*. 2005. Vol. 39, No 1. P. 136–138.
2. Anodic Nanoporous Titania for Electro-Optical Devices / S. Lazarouk [et al.] // *Japanese Journal of Applied Physics*. 2007. Vol. 46.
3. Visible Electroluminescence from Al-Porous Silicon Reverse Bias Diodes Formed on the Base of Degenerate N-Type Silicon AF / S. Lazarouk [et al.] // *MRS Online Proceedings Library Archive*. 1996. Vol. 358. P. 659–664.
4. Electroluminescence from Aluminum-Porous Silicon Reverse-Biased Schottky Diodes Formed on the Base of Highly Doped N-Type Polysilicon / S. Lazarouk [et al.] // *Thin Solid Films*. 1996. Vol. 276, No 1. P. 296–298.
5. Stable Electroluminescence of Nanostructured Silicon Embedded into Anodic Alumina / P. Katsuba [et al.] // *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*. 2009. Vol. 41, No 6. P. 931–934.
6. Si-Based Optoelectronic Couple / P. Jaguiro [et al.] // *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*. 2009. Vol. 41, No 6. P. 1094–1096.
7. 3D Silicon Photonic Structures Based on Avalanche LED with Interconnections Through Optical Interposer / S. K. Lazarouk [et al.] // *International Journal of Nanoscience*. 2019. Vol. 18.
8. Влияние поверхностного потенциала анодных алюмооксидных пленок на их зарядовые свойства / В. Л. Динь [и др.] // *Доклады БГУИР*. 2019. Т. 5, № 123. С. 72–78.
9. Биоактивные покрытия на основе оксидов титана и тантала для титановых имплантатов / С. И. Багаев [и др.] // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. науч. тр., в 2 кн. Минск: Физ.-техн. ин-т Нац. акад. наук Беларуси, 2021. Кн. 1. С. 250–263.*
10. Влияние морфологии поверхности титановых имплантатов на реакцию со стороны костной ткани / О. В. Купреева [и др.] // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. науч. тр. XII Междунар. науч.-техн. конф., в 3-х кн. Минск: Физ.-техн. ин-т Нац. акад. наук Беларуси, 2017. С. 174–178.*
11. Ткаченко, С. С. *Электростимуляция остеорепарации* / С. С. Ткаченко, В. В. Руцкий. Л.: Медицина, 1989.
12. Бочаров, М. Е. *Электрическая составляющая кровообращения* / М. Е. Бочаров // *Концепт*. 2015. Т. 13. С. 2511–2515.
13. Сравнительные исследования легированных оловом тонкопленочных структур оксида индия различной толщины на стеклянной подложке для биомедицинских приложений сепарации и концентрирования клеток цельной крови / А. И. Драпеца [и др.] // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. науч. тр., в 2 кн. Минск: Физ.-техн. ин-т Нац. акад. наук Беларуси, 2022. Кн. 2. С. 91–101.*
14. Изучение электрокинетических возможностей сепарации и концентрирования бактерий (*S. aureus*) в цельной крови четырехэлектродным биосенсорным чип-форматом с прозрачными микроэлектродами / А. И. Драпеца [и др.] // *Доклады БГУИР*. 2022. Т. 20, № 5. С. 73–81.
15. Оптимизация состава среды и размеров конструктивных элементов биопроцессорного чипа-формата с NI микроэлектродами для разделения и концентрации *S. aureus* в модельных условиях и в цельной крови / А. И. Драпеца [и др.] // *Медэлектроника–2020. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: сб. науч. ст. XII Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 10 дек. 2020 г. Минск: Белор. гос. ун-т информ. и радиоэлек., 2020. С. 163–169.*
16. Effect of the Surface Structure of Titanium Implants on the Response to the Bone Tissue / S. K. Lazarouk [et al.] // *Physics, Chemistry and Application of Nanostructures*. 2017. P. 433–436.
17. Влияние поверхностной структуры титановых имплантатов на реакцию со стороны костной ткани / С. К. Лазарук [и др.] // *Доклады БГУИР*. 2016. Т. 1, № 95. С. 100–103.

18. Оптические свойства анодного оксида титана и его применение в челюстно-лицевой хирургии / Е. А. Гвоздовская [и др.] // Доклады БГУИР. 2016. Т. 5, № 99. С. 48–53.

References

1. Lazarouk S. K., Leshok A. A., Labunov V. A., Borisenko V. E. (2005) Efficiency of Avalanche Light-Emitting Diodes Based on Porous Silicon. *Semiconductors*. 39 (1), 136–138.
2. Lazarouk S., Xie Z., Chigrinov V., Kwok H. (2007) Anodic Nanoporous Titania for Electro-Optical Devices. *Japanese Journal of Applied Physics*. 46.
3. Lazarouk S., Bondarenko V., Pershukevich P., Monica S., Maiello G. (1996) Visible Electroluminescence from Al-Porous Silicon Reverse Bias Diodes Formed on the Base of Degenerate N-Type Silicon AF. *MRS On-line Proceedings Library Archive*. 358, 659–664.
4. Lazarouk S., Bondarenko V., Monica S., Maiello G., Masini G. (1996) Electroluminescence from Aluminum-Porous Silicon Reverse-Biased Schottky Diodes Formed on the Base of Highly Doped N-Type Polysilicon. *Thin Solid Films*. 276 (1), 296–298.
5. Katsuba P., Jaguiro P., Lazarouk S., Smirnov A. (2009) Stable Electroluminescence of Nanostructured Silicon Embedded into Anodic Alumina. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*. 41 (6), 931–934.
6. Jaguiro P., Katsuba P., Lazarouk S., Moore S., Smirnov A. (2009) Si-Based Optoelectronic Couple. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*. 41 (6), 1094–1096.
7. Lazarouk S. K., Leshok A. A., Kozlova T. A., Dolbik A. V., Vi L. D., Ilkov V. K. (2019) 3D Silicon Photonic Structures Based on Avalanche LED with Interconnections Through Optical Interposer. *International Journal of Nanoscience*. 18.
8. Din V. L., Kupreeva O. V., Dudich V. V., Filipenya V. A., Lazarouk S. K. (2019) The Influence of the Surface Potential of Anodic Alumina Films on Their Charging Properties. *Doklady BGUIR*. 5 (123), 72–78 (in Russian).
9. Bagayev S. I., Smyaglikov I. P., Lazarouk S. K., Kupreeva O. V. (2021) Bioactive Coatings Based on Titanium and Tantalum Oxides for Titanium Implants. *Modern Methods and Technologies for Creating and Processing Materials, Collection of Scientific Papers, in 2 Books, Book 1*. Minsk, Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus. 250–263 (in Russian).
10. Kupreeva O. V., Bagayev S. I., Mazurenko A. N., Dudich O. N., Krasilnikova V. L. (2017) The Influence of Titanium Implant Surface Morphology on the Reaction of Bone Tissue. *Modern Methods and Technologies for Creating and Processing Materials, Collection of Scientific PAPERS of the XII International Scientific and Technical Conference, in 3 Books*. Minsk, Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus. 174–178 (in Russian).
11. Tkachenko S. S., Rutsky V. V. (1989) *Electrostimulation of Osteoreparation*. Leningrad, Medicine Publ. (in Russian).
12. Bocharov M. E. (2015) Electrical Component of Blood Circulation. *Concept*. 13, 2511–2515 (in Russian).
13. Drapeza A. I., Lazarouk S. K., Khmelnskiy A. I., Loban V. A., Orekhovskaya T. I., Dolbik A. V., et al. (2022) Comparative Studies of Tin-Doped Indium Oxide Thin-Film Structures of Different Thickness on a Glass Substrate for Biomedical Applications of Whole Blood Cell Separation and Concentration. *Modern Methods and Technologies for the Creation and Processing of Materials: A Collection of Scientific Papers, in 2 Books, Book 2*. Minsk, Physicotechnical Institute of the of the National Academy of Sciences of Belarus. 91–101 (in Russian).
14. Drapeza A. I., Lazaruk S. K., Skorokhod G. A., Loban V. A., Orekhovskaya T. I., Khmelnskiy A. I., et al. (2022) Study of Electrokinetic Capabilities of Separation and Concentration of Bacteria (*S. Aureus*) in Whole Blood Using a Four-Electrode Biosensor Chip Format with Transparent Microelectrodes. *Doklady BGUIR*. 20 (5), 73–81 (in Russian).
15. Drapeza A. I., Lazarouk S. K., Gudkova E. I., Loban V. A., Orekhovskaya T. I., Khmelnskiy A. I., et al. (2020) Optimization of the Composition of the Medium and the Sizes of the Structural Elements of the Bioprocessor Chip-Format with NI Microelectrodes for the Separation and Concentration of *S. Aureus* Under Model Conditions and in Whole Blood. *Medelectronics–2020. Medical Electronics and New Medical Technologies: Collection of Scientific Articles of the XII International Scientific and Technical Conference, Minsk, Dec. 10*. Minsk. Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 163–169 (in Russian).
16. Lazarouk S. K., Kupreeva O. V., Dudich O. N., Krasilnikova V. L., Bahayeu S. I. (2017) Effect of the Surface Structure of Titanium Implants on the Response to the Bone Tissue. *Physics, Chemistry and Application of Nanostructures*. 433–436.
17. Lazarouk S. K., Kupreeva O. V., Isaev D. V., Gorbachev F. A., Lastovka A. S. (2016) The Influence of the Surface Structure of Titanium Implants on the Reaction of Bone Tissue. *Doklady BGUIR*. 1 (95), 100–103 (in Russian).

18. Gvozдовskaya E. A., Timoshevich I. V., Korzun K. A., Lazarouk S. K., Kupreeva O. V., Isaev D. V., et al. (2016) Optical Properties of Anodic Titanium Oxide and Its Application in Maxillofacial Surgery. *Doklady BGUIR*. 5 (99), 48–53 (in Russian).

Вклад авторов / Authors' contribution

Авторы внесли равный вклад в написание статьи / The authors contributed equally to the writing of the article.

Сведения об авторах

Лазарук С. К., д-р физ.-мат. наук, проф., зав. научно-исследовательской лабораторией «Интегрированные микро- и наносистемы» (НИЛ 4.6), Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР)

Купреева О. В., науч. сотр. НИЛ 4.6, БГУИР

Томашевич Л. П., инж.-электрон. НИЛ 4.6, БГУИР

Уткина Е. А., доц., вед. науч. сотр. научно-исследовательской лаборатории «Технология гибридных микросхем» (НИЛ 4.2), БГУИР

Жигулин Д. В., нач. сектора физико-технического анализа Государственного центра «Белмикроанализ», ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»

Горбачев Ф. А., доц. каф. челюстно-лицевой хирургии, Белорусский государственный медицинский университет (БГМУ)

Ластовка А. С., проф. каф. челюстно-лицевой хирургии, БГМУ

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 17 293-88-69
E-mail: serg@nano.bsuir.edu.by
Лазарук Сергей Константинович

Information about the authors

Lazarouk S. K., Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Professor, Head of the Research Laboratory “Integrated Micro- and Nanosystems” (Lab 4.6), Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR)

Kupreeva O. V., Researcher at the Lab 4.6, BSUIR

Tomashевич L. P., Electronics Engineer at the Lab 4.6, BSUIR

Utkina E. A., Associate Professor, Leading Researcher at the Research Laboratory “Hybrid Microcircuit Technology” (Lab 4.2), BSUIR

Zhyhulin D. V., Head of the Sector of Physical and Technical Analysis of the “Belmicroanalysis” State Center, JSC “INTEGRAL” – Manager Holding Company “INTEGRAL”

Gorbachev F. A., Associate Professor at the Department of Maxillofacial Surgery, Belarusian State Medical University (BSMU)

Lastovka A. S., Professor at the Department of Maxillofacial Surgery, BSMU

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 17 293-88-69
E-mail: serg@nano.bsuir.edu.by
Lazarouk Serguei Konstantinovich