

# ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЕНОК АНОДНОГО ОКСИДА ТИТАНА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ХИРУРГИИ

Е.А. Гвоздовская<sup>1</sup>, И.В. Тимошевич<sup>1</sup>, С.К. Лазарук<sup>1</sup>, О.В. Купрсева<sup>1</sup>,  
Н.Г. Асинский<sup>1</sup>, Г.Г. Рабатуев<sup>1</sup>, Д.В. Исаев<sup>2</sup>, Ф.А. Горбачев<sup>2</sup>, А.С. Ластовка<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский государственный медицинский университет Дзержинского.  
Минск, 83220116, Беларусь

тел: (812) 292-7173, факс: (812) 297-1017, эл. почта: user@mail.ru

Анодный оксид титана широко используется в электронике. Первые применения оксидов вентильных металлов, в частности, оксида титана, связаны с изготовлением конденсаторных диэлектриков. В последние годы интерес к оксиду титана увеличился за счет его использования при изготовлении мемристоров и фотоэлектрических преобразователей. Кроме того, такие пленки используются в медицине в качестве покрытий титановых имплантатов.

В данной работе проведено исследование процесса формирования анодного оксида титана, оптических свойств сформированных пленок, рассмотрены варианты использования таких пленок в челюстно-лицевой хирургии, в частности, для визуализации и девизуализации титановых объектов.

В качестве исходной подложки использовались титановые объекты с содержанием примесных элементов менее 0,1%. В качестве электролита использовался 1% раствор лимонной кислоты (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>). Анодирование проводилось в комбинированном режиме: первая стадия – гальваностатический режим при фиксированной плотности тока ( $J_{\text{ан}}$ ) с разверткой анодного напряжения до заданного значения ( $U_{\text{ан}}$ ) и далее потенциостатический режим. Время проведения эксперимента определялось по уменьшению анодного тока до 10% от исходного значения.

В процессе исследований были сформированы анодные оксидные пленки при напряжениях формовки от 10 до 200 В. Подробное описание режимов формовки и параметров сформированных оксидных пленок представлено в табл. 1. Следует отметить, что варьируя напряжение формовки можно выращивать барьерные оксидные пленки толщиной от 30 до 300 нм. При этом цвет сформированных пленок перекрывает весь цветовой диапазон видимого спектра от фиолетового до красного.

Таблица 1. Режимы анодного окисления титана и параметры сформированных пленок

№	U <sub>ан</sub> , В	J <sub>ан</sub> , мА/см <sup>2</sup>	Цвет образца	Толщина слоя, нм	Коэффициент формовки, нм/В
1	9	2	бежевый	28	3,2
2	19	2	коричневый	40	2,1
3	29	2	сине-фиолетовый	57	2,0
4	39	2	голубой	68	1,8
5	49	2	светло-голубой	85	1,7
6	59	2	металлический	97	1,6
7	69	2	светло-золотистый	111	1,6
8	79	2	золотистый	128	1,6
9	89	2	оранжевый	139	1,6
10	99	2	розово-фиолетовый	154	1,6
11	109	2	фиолетово-синий	171	1,6
12	119	12	голубо-зеленый	182	1,5

3	129	12	зеленый	199	1,5
14	139	12	зелено-желтый	210	1,5
15	149	12	светло-оранжевый	233	1,6
16	159	12	темно-розовый	239	1,5
17	169	12	фиолетово-красный	250	1,5
18	179	12	голубо-фиолетовый	273	1,5
19	189	12	зелено-голубой	284	1,5
20	199	12	зелено-фиолетовый	296	1,5

Титановые имплантаты широко используются в медицине. Применение титановых имплантатов с окрашенными поверхностями актуально в челюстно-лицевой хирургии. Поскольку биологические ткани обладают различной оптической проницаемостью в зависимости от структуры, окрашенная поверхность титана может визуализироваться при экспонировании светом видимого диапазона, что имеет положительные и отрицательные стороны при различных методиках имплантации титановых конструкций. Чрезканевая визуализация имплантатов обусловлена различной оптической проницаемостью биологических тканей и толщиной их слоя. Металлоконструкции (накожные пластины и шурупы) при проведении оперативных вмешательств при травматических повреждениях челюстно-лицевой области можно удалять после выполнения своих функций по показаниям через 10–12 месяцев. При этом чрезканевая визуализация титанового объекта, окрашенного в темные цвета, позволяет определить точную локализацию титанового имплантата, уменьшить время оперативного вмешательства и минимизировать операционную травму. Такие объекты «просвечиваются» через слизистые оболочки полости рта и носа, также хорошо определяются в процессе хирургического вмешательства в слоях тканей операционной раны, что позволяет провести хирургическую операцию с наименьшими нарушениями целостности мягких тканей. Проведенные исследования показали, что лучшая чрезканевая визуализация наблюдается для титановых конструкций с оксидными пленками, сформированными при  $U_{\text{ин}} = 30 \pm 5 \text{ В}$ , что обеспечивает их окрашивание в темно-синий, сине-фиолетовый цвета.

Титановые имплантаты для реконструкции костей лицевого скелета и контурной пластики предполагают постоянное нахождение в организме. В таких случаях необходимо обеспечить девизуализацию имплантируемых крепежных пластин. Соответственно возникает необходимость использования имплантатов с поверхностью, окрашенной в цвета, приближенные к цвету биологических тканей, и обладающей анитотражающими свойствами. Такие имплантаты особенно целесообразно использовать в областях с минимальной толщиной мягких тканей: область орбиты, спинка носа, полость рта. В зависимости от локализации и с целью девизуализации имплантируемых крепежных пластин, преимущество отдается имплантатам желтого, розового, светло-золотистого, светло-оранжевого, бежевого (телесного) цветов. Анализ полученных данных в ходе проведенного исследования подтверждает, что пленки анодного оксида титана способны в полной мере обеспечить требуемые свойства для имплантатов, что делает перспективным применение данных пленок в челюстно-лицевой хирургии.