ВИП-2023
XXVI Международная конференция
«Взаимодействие ионов с поверхностью»
21 - 25 августа 2023 г
Ярославль, Россия

Section 3, poster 20

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ СЛОЕВ НА ПОВЕРХНОСТИ ВЕНТИЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРОЦЕССЕ ИОННО-АССИСТИРУЕМОГО ОСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ ПЛАЗМЫ ВАКУУМНОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА

FEATURES OF THE FORMATION OF ALLOYED LAYERS ON THE SURFACE OF VALVE METALS IN THE PROCESS OF ION BEAM ASSISTED DEPOSITION OF METALS FROM VACUUM ARC DISCHARGE PLASMA

В.В. Поплавский, О.Г. Бобрович, А.В. Дорожко, В.Г. Матыс

Белорусский государственный технологический университет, Минск vasily.poplav@tut.by +375 29 675 71 42 (Viber)

Типичными *представителями вентильных металлов*, на поверхности которых в атмосфере воздуха образуется оксидная пленка толщиной ~10 нм, защищающая металл от коррозии в воздушной среде и в слабоагрессивных средах, *являются алюминий, титан и тантал*. Контакт между металлом и оксидной пленкой обладает односторонней проводимостью. Этими же свойствами обладают и сплавы металлов.

Вследствие химической инертности эти материалы используются для изготовления *электродов электрохимических устройств* (электролизеров получения водорода, топливных элементов), в условиях работы которых коррозионной стойкости, обусловленной наличием оксидной пленки, зачастую недостаточно. При этом электроды *наряду с устойчивостью к коррозии должны обладать каталитической активностью* по отношению к соответствующим электрохимическим процессам.

Титан и его сплавы, а также тантал, вследствие биосовместимости широко применяются как *материалы имплантатов в ортопедии и стоматологии*. В биомедицинских применениях этих материалов также требуется модифицирование поверхности, причем не только для достижения остеосовместимости, но и *для повышения антибактериальных свойств*.

***Повышение коррозионной стойкости изделий* из сплавов этих металлов, *создание активных электрокатализаторов* на их основе, *достижение бактерицидных свойств* имплантатов *достигаются в процессе легирования поверхности ускоренными ионами металлов* посредством ионной имплантации, ионно-ассистируемого осаждения.**

Цель работы: исследование особенностей формирования в процессе ионно-ассистируемого осаждения (режим IBAD) металлов из плазмы вакуумного дугового разряда легированных слоев на покрытой оксидной пленкой поверхности вентильных металлов – алюминия, титана и тантала.

Слои на поверхности подложек из алюминия марки А7, алюминиевого сплава Д16Т, титана ВТ1-0 и тантала формировали в процессе ионно-ассистируемого осаждения (IBAD) легирующих металлов. Осаждение металла и перемешивание наносимого слоя с поверхностью подложки ускоренными (U = 20 кВ) ионами того же металла осуществляли в экспериментальной установке соответственно из нейтральной фракции паров металла и ионизированной плазмы импульсного вакуумного (p ~10^{-2} Па) дугового разряда. В качестве ассистирующих процессу IBAD используются ускоренные ионы осаждаемого металла.

При ионно-ассистируемом осаждении металлов на поверхность вентильных металлов (Al, Ti, Ta) в предложенном режиме получены *многокомпонентные аморфные* слои (рис. 1), *в составе которых атомы осаждаемых металлов, компоненты материала подложки, включая кислород поверхностной оксидной пленки, а также молекулы углеводородов в качестве примесей*. Толщина формируемых слоев зависит от содержания осажденных металлов и составляет ~(30–50) нм. Содержание атомов каждого из осаждаемых металлов составляет ~(0,5–2,0)·10^{16} см$^{-2}$; их концентрация – несколько атомных процентов.

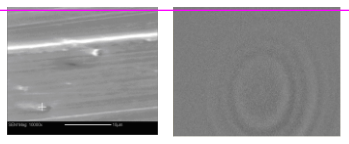


Рис. 1. Результаты SEM и EBSD слоя Cr/Al

Установлены *особенности состава формируемых в процессе легирования слоев*.

При легировании поверхности материалов ионами переходных металлов, обладающих геттерными свойствами (Zr, Cr, Er, Dy и др.), имеют место захват значительного количества газов из остаточной атмосферы вакуумной рабочей камеры и включение их в состав формируемого слоя.

По данным RBS в составе слоев, получаемых при осаждении геттерных металлов, содержится незначительное количество атомов материала подложки и наряду с легирующим металлом преобладают другие элементы, прежде всего кислород и углерод.

Так, *анализ спектров рассеяния ионов ^{4}He на ядрах атомов элементов* в слоях, полученных на алюминии и алюминиевом сплаве, *по расположению сигналов рассеяния от поверхности образцов* показывает, что алюминий и компоненты сплава Д16Т (Al, Mg, Cu) практически не выходят на поверхность (рис. 2).

При ионно-ассистируемом осаждении металлов, не проявляющих геттерных свойств (например, Ir, Pt (рис. 3)), содержание примесей в полученных слоях существенно меньше, в их составе содержатся атомы осажденного металла и материала подложки. При осаждении вольфрама получен слой, в составе которого атомы алюминия, вольфрама, кислорода (рис.4).

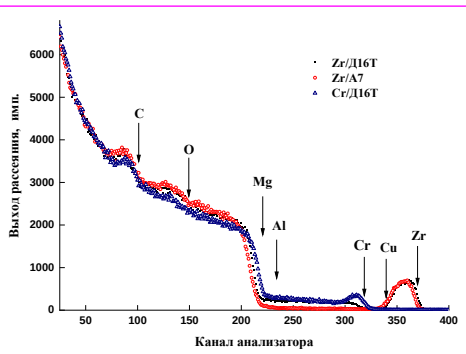


Рис. 2. RBS слоев, полученных на алюминии и сплаве Д16Т осаждением Zr и Cr. E_0 = 1.3 МэВ

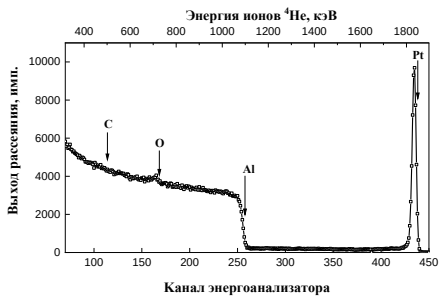


Рис. 3. RBS слоя, полученного на алюминии осаждением платины. E_0 = 2.0 МэВ

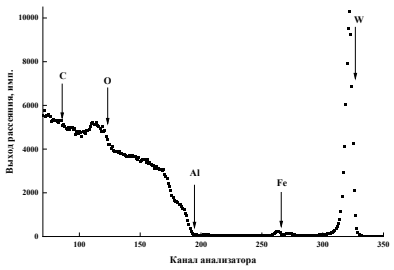


Рис. 4. RBS слоя, полученного на алюминии осаждением вольфрама. E_0 = 1.5 МэВ

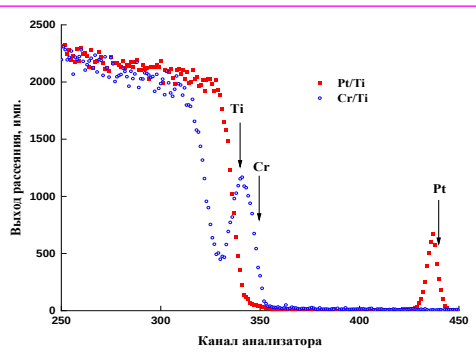


Рис. 5. RBS слоев, полученных на титане осаждением Pt и Cr. E_0 = 1.0 МэВ

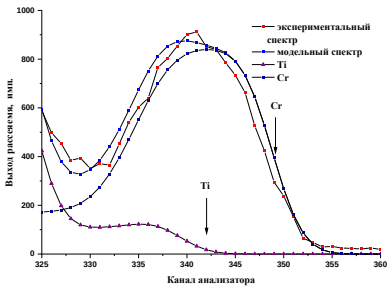


Рис. 6. Участок модельного спектра RBS слоя Cr/Ti

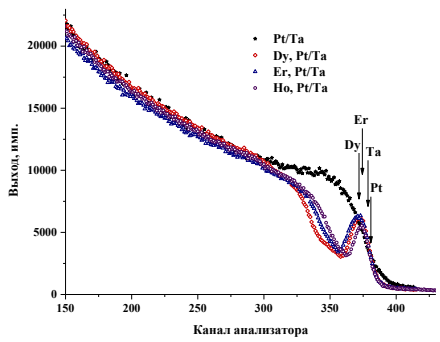
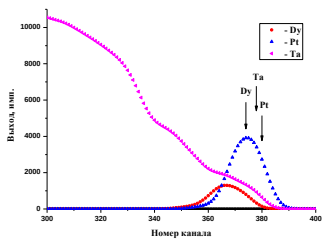
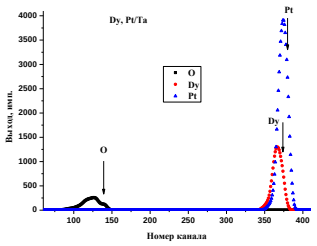


Рис. 7. RBS слоев, полученных на тантале осаждением платины и одного из редкоземельных элементов (Dy, Er, Ho) и Pt. E_0 = 1.0 МэВ

Рис. 8. Участки модельного спектра RBS слоя Dy, Pt/Ta →





Аналогичные результаты получены и при исследовании слоев, сформированных на поверхности титана и тантала (рис.5–8).

RBS спектры образцов, полученных при осаждении на титан платины и хрома, существенно различаются (рис. 5). .Компьютерное моделирование спектра RBS ионов ^{4}He на ядрах атомов элементов в слое, полученном при IBAD хрома на титан, дает удовлетворительное соответствие с экспериментом при учете наличия в составе слоя Ti, Cr, O, N, C, а также H, который не идентифицируется методом RBS, и подтверждает незначительное содержание титана в слое (рис. 5, 6).

Поочередное осаждение на поверхность тантала одного из редкоземельных металлов (Er, Dy, Ho) и платины приводит к формированию слоев, в составе которых также значительное содержание кислорода и незначительное атомов подложки – Ta. В то время как при осаждении только платины (спектр Pt/Ta) сформирован слой с меньшим содержанием примесей, включающий платину и тантал (рис. 7, 8).

Полученные данные необходимо учитывать при легировании ускоренными ионами металлов покрытой оксидной пленкой поверхности вентильных металлов.

Процесс IBAD формирования слоев отличается одностадийностью, экономичностью и позволяет повышать коррозионную устойчивость, обеспечивать каталитическую активность и антибактериальные свойства материалов.

[1] S. Karimi, N. Fraser, B. Roberts, F.R. Foulkes, Adv. Mater. Scie. and Engineering, ID 828070 (2012) 1.
[2] Y.-S. Kim, I.-S. Lee, J.-Y. Choi, S. Jun, D. Kim, B.-C. Cha, D.-W. Kim, Materials 14 (2021) 4972.
[3] В.В. Поплавский, А.В. Дорожко, В.Г. Матыс, И.П. Смягликов, С.О. Селифанов, Известия ВУЗов. Физика. 58 (2015) 126.
[4] Xue T., Attarilar S., Liu S., Liu J., Song X., Li L., Zhao B., Tang Y. (2020) Front. Bioeng. Biotechnol. 8:603072.
[5] Liu J., Liu J., Attarilar S., Wang C., Tamaddon M., Yang C., Xie K., Yao J., Wang L., Liu C., Tang Y. (2020) Front. Bioeng. Biotechnol. 8:576969.
[6] В.В. Поплавский, Т.С. Мищенко, В.Г. Матыс, ЖТФ 80 (2010) 138.
[7] В.В. Поплавский, Т.С. Мищенко, В.Г. Матыс, Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 7 (2010) 33.
[8] В.В. Поплавский, Т.С. Стельмах, В.Г. Матыс, Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 9 (2012) 45.
[9] V.V. Poplavsky, F.F. Komarov, V.G. Luhin, V.V. Pil'ko, J. Partyka, Acta Physica Polonica A. 128 (2015) 946.
[10] В.В. Поплавский, А.В. Дорожко, В.Г. Матыс, Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 9 (2016) 104.
[11] В.В. Поплавский, А.В. Дорожко, Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 4 (2013) 9.