

УДК 669: 675.043.82: 620.172.2: 620.187

ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ТОНКИХ МНОГОУРОВНЕВЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИЗ ТИТАНА И ТАНТАЛА

*Сударчи́кова Мария Андреевна ⁽¹⁾, Новикова Дарья Андреевна, Насакина Елена Олеговна, Колмаков Алексей Георгиевич
Аспирант 2 года ⁽¹⁾,
кафедра «Порошковая металлургия и композиционные материалы»
Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук
Научный руководитель: Е.О. Насакина
младший научный сотрудник*

Слоистые композиты, находящие обширное применение в электронике, оптике, медицине, при создании конструкционных и прочих функциональных объектов, могут быть эффективно получены с использованием вакуумных ионно-плазменных методов. При этом параметры получаемых слоев напрямую связаны с параметрами процесса, которые могут варьироваться в достаточно широком диапазоне: время распыления, взаимное расположение распыляемой мишени из материала формируемого слоя и подложки, на которую идет нанесение слоя, в пространстве, что определяет интенсивность результирующего потока наравне с мощностью процесса, природа распыляемого материала и состояние поверхности, на которую он наносится, в т.ч. определяемое фазовым составом этой поверхности. А в случае многокомпонентной системы распыления вариативность получаемых результатов возрастает во много раз. В то же время формирование новых материалов со сложной структурой способствует многофункциональности производимых из них изделий.

В [1-2] было указано, что (110) является наиболее низкоэнергетической решеткой для ОЦК материалов (α -Ta) и провоцирует формирование на себе такой же структуры. Являясь зоной зарождения новой поверхности, поверхность подложки задает характер формирования ее структуры. Было показано, что на аморфных углеродсодержащих или оксидных поверхностях (естественное состояние титана и кремния в кислородной атмосфере или стекла) формируется бета тантал, а, например, на титане без естественного оксида или TaN формируется альфа [1-5].

Данная работа была направлена на исследование закономерности формирования мультислоев титана и тантала при использовании магнетронного распыления и ионной бомбардировки в зависимости от варьируемых технологических параметров, а также определение характеристик полученных материалов.

В качестве основы (подложки) формируемых композиционных материалов использовали стеклянные пластины. Для очистки, активации и полировки поверхности подложки и промежуточной композиции проводилась бомбардировка ионами аргона с параметрами разряда $U_e = 900-1200$ В, $I_e = 70-150$ мА – предварительное ионное травление. С целью определения влияния подлежащей поверхности на структуру формируемого слоя было проведено предварительное ионное травление с увеличением времени и мощности облучения.

В качестве материала поверхностного слоя использовали химически чистый титан и тантал. Поверхностные слои тантала формировали на ранее осажденном слое титана, полученном в тех же условиях на стеклянной пластинчатой подложке после ультразвуковой очистки в спирте, дистиллированной воде и сушки.

Создание металлических композиционных материалов проводилось путем формирования поверхностных слоев с помощью магнетрона на постоянном токе (~ 865 мА) при напряжении ~ 400 В в газовой среде аргона при рабочем и остаточном давлении $\sim 0,4$ и 4×10^{-4} Па, соответственно, в течение времени распыления 30 мин при дистанции напыления 250 мм. Точки анализа на поверхности образца, обращенной к распыляемому потоку, располагались в произвольном порядке так, чтобы были охвачены и середина, и края формируемой плоскости. Температура на поверхности подложек не превышала 150°C .

Морфологию и послойный элементный состав поверхности материалов исследовали на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) TESCAN VEGA II SBU, снабженном приставкой для энергодисперсионного анализа INCA Energy, электронном Оже-спектрометре JAMP-9500F фирмы JEOL в сочетании с ионным травлением при бомбардировке аргоном под углом 30° и атомно-эмиссионном спектрометре тлеющего разряда GDS 850A с высокочастотным источником переменного тока. Регистрация рентгенодифракционных спектров образцов покрытий проведена на рентгеновском дифрактометре “UltimaIV” фирмы “Rigaku” (Япония) с вертикальным гониометром и высокоскоростным полупроводниковым детектором “D/teX” в $\text{CuK}\alpha$ - излучении по методу Брегга - Брентано, а также методом косой съемки с фиксированным углом поворота рентгеновской трубки. Фазовый анализ образцов покрытий выполнен в программном комплексе PDXL с использованием базы данных ICDD.

В работе были исследованы закономерности формирования мультислоев титана и тантала при использовании магнетронного распыления и ионной бомбардировки в зависимости от варьируемых технологических параметров. Металлические композиционные материалы имели многослойную структуру «оксидный слой – поверхностный слой из осаждаемого вещества 1 – переходный слой, содержащий оба осаждаемых элемента – подслой из осаждаемого вещества 2 – переходный слой, содержащий элементы и подслоя, и основы – основа». Морфология поверхности при малых дозах облучения в ходе предварительного ионного травления соответствовала морфологии поверхности подложки. При большой длительности/энергии ионной бомбардировки наблюдалась тонкая поверхностная структура в виде точечных углублений, сглаживаемая осаждаемым сверху слоем, а также увеличивалась протяженность слоя и его кристалличность.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-08-00642 А.

Литература

1. Navid A.A., Hodge A.M. Nanostructured alpha and beta tantalum formation—Relationship between plasma parameters and microstructure // *Materials Science and Engineering A*, 2012. - Vol. 536. – P. 49– 56.
2. Navid A.A., Hodge A.M. Controllable residual stresses in sputtered nanostructured al-
phatantalum // *Scripta Materialia*, 2010. - Vol. 63. – P. 867–870.
3. Bernoulli D., Müller U., Schwarzenberger M., Hauert R., Spolenak R. Magnetron sputter deposited tantalum and tantalum nitride thin films: An analysis of phase, hardness and composition // *Thin Solid Films*, 2013. - Vol. 548. – P. 157–161.
4. Zhou Y.M., Xie Z., Ma Y.Z., Xia F.J., Feng S.L. Growth and characterization of Ta/Ti bi-layer films on glass and Si (1 1 1) substrates by direct current magnetron sputtering // *Applied Surface Science*, 2012. - Vol. 258. – P. 7314– 7321.
5. Myers S., Lin J., Martins Souza R., Sproul W.D., Moore J.J. The β to α phase transition of tantalum coatings deposited by modulated pulsed power magnetron sputtering // *Surface & Coatings Technology*, 2013. - Vol. 214. – P. 38–45.