

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ*

Ю.Ф. Иванов¹, Н.Н. Коваль¹, Ю.Х. Ахмадеев¹, В.В. Углов², В.В. Шугуров¹,
Е.А. Петрикова¹, О.В. Крысина¹, Н.А. Прокопенко¹, И.И. Ажажа³

¹ *Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия*

² *Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь*

³ *Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия*

Рассмотрен метод формирования пленки высокоэнтропийных сплавов (ВЭС), заключающийся в ее осаждении на подложку в вакууме из многокомпонентной газо-металлической плазмы, созданной одновременным независимым вакуумно-дуговым испарением катодов выбранных элементов в режиме с плазменным ассистированием. Показано, что варьирование тока разряда электродуговых испарителей позволяет в широких пределах изменять элементный состав пленок ВЭС. Установлено, что сформированные пленки являются однофазными материалами, имеющими объемноцентрированную кристаллическую решетку, параметр которой изменяется в пределах от 0.31661 до 0.31959 нм и закономерным образом зависит от концентрации элементов в сплаве. Формируемые пленки ВЭС имеют нанокристаллическую структуру, области когерентного рассеивания которой изменяются в пределах от 15.1 до 25.2 нм. Микротвердость пленок зависит от концентрации химических элементов и изменяется в пределах от 13.0 до 15.0 ГПа.

Ключевые слова: высокоэнтропийные сплавы, ВЭС-пленки, вакуумно-дуговой плазменно-ассистированный метод, напыление, фазовый состав, структура, микротвердость, износостойкость.

Введение

В последние 15–20 лет в связи с демонстрацией необычных свойств особое внимание специалистов привлекают так называемые высокоэнтропийные сплавы (ВЭС), впервые исследованные в работах [1, 2]. Основой ВЭС служат сразу несколько элементов, взятых в количестве не менее пяти с концентрацией каждого в пределах 5–35 ат.%. Высокая энтропия смешения, медленная диффузия, искажение кристаллической решетки и «эффект коктейля» таких сплавов препятствуют образованию интерметаллических соединений, приводя к формированию структур на основе твердых растворов преимущественно с объемноцентрированной (ОЦК) или гранецентрированной (ГЦК) кристаллической решеткой [3–7]. Особое внимание многочисленных исследователей и специалистов привлекают жаропрочные высокоэнтропийные сплавы для работы в экстремальных условиях. В работе [8] исследован ВЭС эквиатомного состава NbMoCrTiAl. Показано, что предел текучести данного сплава при температуре 1200 °С достигает 105 МПа, максимальная прочность 116 МПа, деформация разрушения > 24%. Плотность сплава 6.17 г/см³, что ниже, чем у других жаропрочных ВЭС, таких как VNbMoTaW (12.36 г/см³) [9], HfNbTaTiZr (9.94 г/см³) [10], MoNbHfZrTi (8.64 г/см³) [11], CrNbTiVZr (6.57 г/см³) [12] и т.д. На основании проделанного анализа, в работе [13] показано, что основными недостатками ВЭС из тугоплавких элементов являются высокая удельная масса и хрупкость. Одним из перспективных путей улучшения пластических свойств жаропрочных ВЭС без потери их прочности является, как показано в работах [14–17], наноструктурирование материала, а широко развиваемые в последние годы методы синхротронного и нейтронного исследования тонких пленок, в дополнение к рентгеновским исследованиям, позволяют выявить более полную картину и уточнить фазовый состав и параметры кристаллической структуры получаемых пленок [18–21].

Цель данной работы – разработка метода и выявление закономерностей формирования структуры и свойств наноструктурированных пленок высокоэнтропийных сплавов состава AlTiCrNbMo, сформированных на поверхности подложки вакуумно-дуговым плазменно-ассистированным методом осаждения, для возможности последующего исследования с помощью синхротронного излучения, в том числе в процессе синтеза тонких пленок.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования (проект № 075-15-2021-1348) в рамках мероприятий № 1.1.6, 1.1.18 и 1.1.22.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>