

# СВОЙСТВА ПЛЕНОК, ПОЛУЧЕННЫХ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО V-Cr-Cu-Ni-Co-Fe-Al СПЛАВА В УСЛОВИЯХ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ

**Шагинян Л.Р., Горбань В.Ф., Крапивка Н.А., Копылов И.Ф., Верещака В.М., Карпец М.В.,**

Институт Проблем Материаловедения НАН Украины 03680, Киев – 142, ул. Кржижановского 3, [lrshag@ipms.kiev.ua](mailto:lrshag@ipms.kiev.ua)

Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) – новый класс сплавов, отличающихся от обычных: (1) многоэлементным составом, содержащим не менее пяти элементов, (2) концентрация  $n$  каждого из которых лежит в пределах  $35 > n > 5$  at%. Твердые растворы, в которых отсутствует лидирующий по концентрации элемент, имеют тенденцию к большей стабильности при повышенной температуре благодаря тому, что энтропия смеси выше, чем у отдельных ее элементов. Такие особенности обеспечивают привлекательные физические свойства этому классу сплавов, склонных к формированию простых ОЦК, ГЦК и ГЦК+ОЦК фаз, легко образующих наноразмерные включения и аморфные фазы и обладающих высокими термостабильностью, коррозионной стойкостью и твердостью. Эти свойства обеспечивают ВЭС хорошие перспективы для применения в различных областях техники.

Основной формой любого материала в современном производстве являются покрытия и пленки. Их получают высокоскоростными плазменными технологиями, в частности, с помощью магнетронного распыления (МР). Способность наносить покрытие/пленку состава, эквивалентного исходному присуща МР. Такая его особенность весьма благоприятна для получения пленок ВЭС.

Нами были получены пленки ВЭС эквивалентного состава путем распыления AlFeCoNi-CuCrV мишени в среде Ar с давлением  $\sim 0.3$  Pa. Сама мишень была получена методом аргонодуговой плавки. Пленки толщиной 1.5-7.0  $\mu\text{m}$  осаждали на полированные пластины монокристаллов Si со скоростью  $\sim 0.6$ -2.2 nm/s, зависившей от тока разряда,  $I_d$  и ионной бомбардировки (ИБ). Перед осаждением подложки подвергали ионной очистке (напряжение на подложке  $U_b = -600$  V, плотность ионного тока  $j \sim 1$ -1.5 mA/cm<sup>2</sup>). После чего устанавливали нужный

ток разряда ( $I_d = 0.2$ –0.5 A), от которого зависело напряжение разряда ( $U_d = 300$ –450 V), и открывали заслонку.

Состав пленок исследовали с помощью микрорентгеноспектрального анализа, структуру – методами рентгеноструктурного анализа и электронографии, а также сканирующей и атомно-силовой микроскопии.

Все пленки были нанокристаллическими, текстурированными и кристаллизовались в двух фазах – ОЦК ( $a = 2.92$  Å) и ГЦК ( $a = 3.65$  Å). Последние от технологических параметров не зависели. В то же время, мы установили, что ИБ ( $U_b = 0$ – -200 V) заметно снижает скорость роста пленок и вызывает изменения их состава и микроструктуры. Состав пленок, полученных без ИБ, близок к составу мишени. Но он неуклонно изменяется с ростом энергии ионов, и пленки, выращенные при максимальной энергии ( $U_b = -200$  V), сильно обеднены Al, Cu и Ni. Также наблюдаются изменения и в микроструктуре пленок. Размеры субструктурных элементов (“зерна” из которых состоит объем и поверхность пленки, в свою очередь сформированные из кристаллитов) уменьшаются с увеличением  $U_b$ . Микротвердость наших пленок по сравнению с пленками других ВЭС исключительно высока и возрастает от  $\sim 14$  GPa ( $U_b = 0$  V) до  $\sim 19.0$  GPa ( $U_b = -200$  V).

Таким образом, было установлено, что все исследованные свойства AlFeCoNiCuCrV пленок сильно зависят от энергии ионов, бомбардирующих их при осаждении. Предполагается, что причиной изменения состава есть распыление мишени/пленки частично в виде кластеров типа V-Co, Al-Ni. Структурные изменения происходят в соответствии с известными механизмами влияния ИБ. Изменение же микротвердости пленок есть следствие изменения их состава и структуры под воздействием ИБ.