

# ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗОВО-СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ TiN-MoN МНОГОСЛОЙНЫХ ВАКУУМНО ДУГОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Андреев, А.А. Соболев О.В.<sup>(1)</sup>, Столбовой В.А., Киданова Н.В.<sup>(1)</sup>

Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»

г. Харьков, Украина, e-mail: [aandreev@kipt.kharkov.ua](mailto:aandreev@kipt.kharkov.ua)

<sup>(1)</sup>Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина, e-mail: [sool@kpi.kharkov.ua](mailto:sool@kpi.kharkov.ua)

Многослойные двухфазные наноструктурные покрытия TiN-MoN осаждали в модернизированной вакуумно-дуговой установке «Булат-б». При толщине слоя TiN около 2 нм и потенциале подложки -40 В вследствие предполагаемого эпитаксиального роста слоев рентгенофазовый анализ показывает содержание только одной фазы с кубической ГЦК решеткой (структурный тип NaCl), что характерно при низкой температуре для TiN. При этом чередование металлических Ti и Mo испарителей при распылении в азотной среде должно приводить к TiN и MoN послойному формированию с отношением толщин близким к атомному соотношению металлических атомов, которое по данным элементного анализа соответствует соотношению Ti/Mo равному 60/40. Отсутствие выявляемости при этом межфазной границы свидетельствует об эпитаксиальном росте тонких слоев в этом случае, период решетки которых определяется более сильными связями в слое нитрида титана. Период Mo<sub>2</sub>N кубической решетки составляет 0,419 нм т.е. меньший, чем TiN, что способствует при эпитаксиальном росте релаксации напряжений сжатия в TiN слоях и сопровождается уменьшением периода в ненапряженном сечении до 0,4248 нм. При потенциале подложки -230 В рентгенофазовый анализ показывает образование двухфазного материала с однотипной кристаллической решеткой (ГЦК типа NaCl) TiN и высокотемпературной  $\gamma$ -Mo<sub>2</sub>N фаз с соотношением фаз TiN / Mo<sub>2</sub>N равным 90/10. Причиной появления двухфазного состояния в этом случае является интенсивная ионная бомбардировка, которая способствует измельчению зерен и началу образования межфазных границ. При этом образование в качестве отдельных слоев Mo<sub>2</sub>N с кубической решеткой, и соответственно образование межфазной границы приводит к росту напряжений в TiN фазе и увеличению периода в ненапряженном сечении. Отметим, что с увеличением потенциала подложки происходит

изменение оси текстуры формируемого покрытия от [100] к [111], что сопровождается повышением твердости. Образцы с наиболее толстыми чередующимися TiN и Mo<sub>2</sub>N слоями по 20 нм, также являются двухфазными, однако объемное содержание фазы нитрида молибдена до отжига (20 %) несколько ниже в сравнении с данными, ожидаемыми по результатам элементного рентгенфлуоресцентного анализа (30 %). В тоже время после отжига объемное содержание фаз достаточно точно соответствует ожидаемому по данным элементного анализа 70 % TiN – 30 % Mo<sub>2</sub>N.

Таким образом, в работе проведены исследования влияния толщины слоев и условий получения на фазовый состав, структуру и механические характеристики (твердость и модуль упругости) вакуумно-дуговых многослойных наноструктурных покрытий TiN-Mo<sub>2</sub>N. При малой толщине слоев ( $\approx 2$  нм) возможен эпитаксиальный рост изоструктурных кубических модификаций нитрида титана и нитрида молибдена без образования двухфазного состояния. При большей толщине происходит формирование двухфазного материала, где в качестве второй фазы выступает изоструктурный к нитриду титана высокотемпературный нитрид молибдена  $\gamma$ -Mo<sub>2</sub>N с кубической решеткой. Увеличение толщины слоев от 2 до 20 нм повышает термическую стабильность механических свойств таких покрытий к высокотемпературным (800 °C) отжигам. Для всего интервала толщин слоев 2 ÷ 20 нм высокотемпературные отжиги не приводят к изменению фазового состава покрытий, оставляя нитрид молибдена в метастабильном  $\gamma$ -Mo<sub>2</sub>N состоянии с кубической решеткой. Причиной стимулирования при осаждении и стабилизации при отжиге  $\gamma$ -Mo<sub>2</sub>N состояния является влияние второй составляющей многослойной системы – нитрида титана который имеет высокую энергию связи между металлическими и азотными атомами и соответствующий  $\gamma$ -Mo<sub>2</sub>N тип кристаллической решетки..