

ДАРМИН К.А., СОБОЛЬ О.В., докт. физ.-мат. наук

## **СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ZR-N ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ВАКУУМНО-ДУГОВЫМ МЕТОДОМ**

Вакуумно-дуговой метод получения покрытий различного назначения в последние несколько десятилетий получил широкое распространение. Уникальные возможности метода обусловлены спецификой используемой в нем вакуумной дуги как основного технологического инструмента. Среди различных ионно-плазменных методик вакуумно-дуговой является одним из наиболее универсальных процессов благодаря высокой степени ионизации потока пленкообразующих частиц и хороших адгезионных свойств покрытий к подложкам.

Вакуумно-дуговой разряд в парах материала, из которого изготовлен катод, генерирует потоки высокоионизованной плазмы с энергией ионов в десятки электронвольт. Плазма эмитируется катодным пятном микронных размеров, в котором развивается температура, достаточная для испарения и обращения в плазму любых металлов, в том числе и тугоплавких. При контакте потока с охлаждаемой подложкой на ее поверхности конденсируется слой катодного материала. Толщина этого слоя (пленки, покрытия) пропорциональна плотности ионного потока на подложку и времени экспозиции. Вакуумно-дуговые источники плазмы позволяют получать покрытия из чистых металлов и сплавов, осуществлять плазмохимический синтез простых и сложных соединений, и формировать сложные комбинированные покрытия.

В работе использована новая технологическая схема получения покрытий из потоков металлической плазмы с применением импульсного ВЧ генератора. Затухающие ВЧ колебания в течение одного импульса создают условия для очистки (бомбардировки) обрабатываемой поверхности энергетическими ионами в начале импульса, а затем и осаждения их на поверхность при соответствующей в течение импульса величине спадающего напряжения.

Проведено сравнение структуры конденсатов нитрида циркония, полученной по обычной вакуумно-дуговой и ВЧ-модифицированной схеме, описанной выше. В последнем случае потенциал смещения подавался на подложку от ВЧ генератора, который генерировал импульсы затухающих колебаний с частотой  $< 1$  МГц, длительность каждого импульса  $\sim 60$  мкс, с частотой повторений  $\sim 10$  кГц. Величина отрицательного автосмещения потенциала на подложке, благодаря ВЧ диодному эффекту, составляла 2...3 кВ в начале импульса (после срабатывания разрядника) и снижается до 100 В в конце импульса (перед срабатыванием разрядника).

На рисунке 1 приведена типичная дифракционная кривая конденсата нитрида циркония, характерная, как для получения по стандартной, так и по

ВЧ схемах. Видно, что единственной кристаллической фазой выявляемой в этом случае является нитрид циркония с кубической решеткой типа NaCl (ZrN, JC PDS 35-0753).

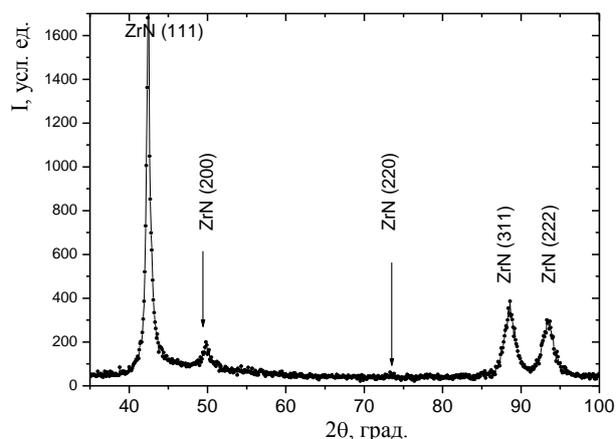


Рис.1. Участок дифракционного спектра конденсата нитрида циркония, осажденного вакуумно-дуговым методом с ВЧ стимуляцией (излучение Fe-K $\alpha$ )

Изменение соотношения интенсивностей рефлексов по сравнению с табличными значениями при стандартной схеме вакуумно-дугового получения конденсатов выражается в увеличении относительной интенсивности кратных отражений от плоскости (111). По данным наноиндентирования твердость такого типа покрытия составляет в среднем 29 ГПа при величине модуля упругости  $E = 395$  ГПа.

При аналогичном дифракционном спектре (рис.1), осаждение при ВЧ-разряде приводит к более высокой твердости 32 ГПа. Фазовый состав покрытий в обоих случаях подобен. Отличие этих покрытий, проявлялось при изучении структурного состояния кристаллитов нитрида циркония (табл. 1)

Таблица 1 – Структурные характеристики конденсатов нитрида циркония

Схем а получ ения	$\Delta\psi$ , рад иан	L, нм	$\langle \epsilon \rangle$ , >, %	$\epsilon_{сж}$ , , %	$\sigma$ , ГПа	$a_0$ , нм
ВЧ	0,6 1	25	0,3 5	- 1,0	- 3,25	0,4 599
станд арт	0,4 7	60	0,7 5	- 1,2	- 3,8	0,4 582

Таким образом, из полученных результатов следует:

1. Конденсаты, полученные реактивным распылением циркония, являются однофазными, состоящими из кристаллитов ZrN-фазы с кубической решеткой.

2. Изменение режимов осаждения от стандартного до HF приводят к изменению на субструктурном уровне формируемых кристаллитов, при этом

твердость конденсатов повышается при уменьшении размеров кристаллитов до 25 nm и понижении микродеформации.