

СИНТЕЗ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛ-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ

Углов В.В.

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Аморфный гидрированный (гидрогенизированный) углерод а-С:H является материалом, обладающим такими уникальными свойствами как оптическая прозрачность в видимом и ИК диапазонах, химическая и радиационная стойкость, высокое электрическое сопротивление и износоустойчивость. Указанные характеристики материала проявляются благодаря особенностям строения его структуры, содержащей наноразмерные блоки (нанокластеры) двух основных аллотропных модификаций углерода-графита и алмаза. Вводя в материал легирующие добавки, можно существенным образом модифицировать наноструктуру и тем самым варьировать электрофизические и спектральные свойства а-С:H.

Методом совмещения плазмо-усиленного химического вакуумного осаждения углеродной составляющей из газовой смеси Ar-CH₄, Ar-C₂H₂ и физического распыления металлической (Cu, Ni) мишени сформированы металл-углеродные композиты. Методом Резерфордского обратного рассеяния выявлены особенности изменения содержания углерода в зависимости от металлической составляющей. Показано, что одновременное использование Ar-CH₄ газовой смеси и медной мишени даёт возможность формировать медно-углеродные нанокompозиты, изменение углерода в которых происходит нелинейным образом. В случае исследования элементного состава никель-углеродных (Ni/a-С:H) композитов имеет место линейная закономерность изменения концентрации углерода и никеля в зависимости от содержания CH₄ и C₂H₂ в смеси реакционных газов.

Методом просвечивающей электронной микроскопии установлена закономерность изменения структуры, заключающаяся в трансформации столбчатой структуры с латеральным размером 30 нм в аморфную при увеличении концентрации углерода выше 35 ат.%, что согласуется с размерами кристаллитов карбида никеля Ni₃C, определенных из рентгеновских дифракционных спектров и картин микродифракции.

Установлена особенность структурно-фазового состояния медно-углеродных Cu/a-С:H нанокompозитов, заключающаяся в формировании сферических включений меди со средним размером 10 нм, внедрённых в аморфную углеродную матрицу. Предложена кинетическая модель формирования наночастиц меди в плазменном магнетронном реакторе, учитывающая как диффузионные процессы, так и испарение атомов с поверхности частицы, которая позволяет определить средний размер медных кластеров, образующихся в результате реакций синтеза в плазме.

Показано, что при формировании в Ar-C₂H₂ газовой смеси медно-углеродных композитов с концентрацией углерода до 30 ат. % происходит осаждение композитных плёнок с мягкой полимероподобной а-С:H матрицей, имеющей твёрдость 2,5 ГПа. Установлено, что в интервале концентрации углерода от 30 до 70 ат. % происходит переход к осаждению композитных плёнок с более твёрдой матрицей. При этом увеличение нанотвёрдости плёнок составляет более 2 раз, что вызвано структурными изменениями и ростом внутренних механических напряжений в композитной плёнке.

Выявлены оптимальные концентрации углерода, обеспечивающие наилучшие эксплуатационные характеристики металл (Cu,Ni)-углеродных композитов. Показано, что максимальная износостойкость наблюдается для плёнок с концентрацией углерода 20-30 ат.%, при этом начальный коэффициент трения плёнок уменьшается в 1,5 раза, а износостойкость увеличивается более чем в 2 раза.