

7. *На кремнеземистых связках*, образующиеся при обжиге карбидокремниевых заготовок в окислительной атмосфере или при совместном спекании SiC и кремнезема.

8. *На глиноземистых связках*, получаемые в результате обжига заготовок, отформованных из смесей карбида кремния с огнеупорными глинами, шамотом, муллитом или корундом.

9. *На нитридокремниевой или нитридоалюминиевой связках*, формирующиеся в результате азотирования в процессе спекания свободного кремния или алюминия, вводимых в исходную шихту вместе с карбидом кремния.

Многообразие перечисленных выше типов материалов на основе SiC говорит о широких возможностях различных методов порошковой металлургии, керамической технологии и химии высоких температур, с помощью которых возможен синтез различных структурных состояний, оптимизированных применительно к определенным и зачастую чрезвычайно жестким условиям эксплуатации.

УДК 621

Колесникович А.И.

## **ВАКУУМНОЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЕ НАНЕСЕНИЕ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ**

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель: Комаровская В.М.*

Наноструктурные защитные покрытия, осаждаемые на поверхности узлов и механизмов, значительно увеличивают ресурс их работы. По этой причине разработка технологического оборудования для нанесения таких покрытий представляется актуальной задачей.

Интерес к наноструктурным пленкам с размерами кристаллов менее 100 нм связан с их высокими коррозионной, износостойкостью, улучшенными антифрикционными

характеристиками. Нанесение таких защитных покрытий на обрабатывающие инструменты и детали машин значительно увеличивает их срок службы. Подобные материалы перспективны также для создания биосовместимых покрытий на имплантах, формирования функциональных покрытий различного назначения, в том числе оптических. Для нанесения твердых износостойких покрытий, таких как TiN, CrN, TiAlN, TiC, используется химическое осаждение из газовой фазы – CVD и физическое осаждение из паров или плазмы – PVD. Для CVD-метода осаждения пленок требуется высокая температура, что не всегда приемлемо вследствие невысокой стабильности ряда получаемых структур или обрабатываемых материалов. В случае создания многокомпонентных наноструктурных покрытий PVD-метод универсальнее, поскольку можно получать более широкий спектр покрытий (нитриды, карбиды, бориды металлов) и процесс осаждения покрытий может быть выполнен при более низкой, чем в CVD-процессе, температуре подложек. Ионно-плазменные методы включают в себя магнетронное распыление, вакуумно-дуговое и термическое испарение. Последний из перечисленных методов используется достаточно редко, поскольку температура осаждающихся частиц в них относительно низкая. В результате формируемые покрытия могут иметь меньшую плотность, низкую адгезию и высокий уровень шероховатости. Переход от микро- к наноструктурным покрытиям позволит существенно улучшить их свойства, поскольку: а) происходит изменение свойств самого кристаллического образования; б) возникает разветвленная структура границ раздела нанокристаллов внутри пленки. Так как в нанокристаллах количество находящихся внутри структуры атомов соизмеримо с их числом на поверхности, то в ней отсутствуют дислокации и внутренние напряжения. Кроме того, расстояние между нанокристаллами соответствует размеру нескольких монослоев, в результате чего между ними

проявляются эффекты квантового взаимодействия. Нанокompозитные покрытия (nc-TiN/a-BN, nc-TiAlN/a-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), состоящие из нанокристаллов, находящихся внутри аморфной (BN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) или металлической (Cu, Ni) матриц, обладают высокой твердостью и износостойкостью. Размер сверхтвердых нанокристаллов в ячейках матрицы 3–10 нм. Структурно защитные пленки могут быть одно-, двух- (износостойкий внутренний и антифрикционный наружный слои), многослойные, градиентные, причем в покрытиях последнего типа наблюдается плавный переход элементного состава от внутренней поверхности пленки к внешней.

В промышленности главное назначение защитных покрытий – улучшение рабочих характеристик деталей, увеличение их срока службы, снижение затрат на производство. Вместе с тем их внутренняя структура не является определяющим фактором, если улучшены поверхностные свойства деталей. Во многих лабораториях установлено, что наноструктурные покрытия демонстрируют уникальные поверхностные защитные свойства. Экспериментально найдено несколько методов создания наноструктурных покрытий, основанных на ограничении роста кристаллов на наноуровне в процессе формирования пленки. Одним из таких способов является ввод легирующих элементов в состав покрытия. В процессе нанесения покрытия легирующие атомы не только ограничивают рост уже существующих зерен, но и стимулируют зарождение новых. Такие атомы и химические соединения вытесняются на поверхность нанокристалла, препятствуя его дальнейшему росту. Следует отметить, что легирующий элемент (Si) может входить в материал катода плазменных источников в виде соединений Ti–Al–Si и Ti–Si. 2. Второй способ – это нанесение многослойных покрытий с различным химическим составом слоев, имеющих толщину до 100 нм. 3. Третий способ – влияние условий на структуру защитной пленки, при которых происходит осаждение атомов и молекул, в частности,

температура подложки, бомбардировка растущей пленки ионами, ускоренными из плазмы до энергий 30–200 эВ. Когда к подложке приложено отрицательное электрическое смещение, ионы передают энергию атомам растущей пленки, увеличивая тем самым их подвижность, что способствует более эффективному протеканию на поверхности диффузионных процессов.

На рисунке 1 показана универсальная вакуумная установка, позволяющая реализовать три наиболее известных метода создания наноструктурных покрытий. В центре вакуумной камеры (цилиндрической или прямоугольной) расположен планетарный механизм, а по ее периметру установлены магнетронные или дуговые источники плазмы. Для предварительной очистки и активации поверхности подложек камера оснащается ионным источником и нагревательным элементом.

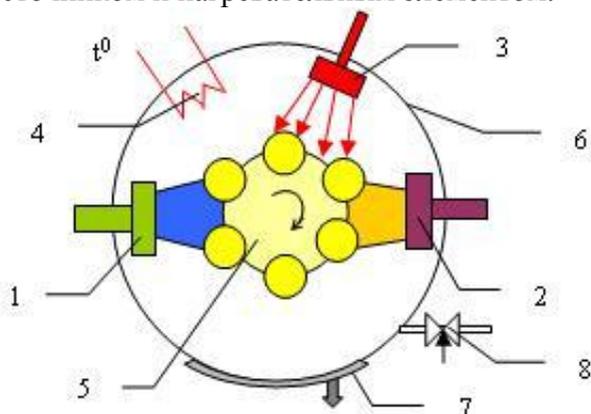


Рисунок 1 – Универсальная вакуумная установка

При равномерном нагреве вращающихся деталей происходит испарение воды и углеводородных соединений и увеличение подвижности поверхностных атомов и молекул. Для очистки поверхности от оксидной пленки и других относительно термостабильных загрязнений проводится ее обработка выходящим из ионного источника пучком ионов с энергией

1–1,5 кэВ, причем предварительная обработка поверхности в вакууме значительно улучшает адгезию защитной пленки. Такая установка используется в промышленном производстве для нанесения различных видов покрытий: износостойких на металлообрабатывающий инструмент, декоративных, функциональных, оптических. Самый простой метод получения наноструктурных покрытий с улучшенными свойствами состоит в использовании катодов плазменных источниках, в материал которых входят легирующие добавки, препятствующие росту кристаллов (Ti-Al-Si, Ti-Si), причем многокомпонентные катоды изготавливают, как правило, горячим прессованием порошков или методом высокотемпературного синтеза. Многослойные покрытия с толщиной слоев 10–100 нм получают в результате многократного прохождения подложки вблизи плазменного источника при вращении карусельного механизма. Для создания таких покрытий частота вращения карусельного механизма выбирается в зависимости от скорости напыления. В оснащенной магнетроном вакуумной установке со скоростью напыления 2 нм/с (7,2 мкм/ч) и шириной зоны напыления 10 см на цилиндрическом барабане диаметром 30 см для нанесения слоя толщиной 10 нм период вращения барабана должен составлять 45 с. Толщина одного слоя регулируется частотой вращения карусельного механизма и скоростью напыления, зависящей от электрической мощности магнетрона. При увеличении расстояния от катода до подложки возрастает ширина зоны напыления. Оптимальное расстояние между магнетроном и подложкой – 40–60 мм, причем использование карусельно-планетарного механизма вращения позволяет получать однородные покрытия на всей поверхности обрабатываемых деталей и уменьшать их нагрев. Если на подложку подается отрицательное электрическое смещение 30–100 В, то осаждение покрытия будет сопровождаться ионной бомбардировкой, а при большой энергии бомбардирующих

ионов (~1 кэВ) распыление преобладает над процессом осаждения. В целом следует подчеркнуть, что метод создания наноструктурных покрытий во многом похож на промышленную технологию магнетронного и дугового нанесения твердых покрытий в вакууме. Вследствие более высокой энергии осаждающихся частиц для генерации плазмы лучше всего подходят распылительные магнетроны и вакуумно-дуговые испарители, причем для получения наноструктурных покрытий перспективны: катоды с легирующими добавками; вращение подложек (создание многослойных покрытий с толщиной слоев менее 100 нм).

УДК 661.94

Коняхович Д.Г.

## **ВАКУУМНАЯ СТЕРИЛИЗАЦИЯ В МЕДИЦИНЕ**

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель: Бабук В.В.*

Стерилизация – это метод, обеспечивающий гибель в стерилизуемом материале вегетативных, споровых патогенных и непатогенных микроорганизмов. С помощью стерилизации, независимо от способа применения, достигают полного обеспложивания, что практически означает отсутствие признаков жизни на стерилизуемом объекте. Стерилизации должны подвергаться изделия, соприкасающиеся с раневой поверхностью, контактирующие с кровью или инъекционными препаратами и отдельные виды медицинских инструментов, которые в процессе эксплуатации соприкасаются со слизистыми и могут вызвать ее повреждение.

Один из самых распространенных методов вакуумной стерилизации-паровой метод. Он представляет собой стерилизацию насыщенным водяным паром под давлением 0,05 МПа (0,5 кгс/см<sup>2</sup>) – 0,21 МПа (2,1 кгс/см<sup>2</sup>) (1,1–2,0 бар) температурой