

Нанесение покрытий с использованием несбалансированных магнетронов.

Схема процесса нанесения покрытий методом магнетронного распыления с использованием **несбалансированных магнетронов (НМ)** показана на рис.1.

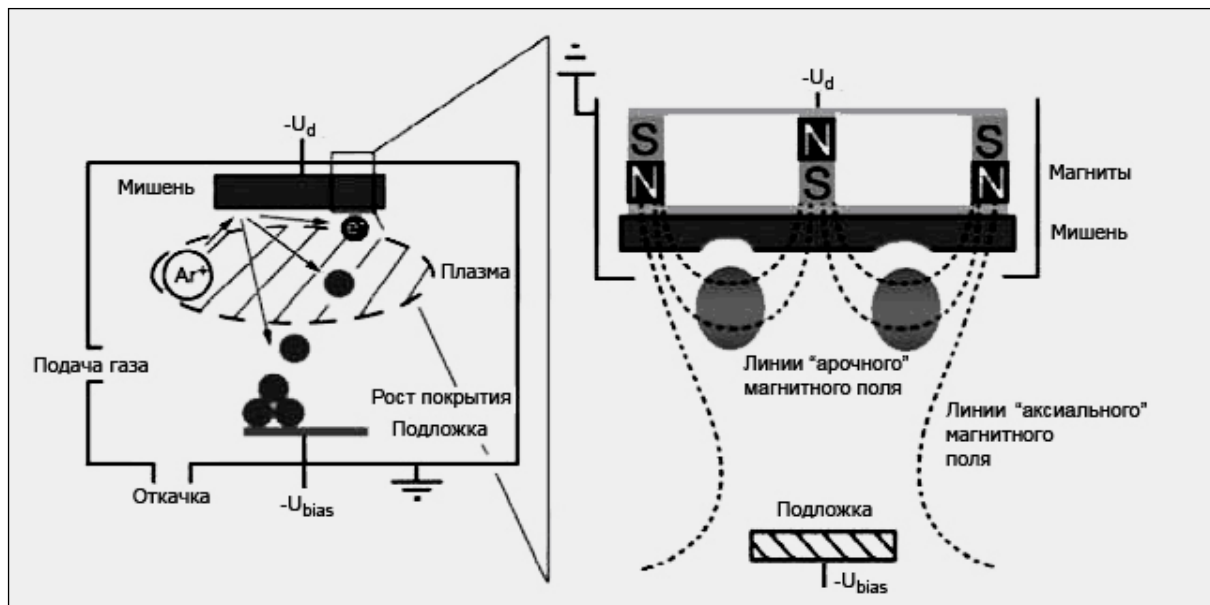


Рис.1. Схема процесса нанесения покрытий методом магнетронного распыления (слева); схема несбалансированного магнетрона (справа).

Несбалансированным называется магнетрон, который наряду с основным «арочным» магнитным полем, сформированным над поверхностью мишени, имеет дополнительное «аксиальное» магнитное поле, оттекающее от мишени к подложке.

При подаче на мишень магнетрона отрицательного потенциала $-U_d$ над ее поверхностью зажигается аномальный тлеющий разряд. Электроны плазмы разряда, двигаясь по циклоиде вдоль силовых линий «арочного» магнитного поля, ионизируют рабочий газ – аргон (Ar). Ионы Ar^+ , ускоряясь в прикатодном электрическом поле мишени, бомбардируют ее поверхность. Происходит процесс распыления мишени, в результате которого с ее поверхности вылетают металлические атомы, соответствующие материалу мишени (например, Ti , Al , Cr и др.) со средней энергией 10-20 эВ, и дополнительные вторичные электроны. Металлические атомы перемещаются к поверхности подложки, на которой происходит их послойное осаждение и, тем самым, формирование покрытия.

Высокоэнергетичные электроны, способные вырваться из магнитной ловушки «арочного» поля, захватываются силовыми линиями «аксиального» магнитного поля и двигаясь по направлению к подложке производят дополнительную ионизацию рабочего газа. Образованные ионы Ar^+

Вакуумные установки НПФ «Элан-Практик»

каналлируются «аксиальным» полем к поверхности подложки. При подаче на подложку отрицательного относительно плазмы потенциала смещения - $U_{bias}=40-100\text{В}$ ионы ускоряются в электрическом поле подложки и осуществляют **низкоэнергетичную бомбардировку** поверхности растущего с энергией $E_{ion}=40-100\text{эВ}$.

Низкоэнергетичная ионная бомбардировка обеспечивает высокую мобильность адсорбированным атомам и контролирует механизм роста покрытия. Ионная бомбардировка может ограничивать рост зерна, управлять размером и кристаллографическая ориентацией зерен, увеличивать плотность покрытия, приводить к уплотнению границ зерен, вызывать образование точечных дефектов и увеличивать внутренние напряжения в покрытии.

Характерным параметром ионной бомбардировки является отношение падающего на подложку потока ионов к потоку осаждаемых атомов $v=j_{ion}/j_{at}$. Высокая степень ионной бомбардировки ($v \sim 10$) является одним из основных условий для осуществления фазовой нано-сегрегации осаждаемых атомов при синтезе **нанокompозитных покрытий** (см., статью «Нанокompозитные покрытия»).

Ведущие мировые производители вакуумных установок используют два основных способа нанесения нанокompозитных покрытий: вакуумно-дуговой и магнетронный. Магнетронный метод с использованием НМ имеет ряд преимуществ, которые позволяют считать его наиболее эффективным промышленным методом получения нанокompозитных покрытий.

В вакуумно-дуговом способе покрытие формируется из высокоионизированной плазмы, получаемой за счет энергии разряда электрической дуги на металлическом катоде. При этом в дуговом разряде наряду с потоком ионов образуются микроскопические капли (частицы) металла, которые входят в состав покрытия, наносимого на поверхность изделия. Такие включения увеличивают шероховатость покрытия, повышают трение, снижают коррозионную стойкость и нарушают нанокompозитную структуру покрытия.

В магнетронном способе ионизированная плазма формируется в результате бомбардировки металлической мишени ионами аргона, при которой микрокапельная фаза не образуется. Покрытие, осаждаемое на изделия, строится исключительно на атомарном уровне, без каких-либо включений микрокапель.

В отличие от вакуумно-дугового испарения магнетронное распыление является гораздо более гибкой и низкотемпературной технологией. Также, оно может быть легко воспроизведено в увеличенном масштабе для промышленного применения. Совместное распыление мишеней различных металлических материалов допускает независимое регулирование каждого источника атомов определенного сорта, посредством изменения удельной

Вакуумные установки НПФ «Элан-Практик»

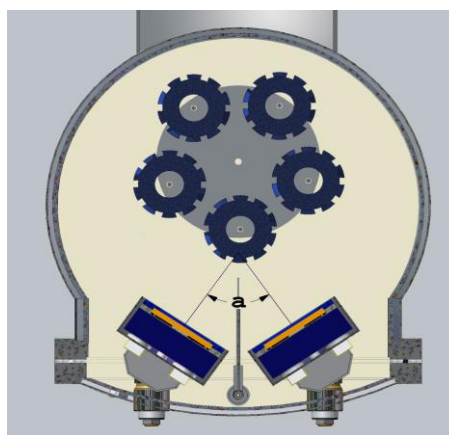
мощности разряда, гарантируя, таким образом, тонкую настройку химической стехиометрии результирующего соединения.

Эти преимущества наиболее ярко проявились в последние годы при использовании дуальных несбалансированных магнетронных распылительных систем - **дуальных НМРС**.

Это системы, состоящие из двух магнетронов, устанавливаемых рядом под некоторым углом друг к другу (рис.2).

Магнетроны оснащаются мишенями, выполненными из различных материалов, что позволяет формировать сфокусированные на изделии потоки атомов и ионов тех металлов, из которых строится нанокompозитное покрытие.

Рис.2. Схема получения 3D нанокompозитов с использованием дуального НМ.



При подаче на дуальный магнетрон импульсного биполярного напряжения частотой 20-40 кГц

магнетроны системы начинают работать в особом режиме. В первую половину периода в режиме распыления работает один магнетрон, при этом другой магнетрон является для него анодом; во вторую половину периода – наоборот. Такой режим работы магнетронов позволяет получить высокую степень ионизации плазмы, полностью исключить генерацию микрочастиц, которая возможна в обычном магнетронном разряде, уменьшить степень отравления мишени при работе в реактивном режиме и, тем самым, увеличить скорость нанесения реактивных покрытий. В результате формируется совершенная нанокompозитная структура покрытия с высокой гладкостью поверхности, которая обладает низким коэффициентом трения и обеспечивает высокоэффективную защиту, как от износа, так и от коррозии.

Преимущества магнетронного метода нанесения покрытий с использованием **дуальных НМРС** могут быть суммированы в следующих пунктах:

(1) полное отсутствие микрокапель (микрочастиц) в генерируемой плазме и,

соответственно, в структуре покрытия;

(2) высокая, сравнимая с дуговым методом, скорость нанесения покрытий;

(3) высокая степень ионизации плазмы, обеспечивающая требуемый уровень

ионной бомбардировки для получения высокой поверхностной

Вакуумные установки НПФ «Элан-Практик»

мобильности

осаждаемых атомов, что необходимо для осуществления фазовой нано-сегрегации;

(4) возможность синтеза нанокompозитных структур при относительно низких

температурах (200-300⁰C), по сравнению с дуговым методом (более 500⁰C);

(5) относительная простота масштабирования метода от лабораторных условий до

промышленного применения;

(6) высокая степень контроля и возможность тонкой настройки параметров магнетронного разряда и, соответственно, состава и структуры покрытия.

Для получения 2D нанокompозитов используется оригинальная схема несбалансированных магнетронов НМРС-2D (Рис.3) запатентованная НПФ «Элан-Практик» (патент РФ №2308538).

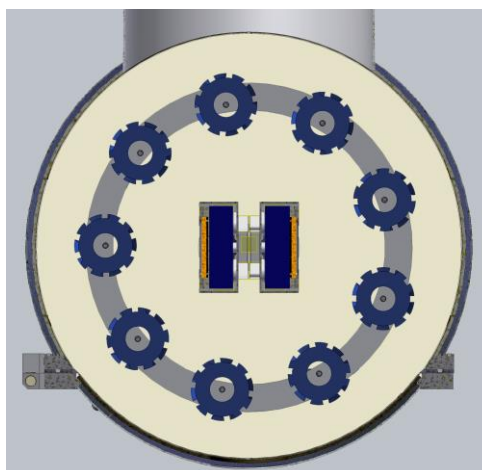


Рис.3. Схема получения 2D нанокompозитов с использованием системы НМРС-2D.

Эта схема позволяет создавать многослойные структуры с тонкими границами при полном отсутствии смесового переходного слоя между нанослоями (Рис.4). При этом условии обеспечивается получение экстремально высоких свойств, присущих данному типу нанокompозитов.

Вакуумные установки НПФ «Элан-Практик»

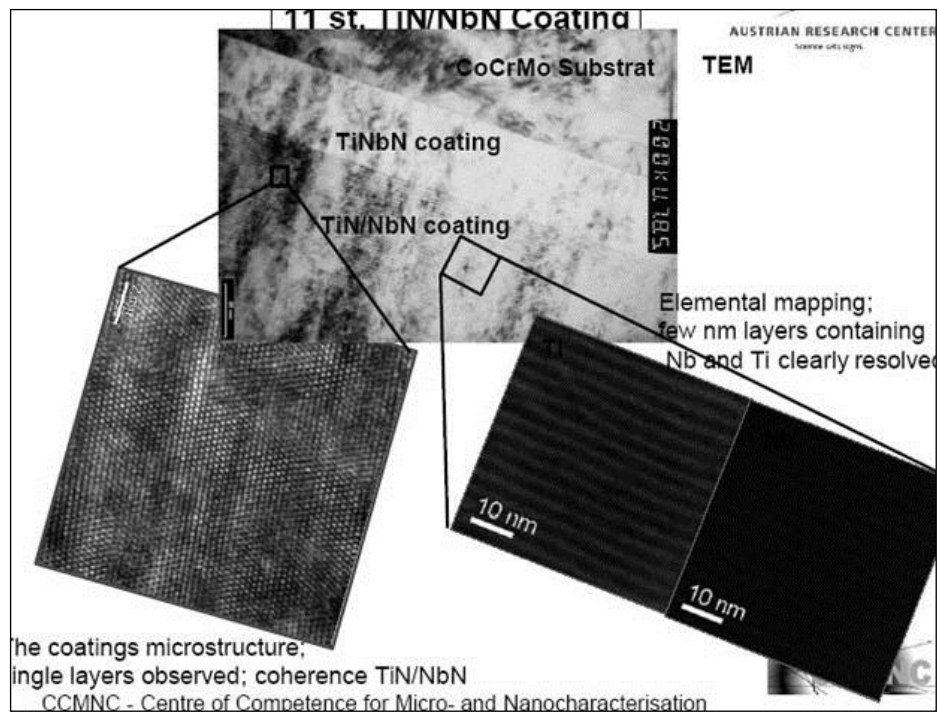


Рис.4. Фотография поперечного сечения 2D нанокompозита TiN/NbN, полученная при помощи просвечивающего электронного микроскопа (TEM).