

Затем плазма разлетается в вакуум. Ее температура, то есть энергия хаотического движения, падает, в то же время вследствие газодинамического и электростатического разгона растет кинетическая энергия ионов. На некотором расстоянии от мишени плотность плазмы уменьшается настолько, что столкновения частиц практически прекращаются, и наступает стадия инерциального разлета. К этому времени формируется диаграмма разлета испаренного вещества, максимум которой совпадает с нормалью к поверхности мишени. Впереди летят самые быстрые ионы, а замыкают движение наиболее медленные частицы — в основном нейтральные атомы. Взаимодействие этого потока с подложкой определяет свойства слоя, сформированного за один лазерный импульс. Так как этот процесс периодически повторяется, на поверхность подложки осаждается тонкая пленка.

Свойства тонких пленок карбида кремния определяются технологическими условиями их получения. В случае лазерной абляции основными технологическими факторами являются: 1 – параметры лазерного излучения (длина волны излучения, длительность импульса излучения, частота следования импульсов и т.д.), 2 – материал используемой подложки и способ ее очистки перед началом процесса осаждения, 3 – характеристики материала мишени (химический состав, политип, плотность), 4 – температура подложки, 5 – уровень вакуума, 6 – геометрический фактор (расстояние мишень – подложка, угол падения лазерного луча на поверхность мишени).

В экспериментальных данных по измерению количества вещества, испаренного лазерным импульсом, имеется значительный разброс. Это характерно даже для результатов, полученных при номинально тех же самых условиях опыта. При сравнении результатов, полученных разными авторами, становится ясно, что количество испаренного вещества в значительной мере зависит от детальных условий проведения эксперимента. Одна из самых значительных неопределенностей, возникающих при сравнении данных различных работ, связана с измерением площади лазерного пучка, а также с различной плотностью материала мишени.

УДК 621.793

### **Алмазоподобные покрытия: получение, свойства и области применения**

Студент гр. 10406112 Мухля А.Д.

Научный руководитель – Жук А.Е.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Эффективность, долговечность, надёжность деталей, узлов машин и приборов в значительной степени определяется не объёмными, а поверхностными свойствами используемых материалов. Нанесение тонкоплёночных покрытий даёт большие возможности по получению необходимых поверхностных свойств изделий. Тонкоплёночное покрытие позволяет изменить химический состав и структуру поверхности, её физические и химические свойства, степень чистоты обработки поверхности и её микрогеометрию. Применение алмазоподобных покрытий, очень эффективно для инструментов, применяемых в обработке алюминия. Практически устраняется проблема прилипания алюминия к инструменту, как следствие, инструмент работает без замены в разы, а то и в десятки раз дольше. Также, применение в пластиковой промышленности, даёт эффект отсутствия прилипания пластика к инструменту покрытого алмазоподобным покрытием. Алмазоподобные пленки можно использовать в автомобилестроении для снижения трения некоторых деталей и в деревообработке, так как многие технологические процессы в этой отрасли связаны с налипанием смол, а данная технология помогает избежать этого.

Области применения покрытий:

- Металлизация углеродных волокон и тканей для композиционных материалов.

- Металлизация порошков алмаза, сбора порошков из других материалов.
- Тугоплавкие защитные покрытия.
- Антидиффузионные барьерные слои.
- Металлизированные не термостойкие материалы в частности пластмасса.
- В связи с возможностью нанесения толстых покрытий ХТР применяется для восстановления изношенных деталей и их упрочнения.
- Мелкоразмерный режущий инструмент или микроинструмент (увеличение срока эксплуатации до 3 раз; толщина 1-3 мкм; твердость до 60 ГПа)
  - Штампы, пресс-формы, фильеры
  - Иглы для текстильной промышленности
  - Торцевые уплотнения и втулки
  - Пары трения деталей машин, упрочняющие алмазоподобные углеродные покрытия на деталях двигателей машин (увеличение срока эксплуатации до 2 раз, коэффициент трения до 0,1; твердость – 20-50 ГПа)
    - Медицинский инструмент
    - Детали часов (высокие декоративные, износостойкие свойства; толщина 1-3 мкм; твердость – 20-40 ГПа)

Свойства алмазоподобных покрытий могут быть достаточно близки (50-80%) от свойств алмаза, твердость 35-80 ГПа. И определяется содержанием SP<sup>3</sup> связями. Алмазоподобные покрытия состоят из углерода находящимся в аморфном состоянии, т.е. в таком состоянии в котором имеется ближний порядок и отсутствует дальний порядок. Атомы углерода соединены между собой по типу химической связи алмаза: SP<sup>3</sup> – гибридизация, может достигать 80% остальные находятся в SP<sup>2</sup> – гибридизация, характерная для графита. В алмазоподобных покрытиях может содержаться и водород и азот. Алмазоподобные покрытия, как правило, разрабатываются и производятся на основе углерода.

Алмазоподобные покрытия получают методом импульсного осаждения из плазмы катодно-дугового разряда в вакууме. С помощью импульсного разряда могли также регулировать толщину покрытия: чем меньше импульсов подаем, тем тоньше покрытие и наоборот. Свойства алмазоподобных покрытий, полученных с помощью технологии импульсного вакуумно-дугового разряда, оказались максимально близки к свойствам алмаза по прочности и свойствам графита по скольжению: плотность – около 3,2 г/см<sup>3</sup>, микротвердость – 80 – 100 ГПа и коэффициент сухого трения – около 0,1 (у алмаза эти показатели равны 3,5 г/см<sup>3</sup>, 100 ГПа и 0,1 соответственно).

Способ формирования углеродного алмазоподобного покрытия в вакууме осуществляется следующим образом. Осуществляют предварительную подготовку механическим способом поверхности изделия с последующим обезжириванием. Затем помещают изделие в вакуумную камеру в специальное приспособление и закрепляют.

Камеру вакуумируют до  $5 \times 10^{-3}$  Па. При обработке металлического изделия в качестве ускоренных ионов используют ионы металла, которые генерируют электродуговым источником с титановым катодом. Ток дуги устанавливают равным 60 – 80 А, при этом на изделие подают отрицательный потенциал 1000 – 500 В. Таким образом осуществляют обработку поверхность изделия ускоренными ионами. Затем осуществляют электродуговое вакуумное распыление графитового катода и получают углеродную плазму. Поддерживают температуру изделия в пределах 200 – К посредством регулирования частоты следования импульсов разряда. Осаждают полученную углеродную плазму на поверхности изделия и получают углеродное алмазоподобное покрытие.

Если после предварительной обработки визуально или под микроскопом обнаружено, что обработка проведена неэффективно и на поверхности изделия остались окисные пленки, увеличивают продолжительность ионной обработки поверхности изделия ускоренными ионами металла, при этом повышают температуру изделия до 473 - 573 К. Затем охлаждают изделие до 293 - 300 К. Повторно обрабатывают поверхность изделия ускоренными ионами

металла до достижения температуры 323 К. Для повышения интенсивности очистки процесс ионной обработки осуществляют в атмосфере аргона при давлении  $10^{-2}$ -  $10^{-1}$  Па. При обработке изделия из диэлектрика в качестве ускоренных ионов используют ионы газа, выбранного из группы, состоящей из аргона, азота, кислорода или их смеси.

В качестве графитового катода в указанном способе используют графит высокой степени очистки, в котором количество пор составляет около 0,5%. Для повышения качества алмазоподобного углеродного покрытия используют графит высокой степени очистки с минимальным количеством пор, поскольку в порах находятся примеси: газ - азот, кислород, пары воды. Эти примеси, попадая в формируемое покрытие, ухудшают его качество. Для того, чтобы получить полупроводниковые свойства алмазоподобного покрытия, в качестве графитового катода используют графит с примесью легирующего элемента, в качестве которого используют элемент, выбранный из группы, состоящей из кремния, германия, осмия, висмута, фосфора, сурьмы. В настоящее время актуальной задачей является нанесение алмазоподобного покрытия на основе графита магнетронным распылением. Магнетронное распыление относится к методам распыления материалов ионной бомбардировкой.

УДК 621.793

### **Фильтры из порошковых материалов: свойства, получение, область применения**

Студент гр. 104611 Федюк И.Л.

Научный руководитель – Жук А.Е.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Фильтры из порошковых материалов по сравнению с другими пористыми изделиями обладают рядом преимуществ: высокой степенью очистки при удовлетворительной проницаемости, высокими жаростойкостью, прочностью, сопротивлением абразивному износу, теплопроводностью и др. Фильтры на основе порошковых металлов, наряду с пористыми подшипниками, составляют главную часть пористых изделий из порошковых материалов.

Их используют для отделения газов и жидкости от посторонних примесей, для очистки газов при их производстве и практическом использовании, отходящих газов в химической, металлургической, атомной и цементной промышленности. Коррозионностойкие фильтры используют для очистки воды, молока, растворов щелочей и кислот. Методами порошковой металлургии изготавливают также пористые уплотнительные прокладки, антиобледенители, пламегасители, конденсаторы, пеноматериалы и другие материалы.

Фильтрующие свойства порошковых материалов представлены пористостью, проницаемостью, тонкостью фильтрации и грязеёмкостью. Тонкость фильтрования характеризует качественный процесс очистки жидкости от загрязнений. В общем случае тонкость фильтрования определяется абсолютной и номинальной тонкостью фильтрования и коэффициентами отфильтровывания и полнотой фильтрования. Абсолютная тонкость фильтрования определяется как максимальный размер частиц загрязнений, пропускаемых фильтром.

Номинальная тонкость фильтрования представляет собой минимальный размер частиц, прошедших через фильтр. Коэффициент полноты отфильтрования характеризует уменьшение массы загрязнений в рабочей жидкости при однократном её пропускании через пористый порошковый материал. Грязеёмкость фильтра представляет собой массу загрязнений, задержанных на единице площади фильтрующего материала во время повышения давления от начального до предельного.

Спеченные фильтры изготавливают из порошков металлов или сплавов однородной фракции определённого химического состава. Порошки могут иметь как сферическую, так и несферическую форму. Основное преимущество фильтров, изготовленных из несферического порошка, состоит в том, что они имеют повышенную механическую прочность за счет