

ла ионизирующих столкновений и росту разрядного тока. При повышении давления в ускоряющем канале генерация ионов происходит быстрее удаления их из области ионизации. В этом режиме (с рассеянным пучком) ионный ток не ограничен пространственным зарядом и может достигать значений в 10 раз бóльших чем в режиме с коллимированным пучком. Однако при этом теряется контроль таких параметров ионного пучка как энергия ионов и направленность.

К недостатку ионных источников с анодным слоем можно отнести отсутствие независимого контроля тока и энергии ионов. Повышая рабочее давление для увеличения ионного тока мы увеличиваем тем самым количество столкновений ионов с нейтральными атомами. Частые столкновения приводят к перезарядке энергетичных ионов и нейтральных атомов. Образовавшиеся низкоэнергетичные ионы теперь находятся далеко от анода и, поэтому, не могут ускориться до полного анодного потенциала. Это приводит к расширению энергетического спектра ионов. Считается, что средняя энергия ионов в ионном источнике с анодным слоем равняется примерно половине анодного напряжения. Характеристики ионного источника с анодным слоем дают возможность использовать его во многих технологических операциях, таких как очистка и активация поверхностей подложек, ионное ассистирование PVD процессам и даже применяться непосредственно для нанесения покрытий.

УДК 621.5

Тихонович Ю.А.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ИОНОВ С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ

БНТУ, г. Минск

Научный руководитель: Бабук В.В.

Ионно-лучевая обработка материалов осуществляется пучком ускоренных заряженных частиц, сформированных в автономных источниках ионов. Рабочее вещество подается в автономный источник ионов, в котором происходит его

ионизация, ускорение ионов до требуемой энергии и формирование пучка ионов. Ускоренные ионы попадают в технологическую камеру без столкновений с остаточным газом и взаимодействуют с поверхностью обрабатываемого объекта, вызывая либо распыление материала (ионы аргона), либо образование летучих соединений (ионы химически активных веществ), либо осаждение материала (углеводороды).

При распространении пучка ионов в промежутке источник ионов – обрабатываемый объект образует пучковую плазму, состоящая из ускоренных ионов и медленных электронов, возникающих при ионизации остаточного газа и в результате взаимодействия пучка ионов с обрабатываемым объектом. Режим работы источника определяют не только параметры ионного пучка, но и степень его компенсации, характеристики вторичной плазмы, свойства пучковой плазмы и характер ее взаимодействия с обрабатываемой поверхностью.

На обрабатываемой поверхности происходят следующие процессы: нейтрализация ионов пучка с образованием газового потока, удаление материала в результате физического распыления или химического взаимодействия ионов с материалом подложки, эмиссия электронов с поверхности при ионной бомбардировке, поступление потока электронов из пучковой плазмы или с катода нейтрализации, расположенного вблизи источника ионов.

Для реализации ионно-лучевых технологий разработан ряд оригинальных источников ионов с холодным катодом для травления материалов и нанесения пленок – «Холодок-1», «Холодок-2», Радикал М-200.

Во всех источниках используется единый физический принцип формирования пучка ионов, заключающийся в создании внутри ускоряющего промежутка скрещенных электрического и магнитного полей, удерживающих электроны, ионизирующие

рабочее вещество. Разработанные источники ионов по сравнению с зарубежными аналогами, например, с источниками

Кауфмана, источниками с седловидным полем, СВЧ источниками обладают следующими достоинствами:

- позволяют работать практически с любыми химически активными газами, благодаря использованию холодного катода;
- обеспечивают получение в 2-3 раза больших плотностей ионного тока при той же энергии ионов;
- позволяют формировать пучки ионов различной формы и конфигурации;
- обеспечивают однородную обработку неподвижных поверхностей большой площади;
- имеют большой срок службы и простую конструкцию.

Технологические процессы, осуществляемые с помощью разработанных источников ионов:

1. Очистка, активация и полировка поверхностей объектов

Очистка поверхности в вакууме может осуществляться различными методами: тлеющим разрядом, ВЧ разрядом, подачей постоянного и ВЧ потенциала на подложку, находящуюся в газоразрядной плазме.

Химические методы очистки не всегда позволяют получить поверхность, свободную от органических растворителей, химических реагентов, пленок сложного состава, не взаимодействующих с растворителями.

Так как состав загрязнений, как правило, неизвестен, распыление ионами аргона является наиболее эффективным методом удаления сверхтонких поверхностных слоев и позволяет проводить очистку подложки, недостижимую в случае обработки жидкостными методами. Для удаления органических загрязнений очистку поверхности целесообразно проводить ионами кислорода, образующими с органическими соединениями летучие продукты взаимодействия.

Нанесение пленок на предварительно очищенную поверхность приводит к существенному улучшению качества и надежности изготавливаемых изделий за счет

улучшения адгезии пленок к подложке, увеличения сплошности пленок при малых толщинах, уменьшения влияния окружающей среды на качество покрытий. Обработка поверхности пучком ионов не только очищает ее от загрязнений, но и активирует ее или растущую пленку, если процесс обработки пучком ионов проводится одновременно с нанесением пленки. При этом на поверхности образуются свободные связи, которые при нанесении пленки становятся искусственными центрами зародышеобразования. При активации поверхности стекла, например, во время нанесения пленок алюминия, меди, хрома или других металлов, сплошные пленки образуются даже при толщине несколько нм. Процесс активации эффективен, если применять его непосредственно перед нанесением или в процессе нанесения пленок.

2. Нанесение пленок

Тонкие пленки различных материалов можно наносить на подложку, распыляя материал мишени пучком ионов инертных газов.

Основные достоинства этого метода нанесения пленок по сравнению с методом ионно-плазменного распыления состоят в следующем:

- возможность нанесения пленок материалов сложного состава с сохранением компонентного состава мишени;
- малое рабочее давление в технологической камере, ограниченное лишь быстротой откачки вакуумной системы, а не условиями поддержания разряда;
- отсутствие электрических полей в области подложки, что особенно важно при нанесении диэлектрических пленок на подложки из проводящих материалов;
- возможность управления зарядами в осаждаемой диэлектрической пленке с помощью электронов, эмиттируемых катодом нейтрализации.

Источники ионов с холодным катодом типа «Холодок», позволяют в отличие от известных методов бомбардировать распыляемые мишени высокоэнергетичными ионами прак-

тически любых газообразных веществ, включая химически активные соединения.

Источник ионов «Холодок-1» создает радиально сходящийся пучок ионов, направленный под таким углом к поверхности мишени, при котором обеспечивается получение максимального коэффициента распыления материала. Источник позволяет наносить пленки металлов, диэлектриков, полупроводников, сплавов, а также сложных композиционных материалов, включая высокотемпературные сверхпроводники. Для нанесения пленок на поверхности большой площади был разработан источник с радиально расходящимся пучком ионов («Холодок-2»). Источник «Холодок-2» позволяет наносить пленки с неравномерностью – 5% на подложки диаметром – 200мм.

Источник ионов Радикал М-200 позволяет осаждать материал непосредственно из пучка ионов и отличается от других источников возможностью управления энергией осаждаемых частиц и направленностью осаждения материала (под углом к поверхности). Рабочее вещество, например, углеродород подается в источник, ионизируется, образовавшиеся ионы ускоряются до требуемой энергии и осаждаются на подложке, образуя алмазоподобную пленку (АПП). Поскольку ионы ускоряются электрическим полем внутри источника, то их энергия может легко варьироваться в широких пределах от десятков эВ до нескольких тысяч эВ, тогда как в процессах распыления материалов энергия осаждаемых атомов является неизменной и составляет в среднем (5–15)эВ, а при испарении материала не превышает обычно 0,2эВ.

Этот метод предложен сравнительно недавно и используется в основном для получения АПП. Достоинством этого метода является возможность управления энергией ионов в широких пределах, что позволяет изменять свойства и структуру осаждаемых углеродных пленок, а также возможность управления углом падения ионов, что существенно, например, при осаждении пленок на стенки глу-

боких канавок. Из пучков ионов можно осадить не только АП, но также и окислы, нитриды и карбиды.