

М. С. Клакевич (БГУИР, Минск)
Науч. рук. **С. В. Бордусов**, д-р. техн. наук, профессор

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ В ПРОТОЧНЫХ ТУННЕЛЬНЫХ РЕАКТОРАХ ПРИ СРЕДНЕМ ВАКУУМЕ

Для ВЧ разрядов существует разные способы возбуждения. К первой группе относятся индукционные разряды, где разряд возбуждается путем подачи переменного тока в соленоид, внутри которого расположен реактор из диэлектрического материала. Ко второй группе относятся разряды, в которых переменное напряжение подается на электроды, которые могут находиться в непосредственном контакте с плазмой, либо быть изолированными от нее.

Материалом для реакторов объемных систем служит кварцевое стекло, окись алюминия, алунд. Тип материала стенки влияет на скорость гибели заряженных и нейтральных частиц в плазме.

Энергия внешнего источника превращает плазмообразующий газ в «активный» газ – плазму: ионы, электроны, атомы и радикалы. Компоненты плазмы реагируют с поверхностью обрабатываемого образца, где происходит рекомбинация и химическое или физическое взаимодействие с тонким поверхностным слоем [1].

Специфической особенностью травления материалов в плазме является наличие целого ряда одновременно и независимо друг от друга протекающих реакций, особенно при использовании многокомпонентных газовых смесей.

Опыт эксплуатации высокочастотных планарных и объемных реакторов показал на непригодность туннельных проточных реакторов с объемным расположением подложек для проведения прецизионных процессов травления пленочных материалов по следующим причинам: высокая неравномерность травления по пластине и в партии пластин; невозможность процесса от цикла к циклу обработки; сильный нагрев в процессе обработки; низкая анизотропия процесса и т.д.

Однако в ряде случаев для многослойных структур требуется получение наклонного профиля травления.

Общей особенностью всех реакторов объемного типа является кассетная загрузка (26-100 подложек). Высокая производительность установок – их главное достоинство. В то же время кассетная загрузка

чрезвычайно затрудняется создания условий для проведения равномерной обработки всех подложек, находящихся в реакторе.

Установлено, что для достижения высокой равномерности плазмохимического удаления материалов необходимо: вводить стабилизацию температуры обратном с точностью $\pm 2^\circ\text{C}$; выравнивать концентрацию активных частиц в зоне генерации с помощью устройств организации «газового потока» и обеспечивать эквидистантность зоны генерации и всех обрабатываемых поверхностей; вводить устройства для фиксации положения образцов в реакционной зоне и положения реакционной зоны в реакторе; обеспечивать возможность быстрой смены или очистки реакционной камеры перед каждым циклом обработки.

Стабилизация температуры подложек в процессе обработки не производится. Изготовив подложкодержатель специальной формы, в принципе можно добиться стабилизации температуры, но это усложнит конструкцию реактора [1].

На равномерность процессов обработки оказывает влияние соотношение поперечных размеров реактора и подложек. Это связано с газодинамическими условиями в зоне обработки подложек. Так как рабочее давление в реакторной камере $p \ll 7.3 \text{ Па}$, то в этом случае реализуется вязкостный режим течения газа, при котором характер распределения скорости в поперечном сечении определяется силами внутреннего трения. Внесение пластин в зону движения газа приведет к искажению газового потока, а взаимная экранировка пластин выразится в неравномерной доставке активных частиц к различным точкам их поверхности, что должно отрицательно сказаться на равномерности обработки [1].

Экспериментально установлено, что для проведения плазмохимических процессов травления диаметр реактора должен быть в 3.5-4.5 раза больше диаметра подложки. Выдержать такое соотношение при обработке подложек диаметром 100-150 мм и более технически сложно, так как увеличение объема реакционной камеры вызывает необходимость повышения производительности откачных средств, мощности генератора электромагнитных волн и т.д. [2]

Невоспроизводимость процесса от цикла к циклу обработки возникает либо за счет разных температур стенок реакционной камеры, либо за счет откачки до различных степеней остаточных давлений, что сказывается на воспроизводимости скоростей травления материалов. При этом основную дестабилизирующую роль играют различные

примеси и загрязнения, попадающие в объем реакционной камеры вместе с воздухом во время разгерметизации [2].

Разогрев подложек в процессе травления приводит к повышению скорости обработки, но и к увеличению подтравки под маску и деградации фоторезистивных масок. Следствием неодинакового и неконтролируемого подогрева подложек в ходе процесса обработки могут являться различные скорости травления, что выражается в невоспроизводимости результатов от цикла к циклу и неравномерности обработки. В связи с этим температуру подложек стараются снизить и стабилизировать на одном уровне.

При работе на высоких давлениях вследствие уменьшения длины свободного пробега частиц снижается направленность и увеличивается хаотичность их движения. Это вызывает ухудшение профиля травления и выражается в подтравливании за счет снижения анизотропии процесса. Плазменное травление в объемном реакторе изотропно и величина подтравки и профиля травления зависят от давления и мощности, подводимой к разряду.

Наиболее очевидным технологическим преимуществом использования прямоточных реакторов туннельного типа является высокая скорость процессов плазмохимической обработки. Поэтому в производстве изделий электронной техники плазмохимическая обработка материалов в условиях среднего вакуума будет наиболее эффективна на операциях удаления фоторезиста, очистки поверхности подложек от органических и неорганических загрязнений, планаризации слоев маскирующих (фоторезисты, полиимид) покрытий, а также при травлении рельефа структур микроприборов, допускающих изотропный профиль травления [2].

Литература

1. Достанко А.П., Бордусов С.В. Плазменные СВЧ технологии в процессах инженерии поверхности // Физическая -инженерия поверхности – 2003. – Т. 1, №1. – С. 7-18
2. Галперин В.А., Данилкин Е.В., Мочалов А.И. Процессы плазменного травления в микро- и нанотехнологиях : учебное пособие / под ред. С.П. Тимошенкова – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 283 с.