

Выбор квадрупольного газоанализатора STANFORD RESEARCH SYSTEMS

Современные требования к контролю загрязнения газофазных процессов постоянно раздвигают границы работоспособности квадрупольных газоанализаторов. Квадрупольная технология быстро развивается и адаптируется к более низким спецификациям уровня загрязнения. Хорошее понимание набора факторов, влияющих на возможности обнаружения различных газоаналитических систем, имеющих в настоящее время, является важным инструментом при выборе датчика для конкретного применения. Как это обычно бывает, большинство вариантов предполагает компромиссы, а хорошее понимание основных решений, связанных с различными конфигурациями детекторов, позволит свести к минимуму ошибки и максимизировать производительность.

Все установки, работающие с газовой фазой, могут извлечь выгоду из добавления квадрупольного газоанализатора. Информация, передаваемая хорошо подобранным детектором, быстро становится неотъемлемой частью процесса, резко сокращая количество догадок, которые традиционно были частью большинства процедур устранения неполадок в вакууме. По мере того как квадрупольные газоанализаторы становятся все более доступными, они быстро становятся обычным явлением во всех отраслях промышленности, требующих строгого контроля уровня загрязнения технологических газов. Интеллектуальный программный интерфейс, более низкие пределы обнаружения и снижение стоимости владения - вот некоторые из особенностей, которые следует искать в современных приборах.

В следующих разделах данной статьи описываются технические характеристики квадрупольных масс-спектрометров с открытым и закрытым источниками ионов. Главная цель этой информации состоит в том, чтобы представить основные понятия, необходимые для правильного выбора анализатора для любого применения газовой фазы, а также представить некоторые основные принципы работы, которые необходимо иметь в виду, чтобы обеспечить оптимальную работу выбранного прибора.

Анализаторы остаточных газов

Прототипный анализатор остаточного газа (RGA) имеет открытый источник ионов (OIS) и установлен непосредственно на вакуумной камере, так что весь датчик находится под тем же давлением, что и остальная вакуумная система. Небольшие физические размеры позволяют присоединить RGA практически к любой вакуумной системе, включая как исследовательские, так и технологические установки. Максимальное рабочее давление составляет 10^{-4} Торр. Минимальные обнаруживаемые парциальные давления (обычно измеряемые для N_2 при 28 аем) составляют всего 10^{-14} Торр для установок, оснащенных электронным множителем.

В высоковакуумных применениях, таких как исследовательские камеры, установки для изучения поверхностей, ускорители, аэрокосмические камеры, сканирующие микроскопы, камеры дегазации и т. д., RGA эффективно используются для контроля качества вакуума, и они могут легко обнаружить даже самые мелкие примеси в газовой среде низкого давления. Следовые примеси могут быть измерены до уровня 10^{-14} Торр, а обнаруживаемость на уровне субпромилле возможна при отсутствии фоновых помех. Во время устранения неполадок в системе, RGA также используются в качестве очень чувствительных гелиевых течеискателей.

В полупроводниковой промышленности RGA лучше всего использовать в испарителях, распылителях, системах травления или любых других высоковакуумных системах, которые обычно откачиваются до уровня ниже 10^{-5} Торр. Их основное применение заключается в проверке целостности вакуумных уплотнений и качества вакуума, прежде чем какие-либо пластины будут допущены к процессу. Утечки воздуха, виртуальные утечки и многие другие загрязняющие вещества на очень низких уровнях могут легко разрушить пластины и должны быть обнаружены до начала процесса. По мере того как полупроводниковые процессы становятся более сложными, они также становятся менее устойчивыми к загрязнениям. Анализ остаточного газа в технологической камере увеличивает время безотказной работы и выход продукции, а также снижает стоимость владения.

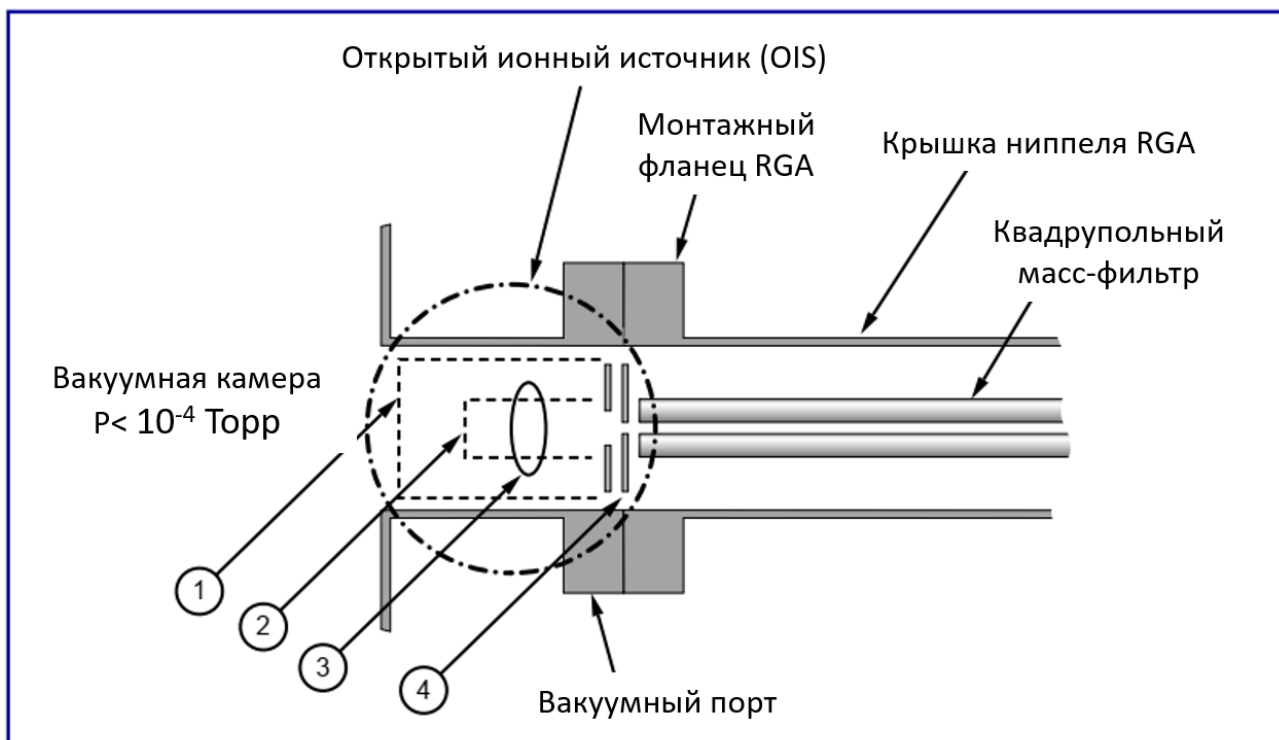


Рисунок 1: принципиальная схема OIS

Открытый источник ионов (OIS)

Стандартным источником ионов, используемым в большинстве коммерчески доступных RGA, является открытый источник ионов (OIS). Этот ионизатор считается источником "все, что необходимо" для RGA. Он существует в нынешнем цилиндрическом, осесимметричном варианте с начала 1950-х годов. Схема общей конструкции OIS показана на Рис. 1.

OIS проникает в технологическую камеру. Провод нити накала и клетка провода анода "открыты" к окружающей вакуумной камере. Все молекулы, присутствующие в вакуумной камере, могут легко перемещаться через источник ионов. Давление в ионизаторе такое же, как и в остальном окружающем вакууме, а также такое же, как в квадрупольном масс-анализаторе и детекторе ионов. OIS "открыт" для всех газообразных молекул в вакуумной камере. Он может быть использован для мониторинга и обнаружения изменения уровня газа, пока общее давление остается ниже 10^{-4} Торр. Более высокие давления приводят к снижению чувствительности из-за зарядового отталкивания между ионами.

Ограничения характеристик OIS

OIS RGA отлично справляются с измерением уровня остаточного газа, не влияя на газовый состав своей вакуумной среды. Однако необходимо иметь в виду некоторые потенциальные проблемы, особенно когда датчик регулярно используется для мониторинга мельчайших следовых примесей (уровни ppm и sub-ppm) или среды сверхвысокого вакуума (UHV, $<10^{-9}$ Торр).

Ниже приведен список различных способов, с помощью которых OIS RGA может вносить свой вклад в фоновые сигналы, влияющие на возможности обнаружения датчика. Методы минимизации этих проблем описываются там, где это применимо.

Выделение газов

OIS - это источник ионов с горячим катодом. Провод нити накала (катод) должен быть нагрет до высоких температур (>1300 °C), чтобы создать ток электронной эмиссии. В условиях высокого вакуума большая часть энергии, необходимой для нагрева нити накала, рассеивается в окружающую среду в результате радиационных процессов. В результате весь ионизатор и прилегающие к нему стенки "раскаляются". Повышенные температуры приводят к повышенному выходу газов из самого OIS и из соседних стенок камеры. Газы, выделяемые в результате дегазации, могут ухудшать минимальное обнаруживаемое парциальное давление (MDPP) OIS RGA для

многих важных веществ, включая H_2 , H_2O , N_2 , CO и CO_2 .

Выход газа из датчика с горячим катодом не является новой проблемой для пользователей высокого вакуума. Он также присутствует в ионизационных датчиках Баярда-Альперта, которые были обычным явлением в вакуумных камерах в течение последних 50 лет. В большинстве случаев газообразование просто влияет на состав измеряемой газовой смеси. Однако, при некоторых обстоятельствах, газообразование может стать серьезной проблемой и даже повлиять на результаты экспериментов или процессов. Дегазация ионизатора может помочь свести к минимуму некоторые фоновые сигналы, однако, это обычно работает только как временное решение.

Некоторые поставщики RGA предлагают UHV-версии своих OIS с анодами (а иногда и целыми сборками ионизаторов), изготовленными из платинированной молибденовой проволоки. Это очень инертный материал проявляет пониженную адсорбцию для многих газов и обеспечивает снижение дегазации и ESD (электрон-стимулированная десорбция).

Водяные испарения являются частой помехой, особенно важной, поскольку она является серьезным источником загрязнения во многих высоковакуумных процессах. Ночные прогревы при температуре выше $200\text{ }^\circ\text{C}$ являются лучшим вариантом для минимизации выбросов паров воды из OIS RGA.

Выход H_2 из электродов OIS может быть проблемой для пользователей, работающих в режиме UHV, где остаточный водород обычно составляет до 95% от общего состава газовой смеси. H_2 растворяется в большинстве разновидностей нержавеющей стали серии 300 и может легко выделять газ из горячих электродов OIS. Вклад OIS в фон H_2 зависит от его состава и может быть резко снижен с помощью компонентов, покрытых платиной. Во всех случаях эффект уменьшается со временем, так как газ испаряется из электродов.

Электрон-стимулированная десорбция (ЭСД)

Даже после того, как RGA был тщательно прогрет, пики часто наблюдаются на 12, 16, 19 и 35 аем, которые образуются в результате ЭСД с поверхностей внутри OIS, а не в результате электронно - ударной ионизации газообразных частиц. ESD влияет на производительность RGA таким же образом, как и выход газа.

Для минимизации этого эффекта можно предпринять несколько шагов:

- * Дегазация с высокими энергиями электронов обычно является одним из вариантов в коммерчески доступных приборах
 - * Золочение ионизатора уменьшает адсорбцию многих газов и, следовательно, уменьшает эффект ЭСД. Использование платинированных ионизаторов из молибдена также является альтернативой.
 - * Уменьшение протяженности электронного пучка.
 - * Уменьшение площади поверхности OIS, например, используйте проволочную сетку вместо листового перфорированного металла
- Избегайте воздействия на ионизатор хлорированных и фторированных соединений

Фоновые помехи

Квадрупольный масс-фильтр в сборе имеет большую площадь поверхности по сравнению с ионизатором, и даже если он не нагревается так сильно, как ионизатор во время работы, он все равно может выделять газ. Тот факт, что OIS подвергается воздействию той же вакуумной среды, что и остальная часть датчика, делает ионизатор чувствительным к примесям, выделяемым остальной частью квадрупольного узла. Серьезной проблемой для многих пользователей RGA (особенно в диапазоне UHV) является выход H_2O из непрогретого RGA. Однако, многие другие вещества также могут влиять на фоновые показания. Например, можно ожидать высокий фон Ag, если датчик недавно подвергался воздействию высоких давлений газа (так как он имеет тенденцию адсорбироваться на поверхности твердых тел и десорбируется только очень медленно).

Ионизатор также чувствителен к примесям, образующимся в горячей нити накала. Молекулы газа могут подвергаться термическому разложению и химическим реакциям на поверхности нити накала, а продукты реакции могут легко найти свой путь в область ионизации. Образующиеся таким образом примеси обычно являются важным источником загрязнения поверхностей ионизатора и оказывают серьезное влияние на долгосрочную стабильность RGA.

Например, CO и CO_2 испускаются большинством горячих нитей и легко попадают в ионизатор и вакуумную систему.

Регулярные прогревы являются наиболее эффективным способом минимизировать эту проблему. Ночной прогрев при температуре $200\text{ }^\circ\text{C}$

обычно решает большинство проблем с загрязнением. Если проблема не устранена, возможно, потребуется очистить и/или заменить квадрупольный датчик.

Системы снижения парциального давления (PPR)

RGA не ограничиваются анализом газов при давлениях ниже 10^{-4} Торр. Более высокие давления газа могут быть отобраны с помощью системы выпуска газа с дифференциальной откачкой и понижением давления (PPR), состоящей из ограничителя и набора вакуумных насосов. Распространенными ограничениями являются точечные отверстия и капилляры, которые могут обеспечить снижение давления более чем на шесть порядков. Наборы вакуумных насосов обычно состоят из турбомолекулярного насоса, поддерживаемого форвакуумным насосом. Комбинированная RGA, система выпуска газа и насосная станция составляют то, что обычно называют системой снижения парциального давления (PPR). Эти системы отбора проб газа являются обычным явлением в газофазных процессах и доступны у нескольких поставщиков RGA. Правильно спроектированные PPR могут отслеживать процессы от начала до конца, предоставляя необходимую информацию на каждом этапе.

Система PPR, показанная на рис. 2, является примером типичной установки снижения давления, используемой для снижения технологических давлений до уровней, приемлемых для OIS RGA. PPR содержит два входных тракта для RGA: тракт с высокой проводимостью (Hi-C) для контроля базового вакуума и тракт с низкой проводимостью (Lo-C) для контроля газов при рабочем давлении.

Путь с высокой проводимостью используется, когда вакуумная система находится при давлении ниже 10^{-4} Торр. При высоком вакууме, типичными областями применения являются испытание на герметичность и контроль предельного вакуума камеры. Например, в камере напыления первой стадией процесса является откачка до уровня менее 10^{-6} Торр. На этом этапе RGA может использоваться для проверки качества фона на наличие утечек и загрязнений. Как только качество вакуума удовлетворительно, камера напыления заполняется аргоном на несколько мТорр и начинается напыление.

Путь низкой проводимости используется, когда технологическая камера находится при давлении выше 10^{-4} Торр. Этот путь содержит микроотверстие, которое уменьшает давление на несколько порядков до уровня, подходящего для RGA (обычно около 10^{-5} Торр). Апертуры доступны

для рабочих давлений до 10 Торр. Массив апертур (или регулируемый дозирующий клапан) иногда используется для регулировки коэффициента снижения давления до различных давлений по ходу процесса. Например, во время процесса напыления путь Lo-C может использоваться для контроля уровней водяного пара и углеводородов, чтобы гарантировать, что они не превышают определенных критических уровней, которые ухудшают качество напыляемых пленок.

Пара насосов откачивает газ через апертуру к RGA, устанавливая перепад давления. Насосы, используемые в этих системах, как правило, очень компактны, не содержат масла и имеют низкие эксплуатационные расходы.

Для давлений выше 10 Торр расход газа во входной части образца одноступенчатого PPR (например, показанного на Рис.2) становится чрезвычайно малым, а временная реакция слишком медленной для любых практических измерений. В этих случаях двухступенчатая байпасная система отбора проб газа с гораздо большим расходом газа и более быстрой реакцией является лучшим выбором, чем одноступенчатая PPR. Системы отбора проб с байпасной откачкой газа с промежуточными ступенями среднего давления, способными анализировать газовые смеси до нескольких атмосфер, доступны у нескольких поставщиков RGA.

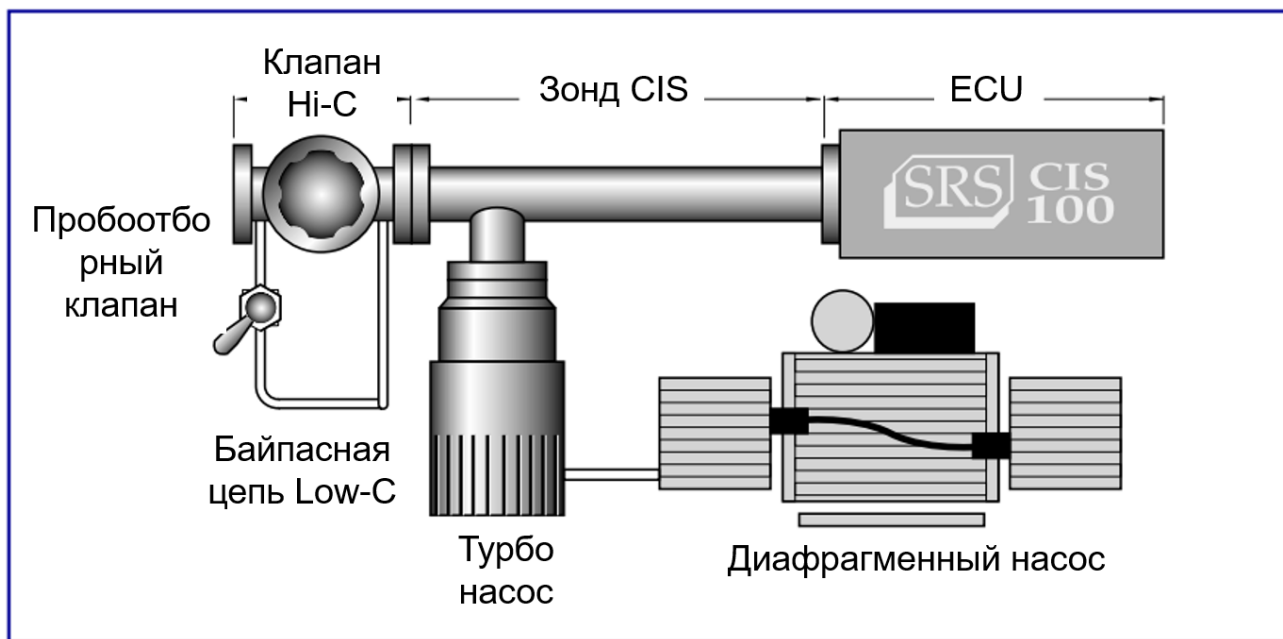


Рисунок 2: Система впуска PPR

Ограничения характеристик систем PPR

PPR отлично справляются с отбором проб газов при давлении ниже 10 Торр. Информация, которую они предоставляют, обычно используется для диагностики и контроля процессов газовой фазы в самых разных отраслях промышленности. По мере того как цены падают и технология развивается, инструменты постоянно находят новые области применения.

Большое количество систем PPR предназначено для обнаружения микропримесей в газовых смесях. OIS RGA обладают достаточной чувствительностью и динамическим диапазоном для обнаружения загрязняющих веществ на уровне части на миллион (ppm). Однако, помехи от технологических газов и фоновые помехи от самого датчика могут затруднить обнаружение уровней ppm примесей с помощью PPR на практике.

Фоновые помехи

Фоновые газы, присутствующие в камере анализатора, могут затенять MDPP некоторых важных газов (H_2 , H_2O , N_2 , CO и CO_2). Фоновые газы образуются за счет дегазации, электрон-стимулированной десорбции и конечным разрежением, создаваемым насосной системой.

Чтобы лучше проиллюстрировать этот момент, рассмотрим в качестве примера анализ воды в

процессе напыления Ag при 10^{-2} Торр. Во время контроля технологического процесса масс-спектрометр обычно работает при давлении около 10^{-5} Торр, что соответствует коэффициенту уменьшения давления на 3 порядка в тракте Lo-C PPR. Перепад давления приводит к тому, что 1 ppm воды в технологической камере достигает парциального давления в масс-спектрометре около 10^{-11} Торр (хороший уровень в пределах обнаружения типичного RGA). Однако, при использовании масс-спектрометра, изолированного от технологических газов, остаточное давление в камере PPR составляет в лучшем случае порядка 10^{-9} Торр (причем большая часть этого давления приходится на воду). Этот уровень воды в сто раз больше, чем 10^{-11} Торр, соответствующий промилле воды в технологической камере, а это означает, что концентрация водяного пара не может быть надежно обнаружена или измерена лучше, чем 100 промилле при этих "обычных" условиях эксплуатации.

Предел MDPP может быть улучшен до 20 ppm, увеличивая рабочее давление в камере RGA до 5×10^{-5} Торр во время анализа. Однако даже предел для воды в 20 ppm MDPP может быть недостаточно низким в некоторых случаях. Было доказано, что добавление крионасоса с большой скоростью откачки воды значительно уменьшает фон воды в квадрупольной камере PPR. Однако, подобное редко делается на практике из-за высокой стоимости насоса. Те же ограничения следует иметь в виду и для других потенциально

мешающих газов. Для того чтобы любое вещество было обнаружено на уровне ppm (10^{-8} Торр В процессе 10 мТорр), спектр остаточной массы для PPR должен показывать показания давления менее 10^{-11} Торр при массовых значениях, соответствующих пикам этого вида. Такие уровни нелегко достичь в большинстве вакуумных систем, если не будут приняты необходимые меры предосторожности, чтобы свести к минимуму все источники загрязнения. Эта проблема обычно более серьезна для масс ниже 50 аем, где всегда есть фоновые пики в спектре остаточной массы.

Несмотря на то, что RGA по своей сути, способен выполнять измерения суб-ppm, не всегда легко найти места в спектре остаточной массы RGA, где фон находится на уровне ppm.

Распространенным источником фоновых помех в PPR является загрязнение от обратного потока насосного масла в камеру PPR от обычных насосов на масляной основе. Переход на полностью безмасляную насосную станцию устраняет эту проблему.

Предел MDPP для воздуха обычно ограничен степенью сжатия насосной станции. В большинстве систем PPR уровни N_2 обычно находятся ниже 10^{-9} Торр, а уровень кислорода примерно в пять раз ниже. Это соответствует уровням MDPP лучше, чем 20 ppm для N_2 @ 28 аем и 4 ppm для O_2 @ 32 аем в процессе с давлением 10 мТорр.

Водород, как правило, невозможно обнаружить на уровне ppm, потому что он легко выходит из анализатора, и он не эффективно откачивается большинством турбонасосов. Некоторые из трюков, которые используются для минимизации фоновых сигналов H_2 , включают в себя: использование покрытого Pt молибденовым OIS и добавление специальной насосной станции с увеличенной скоростью откачки водорода.

Помехи технологического газа

Другое ограничение на ppm-уровни обнаружения в типичной системе PPR на основе OIS RGA, вызвано помехами от тех же технологических газов, которые анализируются.

Лучший способ проиллюстрировать этот момент - вернуться к примеру анализа воды в процессе напыления Ag при 10 мТорр. Мы видели, что обнаружение воды на уровне выше 20 ppm очень трудно, если только камера PPR не очень тщательно прогревается и не защищена от загрязнения водой. Однако, как мы увидим, это только часть проблемы: существует также серьезная помеха при отношении

массы к заряду (m/e) 18 от того же Ag, используемого в системе напыления. Изотоп ^{36}Ag присутствует на уровне 0,34 %. В процессе ионизации электронов образуется двузарядный аргон, приводящий к пикам при m/e 20 ($^{40}Ar^{++}$) и m/e 18 ($^{36}Ar^{++}$). Для энергии электронного удара 70 эВ типичный уровень $^{36}Ar^{++}$ составляет 350 ppm. Поэтому, если вы хотите обнаружить воду на уровнях ppm в системе напыления на основе Ag, вы должны решить две проблемы: фоновый вклад вытеснения воды из датчика и помехи в диапазоне m/e 18 от $^{36}Ar^{++}$.

Тщательный прогрев может уменьшить вклад фоновой воды на уровнях ниже десятков ppm, но устранение помех $^{36}Ar^{++}$ требует использования нескольких трюков. Некоторые производители просто предпочитают контролировать пик m/e 17 из-за фрагмента воды $[OH]^+$. Для ионизирующих электронов 70 эВ этот пик в четыре раза меньше основного на 18 аем. Это приводит к значительному снижению чувствительности при обнаружении воды. Это также добавляет проблему изотопной чувствительности при попытке измерить интенсивность массы 17 рядом с большим пиком $^{36}Ar^{++}$ на 18 аем.

Более приемлемый вариант (и тот, который рекомендуется для RGA с программируемыми напряжениями ионизатора) заключается в эксплуатации ионизатора с энергией электронного удара, уменьшенной до менее 40 эВ. Эта энергия ионизации находится ниже потенциала появления (43,5 эВ) Ar^{++} . Например, пики при массах 18, 19 и 20 за счет Ar^{++} исчезают при работе RGA с электронами 35 эВ, это достигается при минимальном снижении чувствительности детектирования Ar^+ на 36, 38 и 40 аем.

Различные энергии ионизации электронов обычно используются для селективной ионизации частиц в газовой смеси. Таблицы с потенциалами ионизации для многих различных газов легко доступны из общей литературы по масс-спектрометрии. Уменьшение энергии электрона обычно накладывает дополнительную нагрузку на работу нити накала и может сократить ее срок службы. Однако, снижение интерференционных эффектов компенсирует дополнительные затраты на замену нити накала.

Закрытый источник ионов (CIS)

В приложениях, требующих измерения давлений между 10^{-4} и 10^{-2} Торр, проблема фоновых и технологических газовых помех может быть значительно уменьшена путем замены традиционной конфигурации OIS PPR системой

отбора проб с закрытым источником ионов (CIS). Поперечное сечение универсальной установки CIS показано на рисунке 3.

Ионизатор CIS располагается поверх квадрупольного масс-фильтра, заменяющего более традиционные OIS, используемые в обычных RGA. Он состоит из короткой газонепроницаемой трубки с двумя очень маленькими отверстиями для входа электронов и выхода ионов. Электроны попадают в ионизирующую область через входную щель небольших размеров. Ионы образуются вблизи и притягиваются одной экстракционной пластиной и выходят из ионизатора через круглое отверстие малого диаметра. Алюминиевые кольца герметизируют трубу от остальной части квадрупольного узла и обеспечивают электрическую изоляцию для смещенных электродов. Ионы образуются при помощи электронного удара непосредственно при технологическом давлении.

Насосная система, подобная той, что используется в системах PPR, удерживает нить накала и остальную часть квадрупольного узла при давлении ниже 10^{-5} Торр (снижение давления на два порядка). Эта конструкция очень проста и в течение многих лет успешно применялась в приборах масс-спектрометрии газовой хроматографии, прежде чем была принята на вооружение квадрупольными газоанализаторами. Большинство коммерчески доступных систем CIS рассчитаны на работу в диапазоне от 10^{-2} до 10^{-11} Торр и обеспечивают возможность обнаружения на

уровне ppm во всем диапазоне масс для технологических давлений от 10^{-4} до 10^{-2} Торр

Различия между системами PPR и CIS

Понимание различий в производительности между установкой CIS и более традиционным OIS RGA на основе PPR необходимо при выборе настройки датчика, которая лучше всего подходит для конкретного технологического применения. Инженеры-технологи должны тщательно взвесить все различия, прежде чем выбирать конфигурацию анализатора для своего применения

Прямой отбор проб

Анод CIS можно рассматривать как трубку с высокой проводимостью, соединенную непосредственно с технологической камерой. Давление в зоне ионизации практически такое же, как и в технологической камере. Ионизатор CIS производит ионы электронным ударом непосредственно под давлением процесса, в то время как остальная часть масс-анализатора и нити накала находятся под высоким вакуумом. Прямой отбор проб обеспечивает хорошую чувствительность (благодаря наличию больших плотностей ионов) и быстрое время отклика. "Эффекты памяти", обычно связанные с уменьшением давления и проводящими отверстиями, значительно уменьшаются. Кроме того, отсутствуют эффекты фракционирования, обусловленные зависящими от молекулярной массы

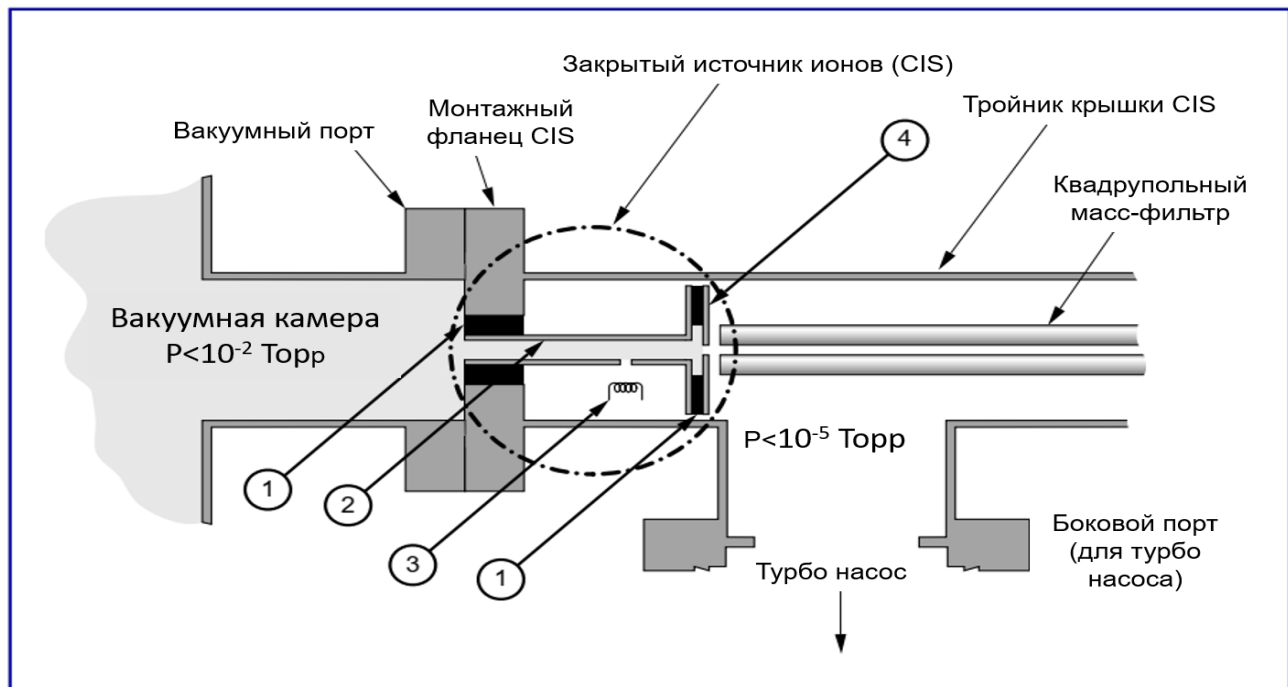


Рисунок 3: схема устройства CIS

диффузиями различных молекул газа через отверстия PPR.

Отношение сигнал/фон

Поскольку давление отбора проб в CIS обычно на два порядка выше, чем в остальной вакуумной системе датчика, отношение сигнал/фон значительно увеличивается по сравнению с системами OIS PPR. Это особенно важно при измерении обычных остаточных газов, таких как пары воды. Чтобы проиллюстрировать этот момент, мы вернемся к примеру измерения воды в процессе напыления Ag при 10^{-2} Торр. Газ Ag ионизируется непосредственно при 10^{-2} Торр (на три порядка выше, чем в OIS PPR!), но на том же фоне (10^{-9} Торр) остаточных паров воды. Этот остаточный сигнал паров воды теперь соответствует уровню MDPP на 100 ppb (частиц на миллиард) для воды в системе CIS. Это довольно значительное улучшение по сравнению с характеристиками OIS PPR!

Сочетание прямого отбора проб и дифференциальной откачки обеспечивает возможность определения пределов ppm и суб-ppm даже для самых распространенных остаточных газов. Для других распространенных помех, таких как органические загрязнители или побочные продукты реакции нити накала, газонепроницаемая конструкция источника уменьшает видимость области ионизации для тех газов, которые обеспечивают очень чистый спектр остаточного газа, свободный от многих спектральных перекрытий, которые являются общими в установках OIS PPR.

Помеха от загрязняющих веществ, генерируемых ESD, также уменьшается в CIS, поскольку гораздо меньший электронный пучок проникает в ионизирующий объем. Кроме того, внутренние стенки большинства коммерчески доступных CIS покрыты высокоинертными материалами, такими как золото, платина и чистый молибден, которые адсорбируют меньше примесей, чем нержавеющая сталь.

Способность CIS отбирать пробы газов непосредственно в диапазоне мТорр и обеспечивать возможность обнаружения на уровне ppm во всем диапазоне масс сделала CIS системы инструментом выбора в области обработки полупроводников, таких как PVD (осаждение из газовой фазы), CVD (химическое осаждение из газовой фазы) и травление.

Загрязнения ионизатора

В системе OIS PPR молекулы образца, подвергшиеся термическому разрушению или

химической реакции на нити накала, могут свободно дрейфовать в область ионизации. Это очень значительный источник поверхностных загрязнений для электронных ударных ионизаторов. В отличие от этого, газонепроницаемая конструкция CIS снижает видимость источника для этих загрязняющих газов, обеспечивая снижение загрязнения и лучшую долгосрочную стабильность. Большинство производителей CIS используют в своих системах исключительно вольфрамовые нити. W противостоит многим агрессивным газам (таким как WF_6) и реактивным газам (таким как Силан), минимизируя реакции на нити накала, которые вносят свой вклад в фон, что также приводит к увеличению срока службы нити накала.

Многосторонность

При правильном согласовании с процессом обе системы OIS PPR и CIS являются очень универсальными инструментами, которые предоставляют важную информацию на протяжении всего процесса газовой фазы. Система PPR, снабженная двухканальным газовым входом, может легко переключаться с высокочувствительного режима работы RGA на режим мониторинга процесса, просто переключаясь с Hi-C канала отбора проб на Lo-C.

Различные режимы работы также могут быть легко достигнуты в CIS путем простого изменения некоторых параметров ионизации датчика. Газоанализатор CIS, даже если он не так чувствителен, как RGA, может справиться с большинством тестов по анализу остаточного газа и проверке утечек, которые требуются в технологических камерах. Чувствительность CIS снижается по сравнению с OIS из-за очень маленьких отверстий для входа электронов и выхода ионов. Однако, в большинстве случаев запуск электронного умножителя при более высоких уровнях усиления, чем у RGA, компенсирует снижение чувствительности. Типичные значения MDPP для систем CIS, оснащенных дополнительным электронным умножителем и работающих в режиме RGA, составляют порядка 10^{-11} Торр. Это примерно на два порядка выше значений MDPP, которые могут быть достигнуты при использовании PPR, работающих в режиме RGA с открытым каналом отбора проб Hi-C.

Ионизатор CIS также может быть реконфигурирован для оперативного контроля и управления технологическим процессом, а также проверки чистоты технологического газа в месте его использования. Ток электронной эмиссии повышается при анализе остаточного газа для повышения чувствительности и уменьшается при

контроле процесса, чтобы избежать эффектов насыщения пространственного заряда в ионизирующем объеме при более высоких давлениях.

Непроницаемая конструкция CIS позволяет эксплуатировать ионизатор при более низких энергиях ионизации электронов, чем это возможно при использовании OIS. Большинство коммерчески доступных систем CIS предлагают, по крайней мере, две установки энергии электронов 70 и 35 эВ. 70 эВ в основном используется для тестирования герметичности и рутинного анализа газа. Собранные спектры практически идентичны спектрам, полученным с помощью стандартных RGA. 35 эВ используется во время мониторинга технологического процесса для устранения пиков интерференции технологического газа. Распространенным применением низкоэнергетического режима является устранение двукратно ионизированного пика $^{36}\text{Ar}^{++}$, который мешает обнаружению воды при 18 аем в процессах напыления. Системы CIS с программируемыми пользователем напряжениями ионизатора обеспечивают высочайшую универсальность, поскольку они могут быть сконфигурированы для селективной ионизации частиц в газовой смеси путем тщательной регулировки энергии электронного удара.

Отбор проб высокого давления с помощью газоанализатора CIS

CIS -анализаторы могут отбирать пробы газов непосредственно до уровня давления около 10^{-2} Торр. Верхний предел давления устанавливается уменьшением среднего свободного пробега для ионно-нейтральных столкновений, которое происходит при более высоких давлениях и приводит к значительному рассеянию ионов и снижению чувствительности. Однако, работа не ограничивается анализом газов при давлениях ниже 10^{-2} Торр. Более высокие давления газа могут быть отобраны с помощью системы впуска газа с дифференциальной откачкой давления (PPR), как это делается с обычным RGA. Система впуска газа для снижения давления, согласованная с проводимостью анализатора CIS, позволит датчику производить пробы при давлении газа более 10 Торр. Как и в случае с системами PPR, за счет

снижения скорости отбора проб, фракционирования газовой смеси на входе отбора проб и возможных эффектов памяти в ионизаторе.

Для давлений выше 10 Торр скорость потока газа в закрытый ионизатор становится чрезвычайно малой, а время реакции слишком медленным для любых

практических измерений. В таких случаях байпасная откачивающая газо-пробоотборная система, с гораздо большим расходом газа и более быстрой реакцией, подойдет гораздо больше.

Заключение

Любая аналитическая установка для вакуума может извлечь выгоду из добавления квадрупольного газоанализатора. Хорошее понимание разных факторов, влияющих на характеристики различных квадрупольных газоаналитических систем, доступных в настоящее время, является важным инструментом при выборе наилучшей конфигурации датчика для любых приложений. Квадрупольные системы отбора проб газа доступны от нескольких производителей и часто бывает трудно решить, какой из них представляет собой лучший выбор для данного процесса. В большинстве случаев существует несколько способов настройки измерений, и каждый выбор включает в себя компромиссы. Хорошее понимание основных различий между доступными вариантами сводит к минимуму проблемы и максимизирует производительность.

По мере удешевления квадрупольные газоанализаторы становятся обычным явлением во всех отраслях промышленности, требующих строгого контроля уровня загрязнения технологических газов.