

ТЕХНИЧЕСКАЯ КАРТОЧКА ИЗДЕЛИЯ

Стенд ЛИКЛАБ-АК контроля герметичности методом накопления гелия с пороговой чувствительностью до 10-15 мЗ·Па/с



Стенды контроля герметичности микроэлектромеханических устройств методом накопления гелия позволяют выявлять сверхмалые потоки через микродефекты с высокой воспроизводимостью и чувствительностью до 10-15 мЗ·Па/с. В статье подробно рассмотрены принцип работы накопительной миниатюрной вакуумной камеры с клапаном, измерение переходного сигнала после открытия на течеискатель, интегрирование площади под кривой, калибровка по эталонной гелиевой течи, дегазация камеры, снижение фонового сигнала, методика ЛИКЛАБ и возможности поставки оборудования с обучением персонала.

Телефон
+7-812-715-00-17

E-mail
mail@leaklab.ru

Страница
leaklab.ru

Параметры и состав поставки уточняются по актуальной странице. Паспорт, руководство и утвержденная методика имеют приоритет.

Описание и область применения

Стенды контроля герметичности микроэлектромеханических устройств методом накопления гелия с пороговой чувствительностью до 10 -15 мЗ ·Па/с

Лаборатория ЛИКЛАБ разрабатывает, поставляет и внедряет стенды контроля герметичности микроэлектромеханических устройств, вакуумных корпусов, миниатюрных датчиков, резонансных сенсоров и других особо ответственных изделий, для которых обычные методы контроля уже не обеспечивают требуемого запаса чувствительности. Для таких объектов применяют накопительный режим с измерением гелия, выходящего из микродефектов изделия, внутри малой вакуумной камеры. После заданного времени накопления камера кратковременно соединяется с масс-спектрометрическим течеискателем через быстродействующий клапан, а измерение выполняют не по стационарному уровню сигнала, а по переходному процессу.

Такой подход позволяет перейти от прямого измерения чрезвычайно малого мгновенного потока к измерению накопленной дозы гелия. Именно это дает возможность заметно повысить отношение сигнал-шум, точно выделить полезный вклад на фоне остаточных газов и получить измерительную чувствительность, недостижимую для обычного непрерывного режима. Для микроэлектромеханических устройств это особенно важно, поскольку малая внутренняя полость, длительный срок службы и крайне жесткие требования к стабильности внутреннего давления приводят к необходимости контроля потоков течи на уровне, близком к пределам современной практики.

ЛИКЛАБ использует методику измерения накопленного гелия за заданный интервал времени с последующей интегральной обработкой переходной кривой. В зависимости от объема изделия, объема накопительной камеры, требуемой достоверности, уровня фонового газовыделения и принятой программы испытаний цикл быстродействующего анализа может быть организован в диапазоне порядка 20-140 секунд на одно изделие, а при необходимости дополняться более длительным накоплением для достижения требуемого порога обнаружения.

Когда накопительный метод действительно необходим

Для вакуумно-герметичных MEMS-изделий основная проблема состоит в том, что эксплуатационный риск определяется не только фактом наличия негерметичности, но и скоростью деградации внутренней среды изделия на длительном интервале времени. Даже очень малый поток проникновения или утечки способен за годы эксплуатации привести к росту давления внутри корпуса, изменению добротности резонатора, повышению вязкого демпфирования, дрейфу нуля, ухудшению чувствительности и срыву заданных метрологических характеристик.

Если контролировать такой объект обычным методом в реальном времени, то сигнал от гелия, выходящего через микроканал, может оказаться ниже уровня надежного различения. Однако при накоплении в малом изолированном объеме суммарная доза гелия растет во времени линейно, а затем высвобождается в течение короткого импульсом. В результате площадь под переходной кривой становится информативным измеряемым параметром. Именно площадь, а не только пик, определяет количество накопленного гелия и, следовательно, реальный поток течи.

Такой режим особенно эффективен для следующих категорий изделий:

- MEMS-гироскопы и акселерометры в вакуумных корпусах
- резонансные датчики давления и частотные сенсоры
- герметичные микросборки и гибридные модули
- миниатюрные вакуумные пакеты с рабочими полостями порядка единиц кубических сантиметров и меньше
- изделия длительного срока службы, где критична суммарная утечка за годы эксплуатации
- объекты, для которых требуется не просто обнаружение дефекта, а достоверное количественное определение сверхмалой течи

Принцип работы стенда ЛИКЛАБ

Основой стенда является миниатюрная вакуумная камера накопления, выполненная из металла с минимальным собственным газовыделением. Внутри помещают изделие, предварительно содержащее гелий в объеме корпуса, либо изделие, прошедшее специальную стадию насыщения гелием согласно технологической методике. Камера откачивается, после чего изолируется от вакуумной системы клапаном. В течение заданного времени гелий, выходящий из микродефектов изделия, накапливается внутри камеры. Затем клапан быстро открывается на тракт масс-спектрометрического течеискателя, и весь накопленный за период изоляции гелий поступает в анализатор в виде короткого переходного процесса.

С практической точки зрения стенд включает следующие узлы:

- накопительную вакуумную камеру малого объема
- быстродействующий клапан с воспроизводимым временем срабатывания и стабильной проводимостью
- тракт связи с масс-спектрометрическим течеискателем
- систему предварительной откачки и подготовки камеры
- систему регистрации переходного сигнала с высоким временным разрешением
- программный модуль интегральной обработки и пересчета площади под кривой в поток течи
- канал калибровки по эталонной гелиевой течи, работающей в том же накопительном режиме
- средства фоновой проверки, холостого прогона и коррекции нулевой линии

Для задач микроэлектромеханики накопительный объем делают минимально достаточным. Чем меньше объем камеры при прочих равных условиях, тем быстрее растет концентрация гелия внутри накопительного пространства и тем выше сигнал после открытия клапана. При этом камера должна оставаться технологичной, удобной для загрузки изделий и устойчивой к циклической работе.

Почему малая камера повышает чувствительность

Смысл метода состоит не только в накоплении по времени, но и в накоплении в ограниченном объеме. Если тот же самый поток гелия выпускать в большой объем, концентрация нарастает медленно, а переходный сигнал после открытия клапана получается слабым. Если же накопление идет в камере малого объема, то парциальное давление гелия возрастает заметно быстрее, а значит, после открытия клапана в течеискатель попадает более концентрированная порция измеряемого газа.

Именно поэтому для высокочувствительных стендов применяют миниатюрные камеры, минимизируют мертвые объемы, сокращают длину внутренних каналов, избегают лишних полостей и выполняют весь накопительный тракт из материалов с малой сорбцией и низким фоновым газовыделением. Для соединений, находящихся внутри

накопительной зоны, целесообразно использовать металлические уплотнения или иные решения, обеспечивающие минимальный собственный фон по гелию и стабильную геометрию после термоциклирования.

Базовые расчетные соотношения

Для накопительного режима ключевым параметром является не мгновенный сигнал течеискателя, а суммарное количество гелия, накопленного в камере за время изоляции. В инженерных расчетах используют следующие базовые зависимости.

1. Количество накопленного гелия

$$S = Q \cdot t_n \cdot (P / P_0)$$

Здесь S - накопленная доза гелия в накопительной камере, Па·м³, Q - искомый поток течи изделия, Па·м³/с, t_n - время накопления, с, P - давление гелия внутри изделия или эффективное давление тестового газа в полости изделия, Па, P_0 - нормирующее давление, обычно атмосферное, Па.

Из этой формулы следует важнейший практический вывод. При неизменных условиях изделия накопленная доза гелия растет пропорционально времени накопления. Это означает, что удлинение периода накопления прямо увеличивает измеряемую площадь переходного сигнала и тем самым расширяет возможности по регистрации сверхмалых течей.

2. Пересчет накопленной дозы в поток течи

$$Q = S / (t_n \cdot (P / P_0)) = S \cdot P_0 / (t_n \cdot P)$$

Если изделие содержит гелий при давлении, близком к атмосферному, то множитель P / P_0 близок к единице, и поток течи практически равен накопленной дозе, деленной на время накопления. Если же давление гелия в изделии отличается от атмосферного, этот коэффициент обязательно учитывают.

3. Интегральное определение накопленной дозы по переходному сигналу

$$S = \int_{t_1}^{t_2} [y(t) - y_0(t)] dt$$

Здесь $y(t)$ - зарегистрированный сигнал течеискателя после открытия клапана, выраженный в единицах потока, а $y_0(t)$ - линия нуля, или базовая линия, аппроксимированная по участкам до и после основного пика. Интервал интегрирования от t_1 до t_2 выбирают от момента открытия клапана до точки завершения основного переходного процесса. Интеграл имеет размерность Па·м³ и численно соответствует количеству гелия, накопленному в камере.

4. Итоговая формула для расчета потока через интеграл переходной кривой

$$Q = (P_0 / P) \cdot (1 / t_n) \cdot \int_{t_1}^{t_2} [y(t) - y_0(t)] dt$$

Эта зависимость и является основой количественного накопительного метода. Она показывает, как время накопления влияет на результат. Чем больше t_n , тем больше накопленный сигнал при одном и том же дефекте. Следовательно, накопление позволяет искусственно перевести практически неизмеримый в реальном времени поток в уверенно измеряемую накопленную дозу.

Как связать реальную течь и накопительный режим

Для инженерной практики важно понимать, что накопительный режим не создает течь заново и не искажает физику дефекта. Он только меняет способ регистрации. Реальная течь существует во времени непрерывно, но измеряется не мгновенным показанием, а суммарным количеством гелия, собранным за заданный интервал. Поэтому корректный пересчет от течи, измеряемой в реальном времени, к течи, измеряемой в режиме накопления, выглядит так:

$$S = \int_0^{t_n} q(t) dt \cdot (P / P_0)$$

Если поток течи постоянен во времени, то $q(t) = Q$, и интеграл переходит в линейную форму $S = Q \cdot t_n \cdot (P / P_0)$. Если же поток нестационарен, например при релаксации материала, температурном дрейфе или сорбционных процессах, то накопительный режим дает среднюю по времени дозу, а результат интерпретируют уже через интеграл от текущего потока.

На практике это означает следующее. При удвоении времени накопления полезная площадь под переходной кривой в первом приближении также удваивается, если фон и режим изделия остаются неизменными. Поэтому время накопления является одним из главных инструментов настройки чувствительности стенда.

Интегрирование площади под кривой после открытия клапана

После открытия клапана, соединяющего накопительную камеру с течеискателем, регистрируется переходная кривая. Она имеет характерный вид. Сначала наблюдается быстрый рост сигнала, затем пик, после чего следует спад по мере

того, как накопленный гелий выводится из камеры и проходит через анализатор. Важнейшее условие достоверного расчета состоит в правильном определении нулевой линии и конечной точки интегрирования.

В методике ЛИКЛАБ используют несколько последовательных операций обработки:

- До открытия клапана записывают участок сигнала, необходимый для оценки текущего дрейфа нулевой линии.
- После открытия клапана регистрируют весь переходный процесс до момента, когда сигнал возвращается к базовому уровню.
- По участкам записи до пика и после окончания переходного процесса строят аппроксимированную базовую линию. Для этого обычно применяют линейную аппроксимацию или иной устойчивый метод оценки нуля.
- Определяют конечную точку интегрирования как момент завершения переходного процесса, когда измеренная кривая пересекает аппроксимированную нулевую линию либо входит в установленный коридор фона.
- Вычисляют площадь между кривой переходного сигнала и базовой линией. Эта площадь и есть эквивалент накопленной дозы гелия.