

# REALMETER® 正十二烷 (n-C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>) 标准漏孔

面向 EUV 光刻 HHC 污染的可溯源量化基准与管控方法（白皮书）

v1.0 | 2026-01-10

上海睿米仪器仪表有限公司 | REALMETER®

文档级别：对外公开 (Public)

摘要要点：本白皮书给出一种把 RGA 趋势信号升级为“可溯源分压”的工程方法。通过标准漏孔证书给定的输出  $Q$  (Pa·m<sup>3</sup>/s)，在同构型下建立  $P_{std}=Q/S_{eff}$  与响应因子  $K=I/P$ ，实现 HHC 相关峰的定量换算、阈值化监控与溯源诊断。

## 睿米®十二烷C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>标准漏孔（典型漏率值）



序号	名称	参数
1	订货号	*RM5C123.0-6Pa
2	漏率	$3.0 \times 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ ; (23°C) *漏率可定制 (10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-10</sup> pa.m3/sec) *加工公差: ±30%*
3	介质	正十二烷C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>
4	制作工艺	微通道毛细管
5	阀门	PSOZV™常闭气动阀: x1 常闭气动阀: x1 气动压力: 0.4-0.6Mpa, 接4mm或6mm气管
6	真空连接	VCR1/4 male
7	尺寸	235mm(高) x100mm (最宽)
8	出口压力	真空(<0.1pa)
9	温度系数	指数变化~12%/°C 第一次,预抽~2h
10	预抽时间	正常使用~10分钟即可校准 破真空后需重新预抽

### PSOZV/RGA标准漏孔 十二烷C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>

**$2.9 \times 10^{-6}$**  ±10%  
**Pa.m3/sec**

@23.0°C 温度修正: 12%/°C(指数)

型号:RM5C123.0-6Pa SN:509499

校准号: 251015011 2025/10/15

上海睿米® 021-58220307



## 版权声明与免责声明

© 2026 上海睿米仪器仪表有限公司。保留所有权利。

本文件为对外公开（Public）版本，用于介绍 REALMETER® 正十二烷（ $n\text{-C}_{12}\text{H}_{26}$ ）标准漏孔在 EUV 光刻 HHC（可凝结有机污染物）量化管控中的原理与方法。未经书面许可，不得以任何形式复制、传播或用于商业推广以外的用途。

本文件所述方法与参数为通用工程指导，具体阈值、测点与工艺判据需结合客户工具构型（抽速/电导/测点位置/运行工况）与内部规范确定。除非合同或证书另有约定，本文不构成对特定用途的保证或承诺。

如需获取证书样例、现场导入建议或接口/流量定制方案，请联系 REALMETER® 技术支持。

## 文档信息与版本记录

表 1 文档信息

文档名称	REALMETER® 正十二烷（n-C12H26）标准漏孔白皮书
版本	v1.0
发布日期	2026-01-10
适用范围	EUV/真空系统 HHC（可凝结有机物）监测与 RGA 量化校准
联系方式	（此处可填公司官网/邮箱/电话）

## 版本变更记录

表 2 版本变更记录

版本	日期	变更说明	备注
v1.0	2026-01-10	首次对外发布版	对外发布版（白皮书增强）

## 目录

<b>八、结论</b>	<b>18</b>
<b>七、未来展望</b>	<b>18</b>
6.2 国产 EUV 生态支撑价值	18
6.1 国产 EUV 光刻机研发阶段的潜在应用场景与预期价值	17
<b>六、产业应用案例与价值体现</b>	<b>17</b>
5.6 注意事项与维护周期	17
5.5 数据记录与报告	16
5.4 详细操作步骤	15
5.3 前置条件与工具材料	14
5.2 适用范围	14
5.1 目的	14
<b>五、标准化操作流程 (SOP)</b>	<b>14</b>
4.4 核心操作流程	13
4.3 关键特性：适配 EUV 光刻场景	13
4.2 核心技术：质量法直接标定原理	13
4.1 典十二漏孔品介及核心格	11
<b>四、核心技术原理与操作体系</b>	<b>11</b>
3.3 产业价值：建立可溯源量化基准，降低供应链与验证不确定性	11
3.2 工艺保障：筑牢 EUV 光刻良率防线	10
3.1 技术突破：建立 HHC 量化分析的底层逻辑	10
<b>三、关键价值：从趋势判断到量化管控的能力升级</b>	<b>10</b>
2.4 安全适配：无二次污染风险	10
2.3 标准统一：支撑跨产线工艺协同	10
2.2 污染溯源：实现“精准定位-靶向管控”	9
2.1 精准量化：匹配 EUV 光刻 ppt 级检测需求	9
<b>二、核心需求：为何需要 REALMETER® 正十二烷漏孔？</b>	<b>5</b>
1.3 传统 HHC 分析方法的局限性	9
1.2 HHC 污染：EUV 光刻的核心技术隐患	8
1.1 半导体工艺演进驱动 EUV 光刻成为核心支撑	8
<b>一、行业背景：EUV 光刻时代的 HHC 污染管控困境</b>	<b>5</b>
<b>摘要</b>	<b>5</b>
常用单位换算	7
<b>符号与单位</b>	<b>7</b>
<b>术语与缩略语表</b>	<b>6</b>
<b>表目录</b>	<b>5</b>
<b>图目录</b>	<b>5</b>
版本变更记录	4
<b>文档信息与版本记录</b>	<b>4</b>
<b>版权声明与免责声明</b>	<b>3</b>

图目录

图 4 SOP 流程概览：基线 → 标定 → 换算 → 监测 → 溯源闭环 15

图 3 标准化量化校准与诊断流程（示意） 13

图 2 典型安装与接口：VCR 1/4" 标配（可选 VCR→CF35/CF40 转接） 12

图 1 从标准漏孔到分压：量化链路（Q → P\_std → K） 8

表目录

表 10 附录 3：HHC 染判定表（模板） 20

表 9 附录 2：响应因子标定报告（模板-通道数据表） 20

表 8 附录 2：响应因子标定报告（模板-信息页） 19

表 7 附录 1：系统本底基线信号统计表（模板） 19

表 6 品核心格（摘要） 12

表 5 常用单位换算 7

表 4 符号定义与单位 7

表 3 术语与缩略语表 6

表 2 版本变更记录 4

表 1 文档信息 4

术语与缩略语表

本节给出本文中常用术语与缩略语的统一定义，便于跨团队复现与审计。

表 3 略表

缩写/符号	英文全称	中文说明
EUV	Extreme Ultraviolet	紫外光刻
RGA	Residual Gas Analyzer	残余气体分析仪
HHC	Heavy Hydrocarbons	重碳氢化合物/可凝结有机物（广义）
AMC	Airborne Molecular Contamination	空气分子污染（洁净室语境）
CNAS	China National Accreditation Service	中国合格评定国家认可委员会
VCR	VCR® metal gasket face seal	金面密封接（空接）
CF	ConFlat® flange	刀口法金密封（）
S_eff	Effective pumping speed	测点处有效抽速（含电导影响）

Q	Throughput	吞吐量/漏率 (Pa·m <sup>3</sup> /s 或 mbar·L/s)
P	Partial pressure	分压 (Pa/mbar/Torr)
K	Response factor	响应因子 (I/P)
sccm	standard cubic centimeter per minute	标准毫升每分钟 (标准体积流量)

## 符号与单位

本白皮书采用真空工程常用“吞吐量/漏率 (Throughput)”定义：Q 的单位为 Pa·m<sup>3</sup>/s (亦常用 mbar·L/s)。下表给出全文关键符号与说明。

表 4 符号定义与单位

符号	含义	典型单位	备注
Q	标准漏孔输出 (证书给定)	Pa·m <sup>3</sup> /s 或 mbar·L/s	通过质量法标定
Δm	质量变化量	g 或 kg	与 M 单位保持一致
M	摩尔质量 (正十二烷)	g/mol	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> ≈ 170.34 g/mol
Δt	计时区间	s	质量法测量时间窗
R	气体常数	J/(mol·K)	R=8.314
T	温度	K	T=273.15+°C
P <sub>0</sub>	标准压力	Pa	用于换算标准体积流量
S <sub>eff</sub>	测点有效抽速	m <sup>3</sup> /s 或 L/s	含管路电导/阀门影响
P <sub>std</sub>	通入漏孔后的稳态分压	Pa 或 mbar	P <sub>std</sub> =Q/S <sub>eff</sub>
I	RGA 特征峰信号	counts/s 或 A	与 RGA 设置有关
K	响应因子	(counts/s)/Pa 或 A/Pa	K=I <sub>std</sub> /P <sub>std</sub>
m/z	质荷比 (质量数)	amu/e	RGA 质量轴

## 常用单位换算

表 5 常用单位换算

换算项	关系式
压力	1 mbar = 100 Pa ; 1 Torr ≈ 133.322 Pa
吞吐量/漏率	1 Pa·m <sup>3</sup> /s = 10 mbar·L/s
标准体积流量	$\dot{V}_{std} = Q / P_0$ (单位 m <sup>3</sup> /s @P <sub>0</sub> , T)

## 摘要

随着半导体工艺向先进节点演进，极紫外（EUV）光刻对腔体与光学模块的有机污染控制提出更严苛要求。重碳氢化合物（HHC，本文主要指可凝结的重烃/有机物组分）在 EUV 辐照条件下可能在光学表面形成碳沉积，导致反射率下降并增加维护频率。现有现场实践多依赖残余气体分析仪（RGA）的峰形与趋势判断，难以在不同设备/不同产线之间建立可比的量化指标。

REALMETER® 正十二烷（n-C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>）标准漏孔通过质量损失法（Mass-loss）在 CNAS 认可实验室完成标定，提供可溯源的漏率/吞吐量  $Q$ （Pa·m<sup>3</sup>/s）证书。将该标准信号源在既定真空构型下接入后，可建立稳态分压  $P$  与 RGA 信号  $I$  的响应因子  $K=I/P$ ，实现 HHC 相关峰的定量换算与阈值化管理，并为污染溯源、材料筛选与工艺参数优化提供可复现的工程基准。

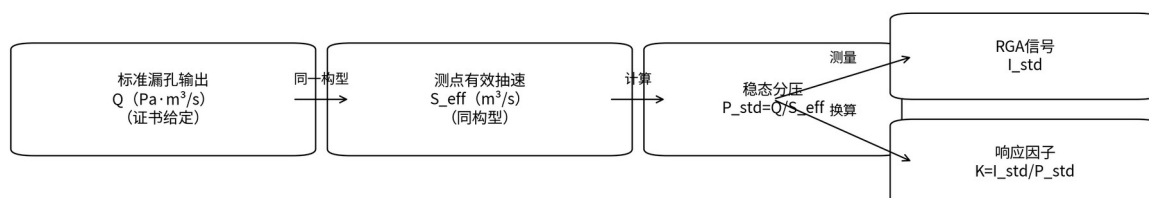


图 1 从标准漏孔到分压：量化链路（ $Q \rightarrow P_{std} \rightarrow K$ ）

## 一、行业背景：EUV 光刻时代的 HHC 污染管控困境

### 1.1 半导体工艺演进驱动 EUV 光刻成为核心支撑

全球半导体产业正朝着“更小、更快、更节能”的方向迭代，制程节点持续向更先进水平推进。在此进程中，传统深紫外（DUV）光刻在关键层面面临分辨率与工艺复杂度的限制；EUV 光刻凭借 13.5 nm 的短波长，在先进制程的关键层应用中发挥越来越重要的作用。

### 1.2 HHC 污染：EUV 光刻的核心技术隐患

EUV 光刻系统对工作环境洁净度提出极致要求，尤其需严格控制重碳氢化合物（HHC， $C_6^+$ ）污染。HHC 主要来源于光刻胶挥发、密封件放气、管路吸附残留等环节，在 EUV 光子辐射作用下，会在 Mo/Si 多层膜光学反射镜表面发生解离聚合，形成稳定的类石墨碳膜。行业研究数据表明，仅 1~3nm 厚的碳膜即可导致 EUV 反射镜反射率下降至少 1%，直接引发光刻图形线宽偏差（CD）增大、套刻精度降低，最终造成芯片良率下滑；若碳污染持续累积，还会导致光学元件不可逆损伤，显著增加设备维护成本与停机损失。



在 EUV 相关模块中，系统总压与局部分压会随腔体架构、抽气路径与工况变化而不同。对污染管控而言，更关键的是将可凝结有机物（HHC）在关键测点的分压控制在极低水平，并通过可复现的量化方法进行监测、对比与阈值管理。

### 1.3 传统 HHC 分析方法的局限性

在 REALMETER® 正十二烷漏孔问世前，半导体行业对 EUV 光刻 HHC 污染的分析普遍采用“趋势性定性判断”模式，即依赖残余气体分析仪（RGA）的峰形变化推测污染是否存在，该模式存在三大核心局限，无法适配先进制程需求：

无法定量：缺乏标准化参考基准，无法将 RGA 信号强度转化为具体的 HHC 分压或浓度数据，难以精准判断污染程度是否超出行业安全阈值；

溯源困难：无法有效区分 HHC 污染来源（外部泄漏、内部材料放气或光刻胶产气），导致污染管控陷入“被动应对”困境，难以从源头解决问题；

数据不可比：不同产线、不同设备间缺乏统一的检测标准，数据偏差较大，无法为跨线工艺协同与良率分析提供可靠支撑；

随着先进工艺对污染控制要求提高，单纯依赖峰形/趋势的定性判断已难以支撑跨工具、跨产线的一致性管理。现场迫切需要一种可溯源的标准化信号源，把 RGA 输出（counts/s 或 A）与分压（Pa、mbar 或 Torr）建立可校准的换算关系，从而实现可比的量化判定与快速溯源。

## 二、核心需求：何需要 REALMETER® 正十二烷漏孔？

### 2.1 精准量化：匹配 EUV 光刻 ppt 级检测需求

EUV 相关模块对 HHC 的关注分压通常处于极低量级，信号易受 RGA 灵敏度、背景、本底漂移以及抽速构型影响。为获得可比的定量结果，需要使用标准化物质建立“信号强度-分压”的换算关系。REALMETER® 正十二烷标准漏孔可提供 CNAS 可溯源的漏率/吞吐量 Q 证书（典型可定制范围  $1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ； $1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} = 10 \text{ mbar} \cdot \text{L/s}$ ），作为 HHC 定量分析的基准输入。

### 2.2 污染溯源：实现“精准定位-靶向管控”

通过在相同真空构型下建立响应因子，并结合工艺阶段、温度/抽速变化、以及多碎片峰比值（例如  $m/z=43/57/71/85$  的相对关系），可显著提升对外部泄漏、材料放气与工艺产气等来源的区分效率。上述判定应与检漏、材料替换或工艺复核等手段形成证据链，以获得可审计的溯源结论。

## 2.3 标准统一：支撑跨产线工艺协同

REALMETER® 正十二烷漏孔配备 CNAS 可溯源证书，标定过程采用质量损失法直接溯源至国际单位制（SI）中的质量基本量。证书给出的实际漏率/吞吐量  $Q$  为使用基准；证书不确定度（通常以  $k=2$  给出）以证书为准，典型可做到  $\leq 0.5\%$ 。需注意：漏孔可按目标值定制，制造偏差可能高于证书不确定度，但最终以证书给出的实际值进行量化计算与数据对比。

## 2.4 安全适配：无二次污染风险

正十二烷化学惰性良好，在室温具有一定蒸气压（例如 23 °C 约 13 Pa；随温度升高而上升），无需额外加热即可形成稳定释放。作为标定介质，其主要作用是提供可重复的有机物指纹与可溯源的输入量；使用过程中需按 SOP 进行预抽与洁净管理，以减少外部污染引入与记忆效应。

# 三、关键价值：从趋势判断到量化管控的能力升级

## 3.1 技术突破：建立 HHC 量化分析的底层逻辑

REALMETER® 正十二烷漏孔的核心突破，在于将“质量法直接标定”技术与 EUV 光刻 HHC 分析场景深度适配，构建起“标准漏率-稳态分压-信号强度”的完整量化逻辑链，具体实现路径如下：

通过质量法精准称量单位时间内正十二烷的质量损耗，结合其摩尔质量及理想气体状态方程直接计算漏率，规避间接法的累积误差；

漏孔释放的正十二烷在 EUV 腔中经分子泵抽排，形成稳定的稳态分压（ $P=Q/S$ ，其中  $Q$  为漏率， $S$  为分子泵抽速）；

基于稳态分压（ $P$ ）与 RGA 特征峰信号强度（ $I$ ）建立响应因子模型（ $K=I/P$ ），可将实际工况中的 RGA 信号直接转化为 HHC 分压，实现从“定性判断”到“定量计算”的本质跨越。

与传统定性分析方法相比，REALMETER® 量化方案的技术优势显著，具体对比如下：

## 3.2 工艺保障：筑牢 EUV 光刻良率防线

REALMETER® 正十二烷漏孔的量化分析能力，为 EUV 光刻工艺提供全流程洁净度保障，其核心价值主要体现在以下三方面：

光学元件保护：通过量化监测建立洁净度阈值与预警机制（阈值应依据工具规格、测点位置与反射率容许度确定），在污染接近阈值前触发维护与排查，降低不可逆沉积风险。

工艺优化：基于量化数据评估烘烤、抽气路径与材料选择对 HHC 的影响，缩短问题定位时间，并为烘烤策略、泵组配置与材料导入提供数据依据。

良率与稳定性：通过减少 HHC 波动带来的工艺漂移风险，提升跨批次稳定性；具体收益应结合客户工具构型与工艺数据进行评估。

### 3.3 产业价值：建立可溯源量化基准，降低供应链与验证不确定性

在高端标准漏孔与超低流量基准件领域，行业普遍采用第三方溯源与证书体系以满足审核与复现要求。REALMETER® 通过质量损失法标定与工程化设计，提供面向气体与可凝结有机物的标准漏孔方案，并可按客户构型输出标定证书与使用指南，便于快速导入与审计。

产品体系可覆盖常见惰性气体/工艺气体以及可凝结有机物（如正十二烷等）的单介质标准漏孔，并可按需求提供接口与阀门配置。对比维度（稳定性、可重复性、证书不确定度、交付一致性）建议以可验证数据与证书为准。

溯源体系：依托 CNAS 认可实验室，提供符合审核要求的溯源证书与记录链条，便于复现与审计。

定制能力：可根据客户需求定制  $3 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  等全量程漏率，适配不同工艺场景；

交付与服务：通过本地化交付与定制化支持，降低交付周期与综合导入成本（具体以项目配置与现场条件为准）。

该漏孔方案的价值在于：为 EUV 相关模块的 HHC 监测提供可溯源的标准输入与可复现的量化流程。在研发与量产导入阶段，可用于洁净度设计验证、真空系统性能评估、材料/部件放气筛选与维护触发条件的建立，从而提升问题定位效率与跨工具数据一致性。具体导入路径与收益应结合客户工具架构、测点位置、抽速构型与工艺数据进行评估。

## 四、核心技术原理与操作体系

### 4.1 经典十二烷漏孔产品介绍及核心规格

REALMETER® 十二烷（ $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ ）标准漏孔，是专为半导体 EUV 光刻 HHC 污染量化管控设计的核心基准器件，采用微通道毛细管制作工艺，具备稳定可靠、场景适配性强等特点。

其核心规格参数（经典漏率）如下：

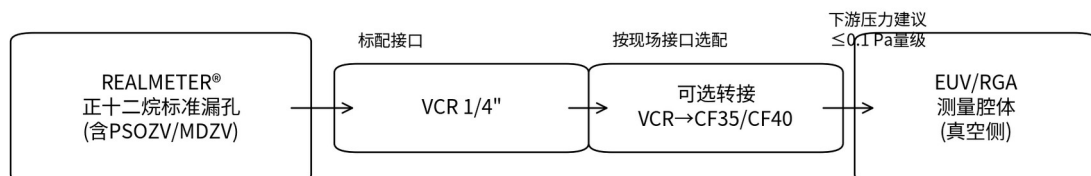


图 2 典型安装与接口：VCR 1/4" 标配（可选 VCR→CF35/CF40 接）

表 6 品核心格（摘要）

项目	规格/说明
型格	典型型号 RM5C123.0-6 Pa，支持定制化生产；
核心漏率（证书值）	典型 $3.0 \times 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ （23 °C，约 $3.0 \times 10^{-5} \text{ mbar}\cdot\text{L/s}$ ）；可定制范围 $1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ 。制造按目标值控制（目标偏差可达 $\pm 30\%$ ），但使用以 CNAS 证书给出的实际值为准；证书不确定度典型 $\leq 0.5\%$ （以证书为准）。
填充介质	正十二烷（C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> ），化学惰性优异，无二次污染风险；
制作工艺	微通道毛细管结构，确保漏率稳定性；
关键部件	配备 1 个 REALMETER® PSOVZ™ 常闭气动阀（可选配 MDZV™ 等配置，按项目需求）；驱动气压 0.4-0.6 MPa；兼容 4 mm 或 6 mm 气管。
真空连接	标配 VCR 1/4" male；可选配 VCR-to-CF35/CF40 转接件或按项目定制 CF 接口。
物理尺寸	235 mm（高）× 100 mm（最宽），结构紧凑便于安装；
使用条件与预处理	下游（真空侧）压力建议低于 0.1 Pa（约 $1 \times 10^{-3} \text{ mbar}$ ）；输出对温度敏感，建议控制环境温度并根据证书/温度修正曲线进行修正。首次使用建议预抽约 2 h（或直至本底稳定）；日常使用预抽约 10 min 可完成校准；若系统破真空或更换管路，应重新预抽并重建基线。

4.2 核心技术：质量法直接标定原理

REALMETER® 正十二烷漏孔采用质量损失法（Mass-loss）进行直接标定：通过高精度称量在已知时间窗口内漏孔释放介质的质量损耗 Δm，换算得到摩尔流量，并结合理想气体状态方程得到漏率/吞吐量 Q。该方法以“质量”作为基准量，可直接追溯至 SI 质量基本量，避免间接法的累积误差，适合为 RGA 定量建立可审计的基准输入。

核心公式（漏率/吞吐量，Throughput）： $Q = (\Delta m / (M \times \Delta t)) \times R \times T$

公式说明：Q 为漏率/吞吐量（Throughput，单位 Pa·m³/s），Δm 为称量时间窗口内的质量损耗（kg 或 g，需与 M 的单位一致），M 为摩尔质量（kg/mol 或 g/mol），Δt 为称量时间（s），R 为气体常数（8.314 J/(mol·K)），T 为绝对温度（K）。单位换算：1 Pa·m³/s = 10 mbar·L/s。若需要标准体积流量（m³/s@P₀,T），可由  $\dot{V}_{std} = Q / P_0$  计算，其中 P₀ 为标准压力（Pa）。

标定过程在 CNAS 认可实验室完成，核心环境要求：温度  $23\pm0.1^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度  $45\pm2\%\text{RH}$ ，洁净度达 ISO 5 级；采用  $1\mu\text{g}$  级高精度电子天平完成称量，标定结果可直接追溯至国家计量基准，确保溯源权威性与数据可靠性。

### 4.3 关键特性：适配 EUV 光刻场景

漏率特性：漏率不可调节，但可定制  $3\times10^{-6}\sim3\times10^{-9}\text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$  等全量程规格，常温下（蒸汽压  $13\text{ Pa}$ ）即可稳定释放分子流，无需额外加热；

稳定性：年漏率漂移典型  $<1\%$ （以产品与使用条件为准），适合长期基线维护与对比分析。

兼容性：主体采用 316L 不锈钢与金属密封体系；真空接口可为 VCR 或 CF（通过转接件或定制实现），连接管路建议采用电解抛光不锈钢管/波纹管，尽量避免有机材料与死角。

安全性：正十二烷化学惰性高，与半导体核心材料无反应，无二次污染风险。

### 4.4 核心操作流程

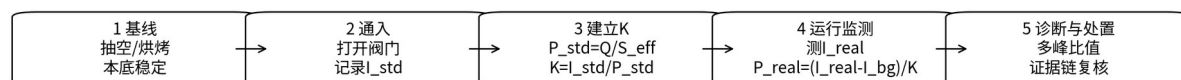


图 3 标准化量化校准与诊断流程（示意）

基于 REALMETER® 正十二烷漏孔的 HHC 量化分析，核心操作流程分为“设备连接-基线建立-定量计算-污染溯源”四步，确保操作标准化、结果可复现且可靠，具体流程如下：

设备连接：采用内壁电解抛光的 316L 不锈钢波纹管/管件，将漏孔连接至 RGA 采样口附近（尽量距离短、少弯、少死角），避免管路体积与记忆效应导致信号失真；通过氦质谱检漏仪验证连接密封性，连接漏率目标建议  $\leq 1\times10^{-10}\text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ （或按客户规范）。

基线建立：① 本底基线：关闭漏孔，连续采集一定时长（建议  $\geq 30\text{ min}$ ）的 HHC 相关峰信号（如  $m/z=43/57/71/85$ ），记录本底均值与波动（标准差）；② 标准基线：打开漏孔，待代表峰与相关峰进入稳态后采集数据，得到稳态信号  $I_{\text{std}}$ ；结合证书给出的  $Q$  与测点有效抽速  $S_{\text{eff}}$  计算  $P_{\text{std}} = Q / S_{\text{eff}}$ ，并建立响应因子  $K = I_{\text{std}} / P_{\text{std}}$ ；③ 判定基线：依据工具规格与工艺容许度设定  $P_{\text{limit}}$ ，并用  $K$  映射为  $I_{\text{limit}}$ ，定义正常/预警/超标分级区间，写入现场 SOP。

定量计算：实际工况中，实时采集代表峰与辅助峰信号  $I_{\text{real}}$ ，扣除本底  $I_{\text{bg}}$  后，按  $P_{\text{real}} = (I_{\text{real}} - I_{\text{bg}}) / K$  计算对应分压；建议同步检查多峰一致性（峰比值与指纹一致性）以降低误判风险。

污染溯源：对比实际信号与标准基线，结合工艺阶段（如曝光/非曝光）、抽速/温度变化与多峰比值特征，形成对“外部泄漏/材料放气/工艺产气”等来源的初步判断；并与检漏、材料替换或工艺复核等手段形成证据链，输出可审计的溯源结论与处理措施。

## 五、标准化操作流程（SOP）

### 5.1 目的

规范使用 REALMETER® 正十二烷漏孔开展 EUV 光刻 HHC 量化分析的操作流程，确保检测数据准确、操作安全合规、结果可靠可复现，为 HHC 污染精准管控提供标准化技术支撑。

### 5.2 适用范围

适用于 3nm/2nm 及以下节点 EUV 光刻设备的 HHC 污染监测，涵盖漏孔连接、基线建立、定量计算、异常判定与处理等全流程。

### 5.3 前置条件与工具材料

前置条件：EUV 腔及管路已完成 120-150 °C、24-48 h 烘烤除气（降低残留有机物与水汽）；系统本底已稳定（以现场 RGA 噪声与基线判据为准）。RGA 已预热  $\geq 2$  h，质量轴校准完成（建议以惰性气体或已知参考峰校准）；漏孔在 CNAS 校准证书有效期内（建议 1 年）。

工具材料：① REALMETER® 正十二烷标准漏孔（漏率按腔体构型与检测范围选型，建议由“目标分压  $\times$  有效抽速”反算所需  $Q$ ，并在证书范围内选取）；② 316L 不锈钢电解抛光波纹管/管件（尽量短、少弯、少死角）；③ 密封与接口件：VCR 1/4" 对应密封件/扭矩工具，或 CF35/CF40 金属密封件（视现场接口而定，必要时使用 VCR-to-CF 转接件）；④ 氦质谱检漏仪（灵敏度指标以现场设备为准，工作于氦通道  $m/z=4$ ，用于连接密封性验证）；⑤ 无尘纸、无水乙醇（或同等级溶剂）、洁净手套、力矩扳手、洁净封帽等。



## 5.4 详细操作步骤

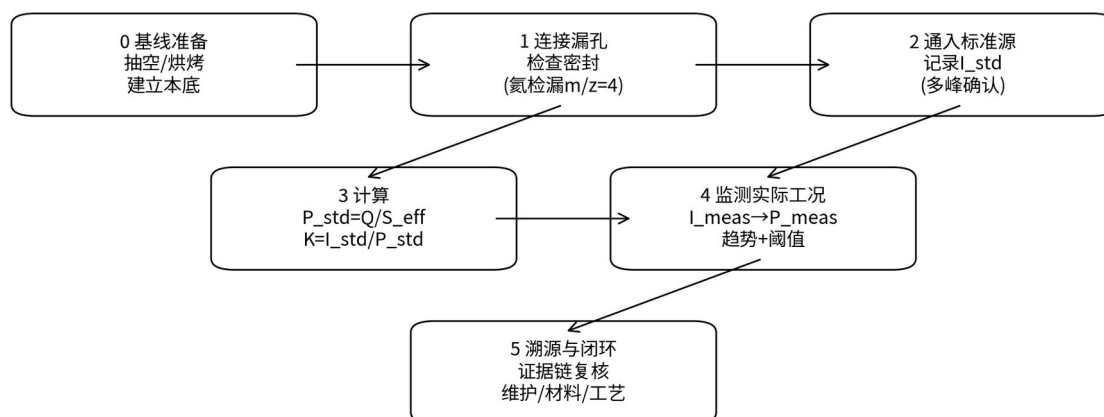


图 4 SOP 流程概览：基线 → 标定 → 换算 → 监测 → 溯源闭环

### 步骤 1：设备连接与密封性验证

部件清洁：① 预处理：用无尘纸蘸取少量无水乙醇，擦拭波纹管、法兰表面浮尘；② 超声波清洗：将部件放入超声波清洗机，加入半导体级丙酮浸泡，设置功率 500W、频率 40kHz，清洗 15 min；倒出丙酮，更换为半导体级无水乙醇，重复清洗 15 min；③ 烘干：将清洗后的部件放入高温烘箱，设置温度 120℃、鼓风速率 2m/s，烘烤 2 h；④ 验收标准：用无尘纸擦拭部件表面，无油污残留；部件表面无水印、无划痕；烘烤后冷却至室温，立即进行下一步操作（避免二次污染）；

连接布局：将漏孔通过不锈钢管/波纹管连接至 RGA 采样口附近，优先选择距离短、体积小、无死角的路径。按现场接口选择 VCR 或 CF 金属密封，并按对应规范使用扭矩工具均匀紧固，避免泄漏与颗粒/有机物引入。

氮质谱检漏：① 预处理：关闭漏孔通断阀（PSOV/等效阀，仅用于通断控制），启动泵组并抽至稳定本底；② 设备设置：按检漏仪说明设置（氮通道  $m/z=4$ ）；③ 检漏操作：用氮气喷枪沿接头、阀杆、焊缝等关键部位缓慢扫描，确认连接处总漏率满足现场要求（建议目标  $\leq 1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ，或按客户规范）。

RGA 参数设置：扫描范围  $m/z=1 \sim 200$ ，积分时间 1s/点，扫描周期 30s，自动记录  $m/z=43$ 、57、71、85 信号。

### 步骤 2：基线建立

本底基线：① 准备工作：关闭漏孔，待系统压力与 RGA 信号稳定；② 数据采集：连续采集一定时长（建议  $\geq 30 \text{ min}$ ）的 HHC 相关峰信号；③ 验收标准：以现场噪声水平设定阈值，要求本底均值与波动满足后续定量分辨率需求，并记录作为“本底均值/标准差”。

标准基线：打开漏孔，实时监测信号变化，待代表峰与相关峰（建议  $m/z=43/57/71/85$ ）进入稳态后采集数据。记录稳态信号均值  $I_{std}$ ，并结合证书给出的  $Q$  与测点有效抽速  $S_{eff}$  计算稳态分压  $P_{std} = Q / S_{eff}$ ；由此得到响应因子  $K = I_{std} / P_{std}$ 。建议重复标定并评估  $K$  的重复性（例如偏差  $\leq 3\%$ ，以现场需求为准），用于提升换算可靠性。

判定基线：根据工具规格与工艺容许度设定分压阈值  $P_{limit}$ ，并通过  $K$  将其映射为信号阈值  $I_{limit}$ 。建议定义分级区间（正常/预警/超标）并写入现场 SOP，确保判定一致、可审计。

### 步骤 3：HHC 定量计算

关闭漏孔，待信号回落至本底后启动 EUV 工艺；

实时采集代表峰及辅助峰信号（例如以  $m/z=57$  为代表峰，并同步记录  $m/z=43/71/85$  作为一致性校验）。按  $P_{real} = (I_{real} - I_{bg}) / K$  计算对应分压（ $I_{bg}$  为本底均值； $K$  为响应因子）。

记录工艺阶段、信号强度、分压值及污染等级。

### 步骤 4：异常判定与处理

异常判定与处理：① 正常（1 级）：实时信号  $< 21$  counts/s，持续监测，每小时记录 1 次  $m/z=57$  信号强度、系统真空度、工艺阶段，形成趋势曲线；② 轻度异常（2 级）：信号  $21 \sim 210$  counts/s，立即暂停 EUV 曝光工艺，保持分子泵运行，实施  $120^\circ\text{C}$  梯度补充烘烤（先  $60^\circ\text{C}$  预热 2 h，再升温至  $120^\circ\text{C}$  保温 12 h）；烘烤完成后冷却至工艺温度，复测 HHC 分压，若回落至  $< 3 \times 10^{-8}$  Pa（信号  $< 21$  counts/s），可恢复工艺；若复测仍不达标，重复烘烤 1 次，若仍异常则升级为严重异常；③ 严重异常（3 级）：信号  $> 210$  counts/s，立即停机（关闭 EUV 光源，保持分子泵低功率运行维持真空）；第一步：用氦质谱检漏仪排查外部泄漏（重点检测法兰接头、管路焊缝）；第二步：若未检测到外部泄漏，拆卸漏孔与 RGA 采样口连接管路，检查内部是否存在材料放气或污染；第三步：若管路清洁，排查光刻胶是否存在异常产气，更换光刻胶批次后重新测试；第四步：所有排查处理完成后，重新建立基线，复测 HHC 分压  $< 3 \times 10^{-8}$  Pa 后，方可恢复系统运行；④ 异常记录：详细记录异常发生时间、信号峰值、工艺阶段、处置措施及效果，纳入《EUV 光刻 HHC 量化分析日报》，作为工艺优化依据；

## 5.5 数据记录与报告

每日生成《EUV 光刻 HHC 量化分析日报》，涵盖基线数据、工况数据、异常记录及处理结果；每月汇总生成趋势报告，为工艺优化提供数据支撑。

## 5.6 注意事项与维护周期

注意事项：① 拆装与污染防控：优先在具备隔离条件下进行（隔离阀、load-lock 等），避免直接将真空侧长时间暴露在普通环境空气中。如必须通大气，建议在洁净环境下操作，并采用超高纯氮气置换/吹扫与洁净封帽，降低水汽与有机物引入风险；拆装后按 SOP 重新烘烤除气并重



建基线。② 工具与耗材：所有与漏孔、管路接触的工具与零件应洁净处理（溶剂擦拭、洁净烘烤或等效流程），操作中佩戴无尘手套，避免颗粒与有机残留。

维护周期：每日记录核心数据；每月复核基线稳定性；每季度复校 RGA 响应因子、清洗管路；每年送 CNAS 认可实验室复校漏孔（仍采用质量法标定）；

## 六、产业应用案例与价值体现

### 6.1 国产 EUV 光刻机研发阶段的潜在应用场景与预期价值

在国产 EUV 光刻机的研发进程中，REALMETER®正十二烷漏孔有望成为核心的 HHC 量化管控工具，可针对性引入核心真空系统、光学模块等关键研发验证平台，助力构建全流程 HHC 量化管控框架。该工具能够有效破解研发阶段洁净度验证缺乏量化基准、污染溯源困难等共性难题，为国产 EUV 研发提供精准的污染管控技术支撑，其潜在应用价值与预期成效如下：

污染溯源效率提升：针对研发过程中可能出现的 HHC 异常信号，可借助漏孔建立的标准基准，快速精准判定污染来源（如密封件放气、材料残留等），规避传统定性方法的排查滞后问题，助力及时解决污染隐患；

研发验证周期优化：通过量化数据支撑腔体烘烤等工艺参数的优化，有望缩短核心真空系统洁净度达标的验证时间，提升研发验证效率，为相关模块研发进度提供保障；

核心部件保护支撑：可精准量化光学元件等核心部件测试环境的 HHC 污染水平，建立适配的洁净度安全阈值，减少污染导致的测试失效风险，降低研发过程中的耗材损耗与成本投入；

光刻胶研发筛选适配：在国产 EUV 光刻胶研发筛选阶段，可利用漏孔建立标准化 HHC 放气测试体系，辅助筛选低污染光刻胶型号，为光刻胶配方优化提供量化参考，避免后续研发返工；

真空系统设计优化：针对核心真空系统的泵组配置、腔体结构设计等，可通过漏孔模拟 HHC 污染场景，量化评估不同设计方案的污染控制能力，为优化真空系统设计提供数据支撑；

光学模块集成保障：在核心光学模块集成测试阶段，可借助漏孔构建模拟工况的 HHC 污染环境，光模在不同染水平下的性能定性，助制定光模的度收准，保障集成后的光性能；

整机联调污染管控：针对整机联调阶段可能出现的多子系统复合 HHC 污染，可通过漏孔建立的量化分析逻辑，区分不同子系统的污染影响，辅助优化各子系统洁净度管控策略，保障整机联调顺利推进；

长期可靠性验证支撑：在设备长期稳定性测试中，可利用漏孔模拟实际工况下的 HHC 污染累积过程，监测污染累积对设备核心性能的影响，为设备寿命评估及维护方案制定提供参考；

国产供应链适配验证：可依托漏孔建立标准化测试平台，对国产真空管路、密封件等配套材料的 HHC 放气水平进行量化验证，助力筛选符合研发要求的国产材料，推动 EUV 产业链配套材料的国产化适配；

研发与量产标准衔接：提前依托漏孔建立研发阶段的 HHC 量化标准，可实现与未来量产阶段洁净度管控标准的有效衔接，为后续产业化落地奠定统一的洁净度管控基础。

## 6.2 国产 EUV 生态支撑价值

REALMETER®正十二烷漏孔有望为国产 EUV 光刻机研发及配套材料检测全流程提供关键量化支撑：在核心材料筛选阶段，可精准量化不同材料的 HHC 放气水平，为低污染材料选型提供客观依据；在真空系统研发阶段，能辅助评估系统污染控制能力，助力设计优化；在工艺验证阶段，可推动建立洁净度量化标准，保障研发成果的稳定性与可靠性。这种“研发即量化”的提前布局，不仅可为国产 EUV 光刻胶、光学元件等配套环节的性能验证提供可溯源的量化基准，更有助于我国在 EUV 研发初期构建优于国际同行的洁净度管控体系，推动产业链关键环节技术突破，助力降低对进口检测设备的依赖，为实现 EUV 领域的自主可控与技术赶超奠定基础。

## 七、未来展望

随着半导体工艺向 1.4nm 及以下节点演进，EUV 光刻对 HHC 污染的管控要求将进一步升级，对量化分析工具的精度、稳定性、智能化水平提出更高要求。REALMETER®将持续深耕半导体检测领域，围绕以下方向推进技术创新与迭代：

更高精度标定：持续提升质量法标定精度，突破现有技术瓶颈，以适配更先进工艺的 ppt 级乃至亚 ppt 级超痕量 HHC 检测需求；

智能化分析：开发集成漏孔控制、信号采集、数据处理的一体化系统，实现 HHC 污染的实时监测、自动预警与智能溯源；

全品类覆盖：拓展正十二烷之外的其他 HHC 标准漏孔品类，满足不同污染组分的量化分析需求；

生态协同：联合高校、科研院所与产业链伙伴，推动形成可复现的测试方法与推荐实践（如选型、标定、温度修正与数据报告格式），促进 EUV 相关有机污染监测的工程化与标准化。

## 八、结论

REALMETER® 正十二烷标准漏孔为 EUV 相关模块的 HHC 监测提供了可溯源的量化基准：通过在既定真空构型下建立响应因子，将 RGA 信号与分压建立可校准的换算关系，从而把“趋势性判断”升级为“可复现、可对比、可审计”的量化管理方法。该方法可用于阈值设定、维护触发、材料筛选与工艺参数优化，并提升污染溯源效率。

未来，随着工具架构与工艺要求演进，HHC 量化管控将更加依赖可溯源基准、稳定的工程实现与数据闭环。REALMETER® 将持续完善介质覆盖、接口与软件化流程，提升长期稳定性与现场可操作性，并与客户共同迭代更贴合量产现场的推荐实践。

附录 0：符号与单位说明（建议对外发布保留）

1) 漏率/吞吐量 (Throughput)  $Q$  : 单位  $\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$  或  $\text{mbar}\cdot\text{L}/\text{s}$  ; 换算 :  $1 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s} = 10 \text{ mbar}\cdot\text{L}/\text{s}$  。

2) 稳态分压  $P$  : 单位  $\text{Pa}$  、 $\text{mbar}$  或  $\text{Torr}$  ; 需在报告中固定单位并注明测点位置。常用换算 :  $1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$  ;  $1 \text{ Torr} \approx 133.322 \text{ Pa}$  。

3) 有效抽速  $S_{\text{eff}}$  : 单位  $\text{m}^3/\text{s}$  或  $\text{L}/\text{s}$  ; 用于  $P = Q / S_{\text{eff}}$  。 $S_{\text{eff}}$  需考虑管路电导与阀门开度, 可在相同构型下通过标准漏孔反算或通过导通计算估算。

#### 附录 : 关键数据记录模板

说明 : 以下表格为现场执行与审计留档模板。建议在每次系统改造、抽速/电导变化、RGA 更换或维护后重新建立本底与响应因子, 并将记录随报告归档。

#### 附录 1 : 系统本底基线信号统计表

表 7 附录 1 : 系统本底基线信号统计表 (模板)

m/z	碎片/物种 (备注)	本底均值 $\bar{I}$ (counts/s)	标准差 $\sigma$ (counts/s)	建议阈值 (例如 $\bar{I}+3\sigma$ )	采集设置/备注
43	C3H7+ / 烃类代表峰				
57	C4H9+ / 烃类代表峰				
71	C5H11+				
85	C6H13+				
18	H2O (水汽)				
28	N2/CO (背景)				
44	CO2 (背景)				

注 : 建议使用同一采集参数 (质量范围、驻留时间、平均次数、增益) 记录本底 ; 阈值可按  $\bar{I}+3\sigma$  或按客户 spec 设定。

#### 附录 2 : 响应因子标定报告

表 8 附录 2 : 响应因子标定报告 (模板-信息页)

客户/项目	
系统/腔体编号	
标定日期	
操作员	
RGA 型号/序列号	
检测器/增益设置	
采集参数 (质量范围/驻留/平均)	
标准漏孔证书编号 (Q)	
介质/温度/连接构型	
备注 ( $S_{\text{eff}}$ 估算/反算方法)	

--	--

表 9 附录 2：响应因子标定报告（模板-通道数据表）

m/z	碎片/物种	I_baseline (counts/s)	I_on (counts/s)	I_net=I_on-I_baseline	Q (Pa·m³/s)	P_std=Q/S_eff (Pa)	K=I_net/P_std (counts/s/Pa)
43	C3H7+						
57	C4H9+						
71	C5H11+						
85	C6H13+						

附录 3：HHC 污染判定阈值表

表 10 附录 3：HHC 污染判定阈值表（模板）

对象/模块	监测 m/z 集合	分压阈值 P_th (Pa)	信号阈值 I_th (counts/s)	触发动作（建议）	复核/证据链
EUV 关键光学腔体（示例）	43/57/71/85			报警→保持工艺/暂停曝光待确认	对比本底；检查阶段相关性；必要时材料替换/外部检漏
上游供气/载气相关段（示	57（代表）			报警→检查阀组/密封/管路清洁	He 检漏（m/z=4）；对比阀位与阶段；检查泵前压力
维护后恢复验证（示例）	43/57/71/85			通过→恢复量产；不通过→继续烘烤/排查	对比维护前 K 与本底；确认 S_eff 未变化或已重标定