

电子气中PPT级别的水分含量检测与分析

HALO KA Max H₂O · HALO KA H₂O

气体 & 化工

排放监测

能源

半导体 & LED

大气与环境

实验室

这份应用指南详细说明了半导体生产厂家如何通过使用Tiger Optics的痕量级水分分析仪，确保大宗气体的纯度。我们观察发现半导体行业的高速发展正把分析仪器的性能指标推上新的高度。我们将展示Tiger Optics最新推出的HALO KA Max水分分析仪，通过前所未有的检测灵敏度和响应速度，如何满足半导体客户严苛的测量要求。

现代化的高科技推进半导体行业的发展

半导体市场被视为新时代的创新，最新的科技应用刺激高端半导体产品的需求，对产品的稳定性、功率处理能力和能量功耗提出更多更严厉的要求。同时要求产品体积小、功能多、技术节点少。这些科技产品催生出功能更强大、续航更持久的智能手机与平板电脑。最近汽车传感器系统、物联网、5G通信和智能电网的出现给下一个十年的科技带来巨大的发展潜力。比如未来无人驾驶（图1所示），要求大量的计算能力，实时处理来自摄像机、传感器的信息。因此拥有一颗稳定、能耗小的高性能的处理器的非常必要的。

更高品质的气体需求带动更高阶分析技术的发展

为了满足这些新应用带来的挑战，半导体行业的International Roadmap for Devices and Systems (IRDS)¹组织强调了生产质量的重要性。从而要求半导体设备厂家必须在半导体生产各工艺段中，执行更为严格的工艺控制。对于气体品质的监控需要覆盖从洁净室环境、晶圆生产工具和原材料生产的各个环节。因此更好的气体品质监控是半导体晶圆厂提升产能和降低不良品率的最关键手段之一。



图1 来自未来的自动驾驶模式

随着半导体对气体质量要求更严格、对气体品质要求更稳定，这对气体分析技术的灵敏度和精确度提出了更高的要求。同时，由于晶圆厂为了提高产能，十分倚重对工艺的实时控制，因此分析技术的响应速度也变得越来越重要。

Tiger Optics基于CRDS原理的痕量水分分析仪自2001起就被应用在半导体领域。在许多最先进的半导体晶圆厂，Tiger的CRDS光谱分析仪是保证生产过程中所需大宗气体质量的黄金标准。通常在N₂、CDA、O₂、H₂、Ar和He中的水分含量是最关键的气体杂质指标之一。Tiger的分析仪由于其无与伦比的灵敏度、响应速度和卓越的稳定性，在半导体厂中一直扮演极其重要的角色。

水分子具有粘性，难以被检测

由于水分子容易扩散，很难完全去除，考虑到它对工艺生产的破坏性，在晶圆中每当需要控制气体的质量，首先需要检测的就是气体中的水分含量。站在分析的角度，气态水分子由于具有粘性，很难被检测。由此，对于那些需要跟水分子直接接触的分析技术，当工艺变化时很难实现快速响应。此外，半导体设备生产对水分的检测下限有严格的要求，范围从ppb级别直至ppt级别，大部分微量气体检测技术都无法测量如此低含量的水分。

若需要精确的测量水分，仪器的关键要点是

1. 零点基线的灵敏度和精确度
2. 基线的稳定性
3. 响应速度

零点基线的精确度

为了保证分析仪零点基线的精确度，找到真正的零点是必不可少的。大多数传统的分析仪都是靠零点气来标定仪器的零点。但是应对ppt级别的水分检测，是否真的存在这样的零点气呢？同样，大多数先进的纯化器都可以有效去除水分，但是ppt级别的水分含量通常都不在纯化器厂家承诺的规格范围内。因此，依靠零点气进行标定

图2, Tiger Optics 行业领先的HALO KA H₂O (左) 和下一代分析仪HALO KA Max H₂O (右)

的测量技术，最后都因为水无法从零点气中完全去除，导致仪器无法确保零点的精确度。相反，Tiger的CRDS系统不依靠零点气对仪器进行零点标定。Tiger的分析仪使用光学零点，即通过利用对水分含量不吸收的波长找到真正的零点基线，与气体中是否含有水分无关。在仪器测量运行期间，组分含量读数始终参照零点基线，确保读数绝对精确。

基线的稳定性

仪器零点的稳定性是另一个确保水分析仪长期稳定运行的关键因素。大多数传统的分析仪都会因为漂移，要求分析仪通过周期性标定重复做零点。假如零点气中的水分含量逐渐上升会发生什么呢？含量逐渐上升的水会很轻易地导致纯化器失效，同时很难区分仪器的水含量上升与仪器本身漂移的关联。这种情况下，分析仪周期性的重复做零点会导致仪器读数一味地被修正。最终当样品气中的水含量真正上升时，仪器读数偏低，无法及时反应样品气的变化。因此，对于工艺生产来说，这是一个潜在的、无法侦测的威胁。

Tiger的分析仪不存在这样的隐患。基于CRDS原理，通过时间差直接得到测量结果，绝对精确。测量过程中不受仪器漂移、环境变化、激光衰减等因素影响，使得仪器基线在不产生漂移，确保仪器的LDL。因此超高纯电子气中所有残留的水含量都会被仪器真实反应，而不是被标定掩盖。

响应速度

水分子具有吸附性，导致大部分的水分析仪响应速度慢。但是现代化的晶圆厂，要求实时监控、控制工艺。要求对有可能引起工厂跳车的杂质进行快速检测。CRDS是纯光学的设计，非接触式的检测方式，不会与水分子直接接触（类似电化学或者石英晶振的水分析仪）。不会因为接触反应，降低分析仪的响应时间。CRDS分析仪久经考验，提供超快的响应速度。此外，Tiger Optics 在数据读取、数据处理、气体流量控制等方面持续优化，进一步缩短响应时间。

这些无与伦比的优势，使得Tiger Optics水分析仪成为了半导体晶圆厂内监控大宗气体最精确最稳定的系统。因此，SEMI协会在SEMI F112²标准文件中强调了CRDS原理作为判断管路是否合格和测量微量水含量的技术标准。

HALO KA 和 HALO KA Max 半导体大宗气体检测的最优选择

现代半导体晶圆厂正在追求最顶级的的产能和稳定性。Tiger Optics的旗舰版水分析仪是半导体厂持续实现最大产能的最优选择。表1总结了 HALO KA H₂O 和 HALO KA Max H₂O 的检测下限和精度。

表1 HALO KA Max H₂O 和 HALO KA H₂O 的检测规格

背景气体	HALO KA Max H ₂ O		HALO KA H ₂ O	
	最低检测限 (LDL)*	零点重复性 (1σ) @ zero	最低检测限 (LDL)*	零点重复性 (1σ) @ zero
In N ₂	100 ppt	40 ppt	300 ppt	100 ppt
In He		10 ppt	100 ppt	20 ppt
In Ar		20 ppt	130 ppt	45 ppt
In H ₂		30 ppt	200 ppt	70 ppt
In O ₂		20 ppt	150 ppt	50 ppt
In CDA		30 ppt	300 ppt	100 ppt

*定义为24小时内三倍标准差3σ或干燥极限中的较大数值

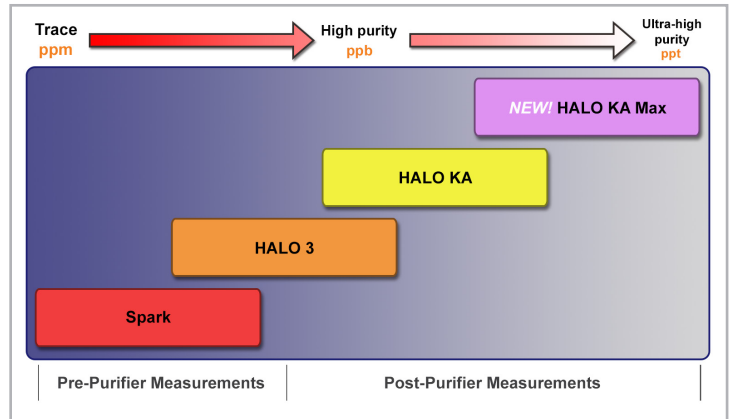


图3 Tiger Optics 痕量水分析仪系列

HALO KA H₂O系列专为现代化晶圆厂设计。作为SEMI F112标准推荐的分析技术，几乎所有的高阶半导体晶圆厂都采用了Tiger CRDS原理的痕量水分析仪。HALO KA H₂O作为半导体晶圆厂的首选（图2所示），在氮气背景下具备300ppt（3σ）的最低检测下限（通氮气超过24小时）。在其他大宗气背景下有更低的检测下限，非常适合被高阶半导体厂使用。与传统的分析仪相比，HALO KA在机柜安装上可省下很多空间，两台HALO KA可被安装在一个19寸机柜中。除了高性能与稳定性之外，HALO KA 因为无需例行维护，无需现场标定、没有备件，能为半导体厂省下相当可观的运营成本。

HALO KA Max H₂O — Tiger 新旗舰版H₂O分析仪。当电子气生产商和半导体厂要求H₂O的检测下限低于100ppt时，Tiger Optics的新HALO KA Max（图二右所示）是最理想的选择。这台分析仪拥有更低的检测下限和更快的响应时间。这是Tiger Optics第一台能够在所有大宗电子气背景下提供100ppt检测下限（3σ/24h）的水分析仪。最突出的性能指标让HALO KA Max成为Tiger 测量痕量水产品系列中的新旗舰（如图3 所示）

为了解释说明HALO KA Max稳定的基线，图4展示了通氮气超过18小时后的数据（黑色曲线）。测量结果说明HALO KA Max足以具备测量小于100ppt水含量的能力，如此低的水含量对于大部分的取样系统来说是个挑战。在这个案例中，更令人印象深刻的是仪器的重复性仅仅为12ppt（1σ），接近为零。HALO KA Max保证氮气背景下的零点重复性为40ppt，氮气背景下零点重复性仅为10ppt。作为对比，图中红色曲线是HALO KA的零点基线。如图所示测量小于1ppb水含量时，同样表现出优秀的重复性74ppt（1σ），可以保证氮气背景下的重复性为100ppt。

HALO KA Max能具备更出色检测下限的关键是全新的电子和光学平台，可实现分析仪在更低的测量噪音下运行。同时，新平台提供更强大的数据计算能力，更优化的气体流路设计以及更好的接液材料，以此实现更快的响应时间。当测量ppt级别的水含量时，实时检测的能力对于分析仪至关重要。水含量要求越低，所需要的脱水时间就呈指数级增长。因此大多数分析仪因为响应时间太慢无法满足工艺实时控制的要求。在ppt至ppb级别，HALO KA Max同样能实现其他仪器在高浓度测量时才具备的快速响应能力。图5模拟了工艺控制的情况，1ppb的水含量是工艺控制点，橙色箭头标识出几个ppb的水含量偶然突变得位置。HALO KA Max的高灵敏度不仅仅清晰准确地识别出每个即使是最小幅度水含量的突变，同时卓越的快速响应能力确保在如此低的水含量下，仪器读数立即迅速上升。这意味着有超过规格要求的水含量出现时，工艺可以马上受到保护。

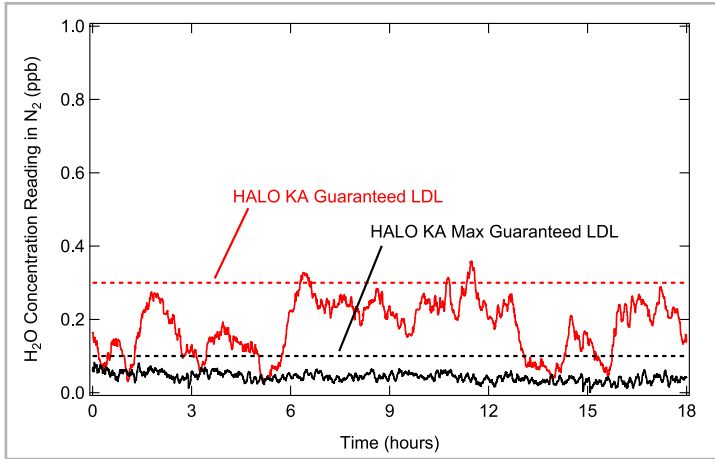


图4 HALO KA Max 在氮气背景下超过18小时的基线读数，始终稳定在100ppt 水含量下

一旦水含量回到工艺允许范围内，仪器读数也能在几分钟内回到工艺控制点以下，工艺可以在最短的时间内恢复运行。HALO KA Max 在这次测试中显得游刃有余。相同重复性下，大部分分析仪都无法快速、精确地响应这些水含量的模拟突变。

结论

总而言之，与过去相比，现在Tiger的痕量水分析仪可帮助半导体厂更有效地保护工艺安全，更可靠地避免工艺因为气体质量突变而停车。通过采用HALO KA H₂O和HALO KA Max H₂O，晶圆厂可满足现在及未来的高性能设备生产所需的质量要求。

光腔衰荡光谱技术

所有的Tiger Optics仪器都是基于CRDS原理。图示7列出了仪器内部

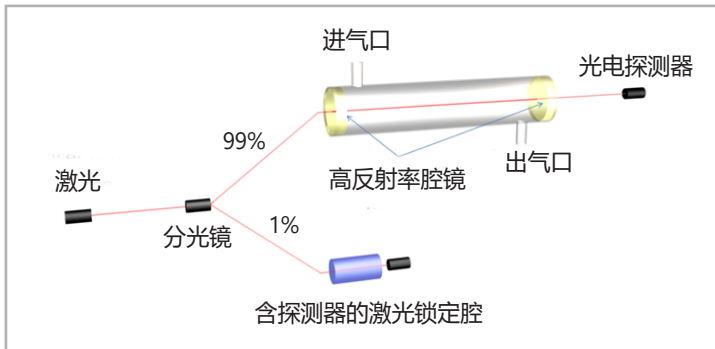


图6 光腔衰荡光谱的原理图

文献参考

¹IEEE Standards Association, International Roadmap for Devices and Systems (IRDS), <https://irds.ieee.org/>

²SEMI International Standards, SEMI F112-0613 - Test Method for Determination of Moisture Dry-Down Characteristics of Surface-Mounted and Conventional Gas Delivery Systems by Cavity Ring Down Spectroscopy (CRDS), <http://ams.semi.org/ebusiness/standards/SEMIStandardDetail.aspx?ProductID=211&DownloadID=3085>.

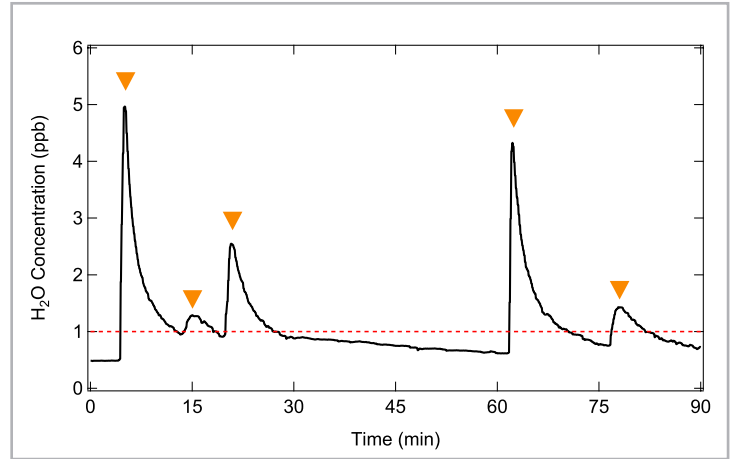


图5 模拟工艺要求水含量低于1 ppb时，HALO KA Max 对于低ppb含量水突变时的响应表现

的核心部件。CRDS测量时，通过调节激光波长，使激光锁定在被测分子独有的吸收波长上。通过测量光衰荡的时间，毫秒间就可以得到准确的分子数。本质上，通过测量光衰荡的时间就可以精确、快速、无接触地测量杂质含量。

Tiger Optics公司简介

Tiger Optics成立于2001年，专注于气体分析领域及大气与环境检测，备受用户好评。产品基于强劲的CRDS技术，分析仪可实现连续测量，并具有自动零点校准功能，仪器简单易用，无需移动部件和消耗件。Tiger的分析仪具备杰出的检测能力，快速的响应时间，灵活的应用范围和无与伦比的测量精度。从最洁净的半导体晶圆厂到最污染的燃煤电厂废气，我们的分析仪致力于提高您的产出，降低您的成本，免去您对仪器的日常维护。

全球第一家经过ISO认证的CRDS公司

Tiger Optics 是全球第一家经 ISO 9001:2008 和 ISO 9001:2015 认证的CRDS公司。ISO 9001是确保生产过程一致和持续质量提升的重要标准。



©Tiger Optics, LLC • Ver. 4/2022CN

Tiger Optics, LLC

275 Gibraltar Road, Horsham, PA 19044

电话: +1 (215) 656 4000 • 传真: +1 (215) 343 7168

sales@tigeroptics.com • www.tigeroptics.com

Tigeroptics
a Process Insights Brand