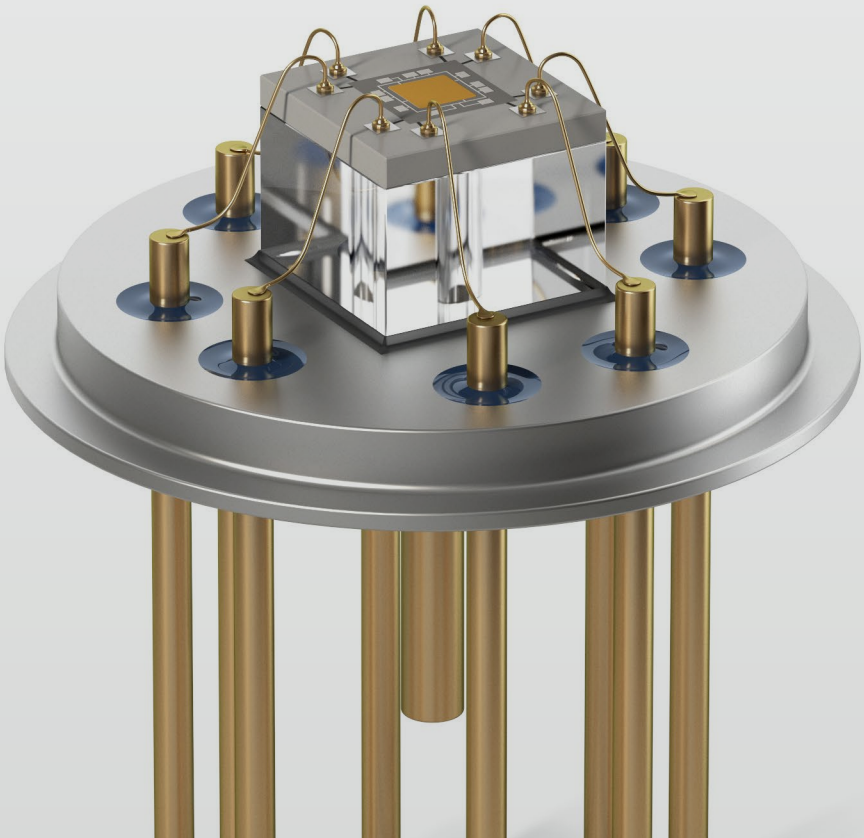
SCHOTT

气密和非气密的传感器封装对比

材料选择如何影响可靠性、精度并赋能新型传感器设计





1. 摘要

封装在传感器的长期性能中扮演关键角色。在初始阶段，气密封装和非气密封装可能表现出相似性能。然而，随着时间的推移，基于聚合物的密封或封装方案可能导致 100 倍至 10,000 倍的气体渗透量，从而引起湿气和气体逐渐扩散。相比之下，气密密封的腔体封装结构，旨在提供稳定、近乎不可渗透的屏障。

这种气体渗透速率的差异可导致随时间推移逐渐显现的影响，如信号漂移、信号不稳定，以及在实际运行条件下的失效。与此同时，气密封装还能赋能新的设计思路。通过提供稳定的内部边界条件，它可以减少其他附加元件，支持更小型化、更紧凑的架构设计。因此，封装不仅是一种保护措施，更是可靠性设计和系统设计中的关键因素。



2. 气密封装与非气密封装：可量化的差异

封装性能不仅取决于初始密封质量，还取决于材料在实际工况下随时间推移的表现。对于需要维持可控内部气氛的封装而言，阻隔/密封性能成为关键区别。虽然聚合物密封与气密封装能在前期验证中满足相似要求，但随着材料在环境暴露中经历老化，两者的长期性能会发生分化。这种差异主要源于聚合物材料的渗透性和不稳定性，聚合物的固有特性会导致湿气和气体逐渐扩散，从而缓慢改变内部环境条件。

气密腔体封装完全由玻璃和金属等无机材料制成，旨在维持稳定的内部环境，持续数年甚至数十年。因此，两者的可靠性差异并不会立即显现，而是随着时间推移才逐渐显。在此期间，气密腔体封装能够有效抵御湿气侵入、老化效应以及热机械影响，从而维护传感器的性能。

对于具有封闭内部空间的腔体封装而言，其核心区别在于阻隔性能，以及由此决定的内部环境条件随时间推移的稳定性。归根结底，选择气密封装还是非气密封装，取决于产品追求长期性能稳定性，还是可以承受一定的气体和湿气渗透带来的影响。





类型	气密封装	非气密封装
材料	无机材料（例如玻璃-金属封接）	有机聚合物、环氧树脂、PEEK 材料
气体渗透性	可忽略不计	随时间变化的扩散
防潮屏障	接近零的湿气和气体渗透	固有的高渗透率
老化效应	几乎没有老化或材料降解	自然老化和脆化；可能随时间改变阻隔性能和机械性能
机械稳定性	几乎没有老化或材料降解	材料性能可能因蠕变、溶胀、应力松弛或脆化而随时间改变
内部气氛稳定性	通常可维持数年乃至数十年	可能在数天至数月内变化，取决于渗透率和封装设计
氦气检漏相关性	具有实际意义	具有误导性，因为氦检漏测试的是泄率漏而非长期渗透。氦气密封性并不能阻止湿气扩散。
严苛环境适用性（即高湿度、苛刻温度、压力或化学暴露条件）	适合长期暴露在苛刻温度、压力、湿度和化学条件下	有限，因为性能取决于材料选择和暴露条件

3. 湿气是失效的主要因素

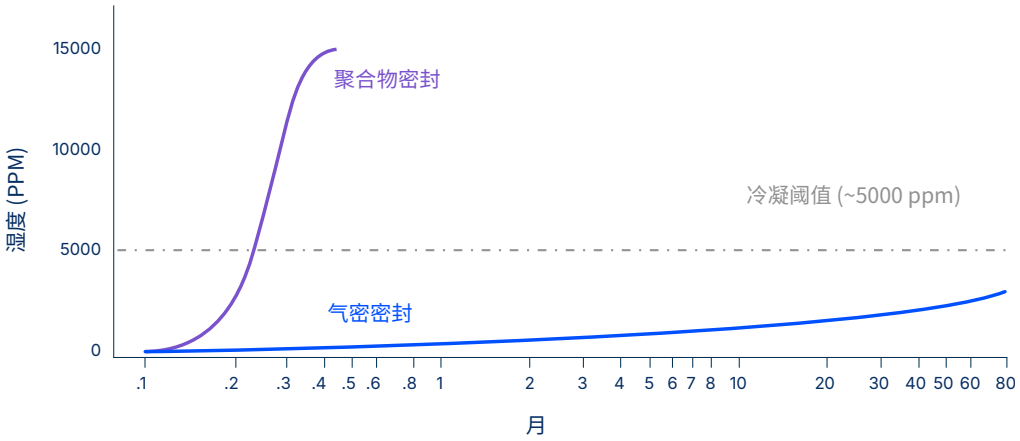
为了在长期内保持稳定的传感器性能，设备寿命期间内部湿度水平必须始终保持在临界阈值以下。即使是微量的水汽，也会通过电子和光子系统的电气和光学行为，从而对其产生影响。

在实际应用中，为防止冷凝，内部湿度水平需保持在约 5000 ppm（百万分之一）以下。超过该阈值后，内部露点便会升高，即使是中等程度的温度变化也可能导致冷凝、金属互连腐蚀、电气泄漏、离子迁移引起的意外短路，以及由光散射引起的光学稳定性降低。这种行为与封装设计密切相关。

尽管“防漏气”方案起初可抵御气体流动，但只有真正的气密封装才能凭借持续的阻隔性能，长期稳定地阻挡湿气渗透。在非气密系统中，内部湿气会随时间逐渐累积，尤其是在表面积/体积比较高的小型封装中。一旦达到临界湿度水平，退化机制便会加速，性能往往在出现可见失效之前就已经恶化。

封装设计在防止湿气随时间侵入方面起着关键作用

气密封装可在数十年内将内部湿度维持在接近零的水平，而“准气密”的聚合物封装则在数周或数月内即出现湿气的迅速上升[1]。



聚合物密封的失效机制

一旦内部湿度超过临界阈值，凝结现象就会引发一系列电化学和物理降解机制，这些机制会从信号漂移逐渐发展到功能失效。

凝结开始 → 漏电/短路 → 信号不稳定与漂移 → 腐蚀（电化学降解） → 永久性故障

特例：充油式传感器

在充油传感器中，水分侵入通常不会导致凝结，因为填充液起到了水分缓冲的作用，且其中几乎不含或完全不含游离气体。然而，水分仍会通过非气密屏障扩散，并随时间推移与油、聚合物、粘合剂以及材料界面发生相互作用。
在这些系统中，长期关注的问题已从冷凝转向材料老化、界面劣化、腐蚀以及与漂移相关的影响。气密封装通过在器件整个使用寿命期间维持稳定的内部环境，有助于限制这些机制的发生。

[1] 10% 氦气回填；室温 30 °C，相对湿度 50%；包装体积 = 1 cm^3；测得的泄漏率（无压力瓶）= 1 × 10^{-8} mbar·L/s（氦）。

4. 超越防潮：气密封装的技术特点

气密封装基于玻璃、陶瓷和金属等无机材料，提供特定的物理功能。由于泄漏率极低且材料几乎不会老化，这些特性在长期使用中仍能保持最高水平。

抵御极端环境
密封外壳的设计旨在抵御极其恶劣的工作环境， 包括极高或极低的温度、高压、腐蚀性化学物质，甚至水下环境， 也能保持可靠的密封性能。

电气贯穿
气密贯穿件可实现动力和信号的可靠传输。

机械强度
刚性无机材料有助于在温度变化、压力波动和机械应力作用下保持结构稳定性。

电气绝缘
玻璃绝缘子可提供介电隔离，并防止电击穿。

热管理
金属和玻璃部件可提供确定的热导率，和可控的热传导路径。

光信号传输和过滤
光学窗口、光纤和镀膜能够实现可控的光透射，并确保其光学性能随时间推移保持稳定。

氛围控制与微调
气密封装可保护特定的内部环境（例如惰性气体、干燥空气、真空或加压状态）。由于泄漏率低，气体成分和压力得以保持稳定。



5. 超越防护：提升设计与性能

气密封装通过减少复杂不见并简化系统架构，改变传感器系统的设计方式。

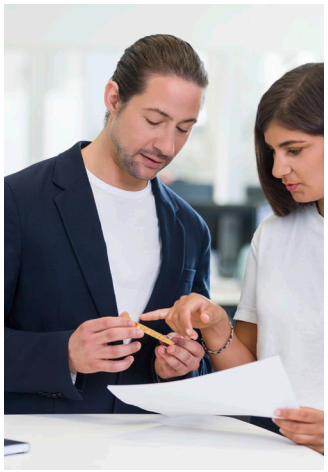
降低系统复杂性
- 无需多层密封。
- 减少涂层和附加结构。
- 简化整体系统架构。

集成度提升
- 将密封、绝缘和贯穿件整合于单一组件中。
- 减少端口数量和潜在薄弱环节。
- 最大限度地降低因多材料相互作用导致的系统不稳定性。

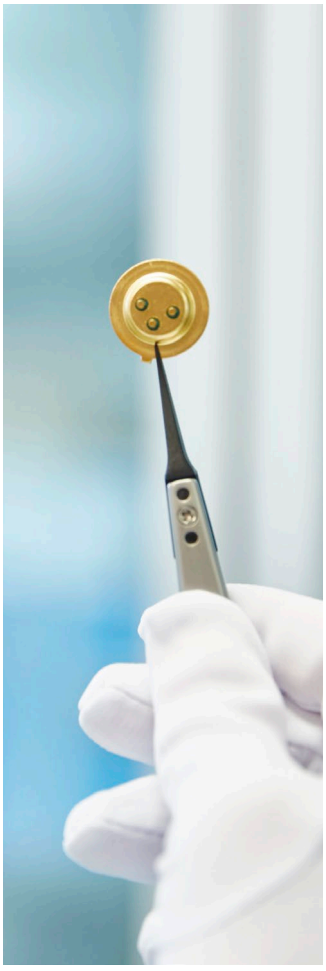
微型化潜力
- 实现更紧凑的设计。
- 减少元件数量。
- 适用于空间和重量受限的应用场景。

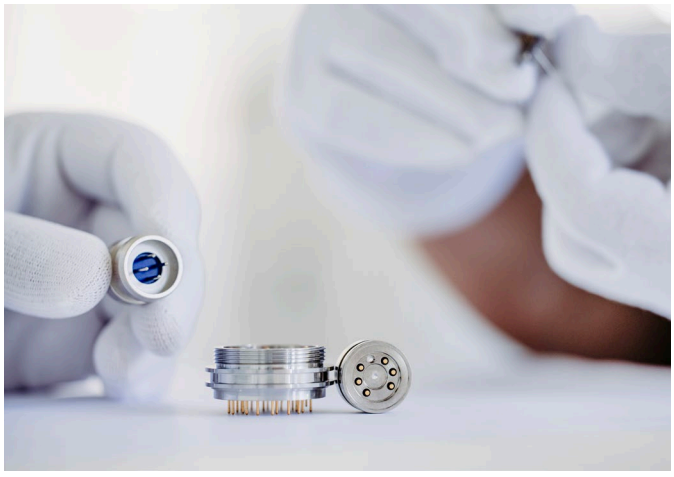
对环境变化的敏感度降低
- 将传感元件与外部湿度、污染物及压力变化隔离。
- 减少外部因素对信号稳定性的影响。
- 在不同工作条件下保持更一致性的表现。

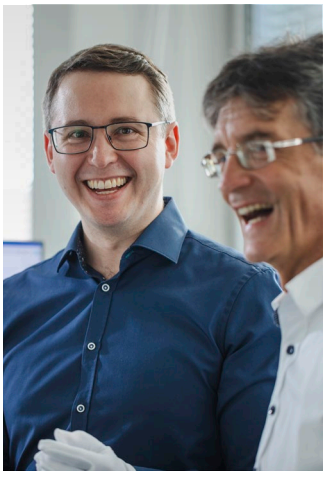
减少补偿和校准的需求
- 从系统层面抑制造成漂移的成因。
- 减少对校准流程和修正算法的依赖。
- 长期保持稳定的信号性能。











6. 总结：系统层面的权衡与选择标准

在聚合物封装和气密封装之间进行选择是一项系统层面的决策，它会影响成本、设计灵活性以及长期性能。

关键权衡因素

- 初始成本：主要取决于产量、自动化程度和可靠性要求
- 设计灵活性：聚合物方案更高，气密方案适中
- 初始性能：两者相当
- 长期稳定性：聚合物材料有限，气密方案更优
- 维护工作量：聚合物方案更高，气密方案更低

选择应基于整个产品生命周期要求，而非仅依据初始测试结果。

气密封装的常见应用领域

气密解决方案广泛应用于需要保持内部环境稳定且长期性能可预测的场合，包括：

- 暴露于湿度、腐蚀性物质、热循环或高压条件下的工业与过程传感器
- 应力较大且维护空间受限的汽车环境
- 需要长期保持校准稳定性的医疗设备
- 在变化的压力环境或真空条件下运行的航空航天系统
- 对湿度和介电特性变化敏感的光学及电子系统

气密封装可以带来附加值

在以下情况下，气密性包装尤为重要：

- 要求在较长的使用寿命内性能稳定，测试结果漂移量小
- 校准受限或无法进行
- 所处环境包括高湿度、冷凝、腐蚀性介质或压力波动

在这些情况下，气密封装有助于维持稳定的工作条件，在整个使用周期中降低风险，并使系统行为更可预测。



关于肖特

自 1884 年起，突破极限，创造不可能

我们是一家全球性科技集团，专注于特种玻璃、玻璃陶瓷及先进材料解决方案，服务于电子、医疗、汽车、工业、能源和航空航天等高要求应用领域。我们在30多个国家拥有约17,000名员工，凭借在材料、设计、制造和应用方面的深厚专业知识，结合全球基础设施，为世界各地的客户提供支持。

关于肖特气密封装产品线

数十年来，肖特的气密贯穿件和封装组件一直被领先的传感器制造商所采用。应用领域涵盖从复杂工况的汽车或工业场景，到任务关键型的航空航天系统以及高精度光电子设备。凭借肖特卓越的玻璃及加工专业技术，肖特提供种类繁多的标准化密封件和完全定制化的封装解决方案。团队致力于解决复杂的可靠性挑战，提高成本效益，并提升性能，以满足行业严苛的要求。

为什么肖特是您值得信赖的气密封装元件供应商

80+ 年
在气密玻璃金属密封领域的经验

2,000 +
产品服务于超过30多个市场

1.2 – 600 mm
产品的尺寸范围

灵活度
从标准产品到复杂设计
从样品到大批量生产

品质值得信赖

应用支持

规模化生产



联系我们

访问我们的网站了解更多 www.schott.com
或者邮件联系我们 info.china@schott.com