

Application Note

化学污染如何影响湿度传感器



Alex Thompson, Rujuta Munje

摘要

相对湿度 (RH) 传感器容易受到化学污染导致的性能下降及永久精度变化的影响。由于这些传感器采用空腔封装来实现水分传递，因此它们本就会暴露在不需要的固体、液体和气体中，这些固体、液体和气体改变检测聚合物的介电特性。本文档探讨各种污染物（归为散装（气态）或表面（固体/液体））通过极性、介电常数和离子电导率的变化影响传感器精度的机制。此外，本应用手册还提供了缓解这些风险的可行策略，包括通过材料安全数据表（SDS 或 MSDS）分析制造化学品、使用防潮膜滤膜或可拆卸聚酰亚胺胶带，以及使用集成式加热器加速污染物的扩散。

内容

1 简介.....2

1.1 为什么会发生化学污染.....2

1.2 化学污染物的类型和来源.....2

2 详细说明.....5

2.1 与传感器相互作用的遏制机制.....5

2.2 非极性化学污染.....7

2.3 极性化学污染.....7

2.4 离子化学污染.....8

2.5 表面化学污染.....8

2.6 可以采取哪些预防措施？.....9

3 总结.....12

4 参考资料.....13

5 修订历史记录.....13

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

1.1 为什么会发生化学污染

基于电容的相对湿度 (RH) 传感器 IC 采用空腔封装，可将环境水分传递到封装中。为了捕获空气中的水蒸汽，在腔体内的检测电极上放置了一个聚合物层，用作电容式传感器的电介质。水蒸汽与聚合物相互作用，改变电介质常数。介电常数的这种变化会导致聚合物下方检测电极的电容发生变化，然后在内部转换为相对湿度输出。

由于存在该腔体，RH 传感器不仅会暴露于湿气中，还会暴露于多种其他有害化学品中。当将其他化学品引入检测聚合物时，这些化学品会改变聚合物的介电特性，并可能改变 RH 传感器的 RH 性能。这些不需要的化学品称为污染物。对传感器精度的影响是可变的，取决于污染的类型、浓度和暴露周期。

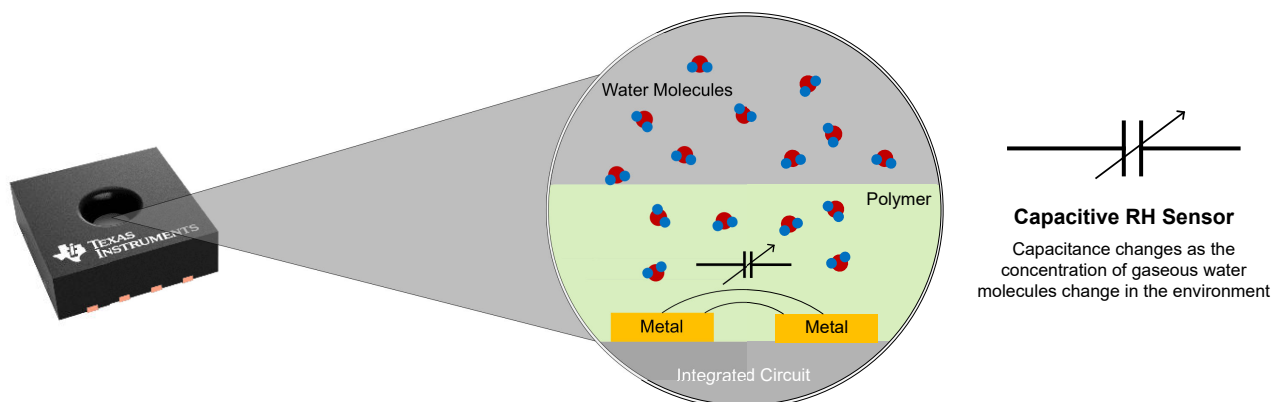


图 1-1. 电容式湿度传感器结构

1.2 化学污染物的类型和来源

图 1-2 显示了具有可见污染（例如固体或液体和气体污染）的传感器区域的图像。灰尘颗粒和烟雾等固体污染物会在一段时间内累积到传感器上。液体污染物（例如带离子的水、唾液、汗液、清洁通量以及气态污染物（例如挥发性有机化合物）会影响传感器聚合物，进而影响 RH 输出。挥发性有机化合物（简称 VOC）是有机化学物质，通常是人造产品，容易蒸发到空气中，也称为释放气体。这些相互作用会导致 RH 精度发生变化，并且根据暴露水平，这些相互作用也会导致永久性 RH 精度误差。

化学污染可以是任何物质状态的形式。液体、气体和固体有可能会产生 RH 精度误差。表 1-1 所示为可能处于不同物质状态的化学污染潜在来源的非详尽列表。

表 1-1. 污染物类型和影响

污染物状态	污染物类型	来源/原因	症状	对传感器的影响
稳定亮起	烟灰	人的互动	负 RH 误差偏移，负 RH 增益	覆盖传感器表面会阻碍水蒸汽的传播
	烟灰	室内/室外环境通风不良		
	灰尘颗粒	无气流		
	盐	人的互动	高 RH 水平下的负 RH 误差	离子会形成导电通路，从而降低传感器的电容
液体	水与离子	水管腐蚀，水中存在盐	负增益、正或负 RH 误差偏移	根据极性，与聚合物的化学相互作用以及污染物量，可能会占据可能存储水蒸汽分子的聚合物中的空洞，从而改变聚合物的介电常数
	汗水	人的互动		
	唾液	人的互动		
气态	焊剂	PCB 清洗	负增益、正或负 RH 误差偏移	根据极性，与聚合物的化学相互作用以及污染物量，可能会占据可能存储水蒸汽分子的聚合物中的空洞，从而改变聚合物的介电常数
	挥发性有机化合物 (VOC)	保形涂层的释气		
		清洗助焊剂释气		
	防静电聚乙烯/LDPE 包装材料的释气（有时称为粉色泡沫）			

虽然了解物质状态有助于了解化学污染可能来自各种来源，但为了了解对 RH 传感器性能的潜在影响，请将化学污染分为两类：**大容量污染**和**表面污染**。表面污染是指固体和液体，其中有可见材料沉积在检测聚合物的表面。批量污染可定义为气体污染，其中分子嵌入到聚合物体内，无法用显微镜观察传感器腔体表面。虽然对 RH 性能的大部分影响都取决于污染的化学成分，但污染是表面污染还是整体污染也很重要。表面污染通常可以通过蒸馏水或擦拭来清洁（有关更多详细信息，请参阅[如何调试 RH 传感器中的 RH 精度问题](#)的第 4.6.4 节），但散装污染无法从外部清洁。解决散装污染需要热量来加速污染物从聚合物结构中扩散。

[图 1-2](#) 展示了多个不同的表面污染示例。在图像 **A** 和 **B** 中，表面污染是沉积在聚合物上的固体材料，其数量不同。图 **C** 显示了液体污染导致的干燥环，可能会在液体蒸发后留下固体污染。

在[图 1-2](#) 中，较大的绿色圆圈显示整个中心腔的视图，放大可显示聚合物。较小的黄色圆圈表示内部传感器区域，电容式感应电极位于该区域。电容式电极无法覆盖整个传感器芯片或者整个聚合物表面。与外圈区域相比，内圈对化学污染物的敏感性要高得多。[图 2-1](#)、[图 2-2](#)、[图 2-3](#)、[图 2-4](#) 和[图 2-5](#) 以简化的方式从横截面视图平面显示该内圈传感器面积，省略外部聚合物面积。

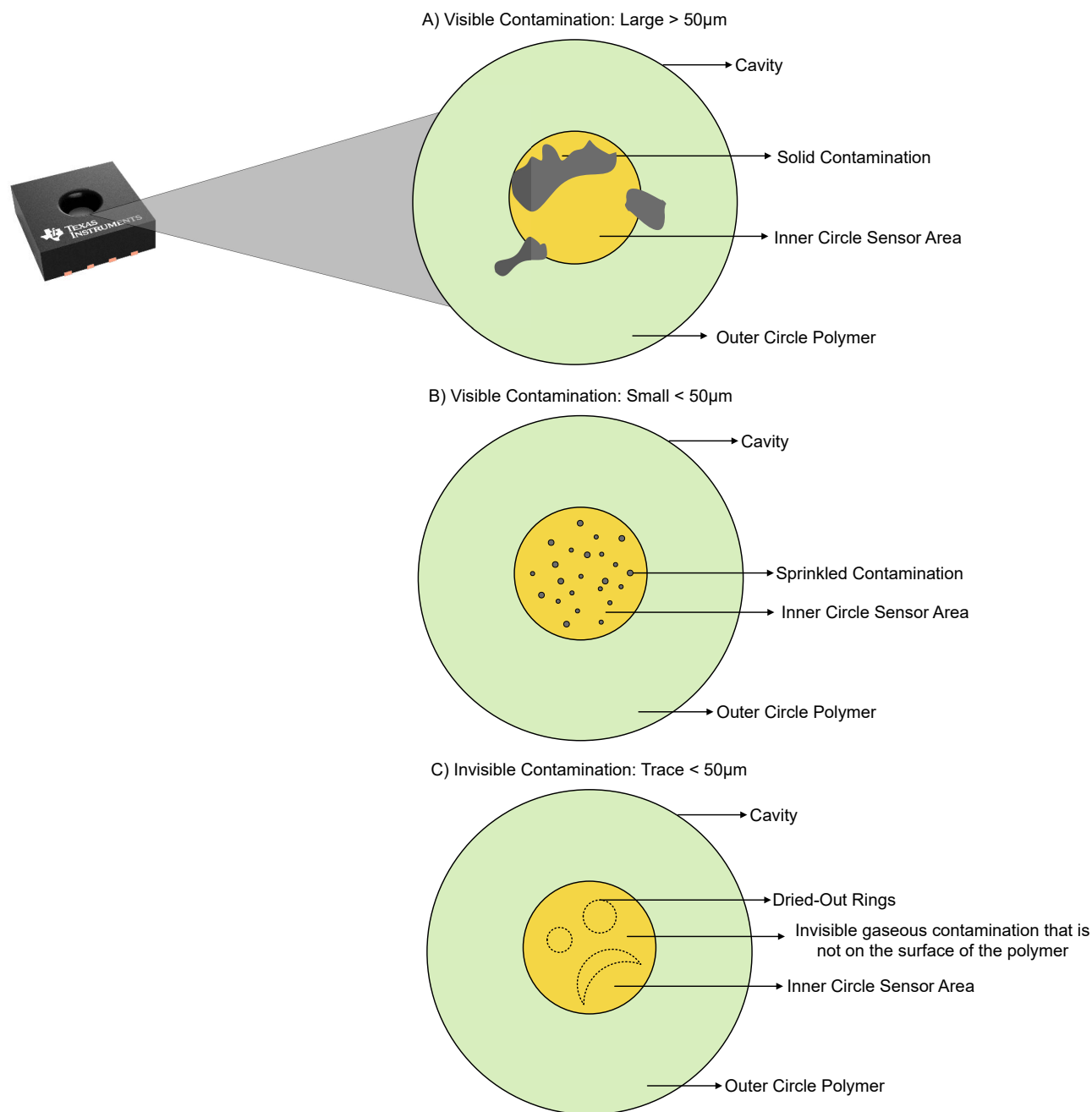


图 1-2. 不同表面污染的示例

2 详细说明

2.1 与传感器相互作用的遏制机制

分子的介电常数 (ϵ) 及其极性彼此成正比。介电常数衡量材料相对于真空的储存电能的能力。极性是衡量分子内电荷分离的度量。较高的极性可实现更高的电荷储存, 因为分子在存在电场的情况下会自行对齐。因此, 通常较高的极分子将具有较高的介电常数。电容式湿度传感器使用的聚合物是电容式电极的介电材料。通常, 检测聚合物的介电常数介于 2 和 3 之间。水蒸气主要根据聚合物在室温下的极性或介电常数 80 与聚合物发生相互作用, 而聚合物随温度而变化。当水分子偶极接触聚合物表面时, 水分子的高极性会改变聚合物本身的介电常数。水蒸汽量的增加会增加聚合物介电常数的总体变化, IC 上的模拟信号链将其捕获为电容变化的结果。下面表 2-1 中显示了几种常见溶剂的介电常数:

表 2-1. 溶剂示例及其介电常数

溶剂	介电常数 (ϵ)
乙酸	6.15
丙酮	20.7
乙腈	37.5
苯甲醚	4.33
苯	2.27
溴苯	5.17
二硫化碳	2.6
四氯化碳	2.24
氯苯	5.62
氯仿	4.81
环己烷	2.02
二丁醚	3.1
o-二氯苯	9.93
1,2-二氯乙烷	10.36
二氯甲烷	8.93
二乙胺	3.6
二乙醚	4.33
1,2-二氧乙烷	7.2
N,N-二甲基乙酰胺	37.8
N,N-二甲基甲酰胺	36.7
二甲基硫氧化物	46.7
1,4-二氧烷	2.25
乙醇	24.5
乙酸乙酯	6.02
乙基苯甲酸	6.02
甲酰胺	111
六甲基磷酰胺	30
异丙醇	17.9
甲醇	32.7
2-甲基 - 2-丙醇	10.9
硝基苯	34.82
氮甲烷	35.87
吡啶	12.4
四氢呋喃	7.58
甲苯	2.38

表 2-1. 溶剂示例及其介电常数 (续)

溶剂	介电常数 (ϵ)
三氯乙烯	3.4
三乙胺	2.42
三氟乙酸	8.55
2,2,2-三氟乙醇	8.55
水资源	80.1
o-二甲苯	2.57

表 2-1, 摘自: https://depts.washington.edu/eoopic/linkfiles/dielectric_chart%5B1%5D.pdf

考虑气体 (例如, 粘合剂或油漆等 PCB 组装化学品排放的 VOC) 或表面污染 (例如, 液体溶剂) 造成的大量污染。如果污染物的极性或介电常数较大, 并与聚合物的羟基表面状态相互作用, 则会改变聚合物的介电常数或总电容输出。尽管实际湿度水平没有变化, 但这被读取为器件的 %RH 输出变化。这种污染物相互作用是以下参数的组合效应:

- 污染物的极性**

通常, 小碳链 VOC (如异丙醇, 丙酮, 乙醇) 比长碳链 VOC (如丁烷) 更具极性。碳链分子的极性通常会随着长度的增加而增加, 而带有功能基团的分子 (例如醇或酮类) 将更具极性。而环戊烷、苯和甲苯等循环有机化合物为非极性。选择极性较低或非极性的化学品有助于减少传感器整体精度的变化。非极性溶剂的介电常数通常甚至低于聚合物, 因此对 RH 精度漂移的影响相对较小。

即使潜在的化学污染是非极性的, 也会影响传感器的精度。当暴露浓度非常高且持续时, 由于该化学物质扩散到聚合物中的程度, 聚合物可能会膨胀。通常, 污染物分子的大小会占据聚合物空隙中的大量自由空间。这将进一步导致聚合物膨胀, 并通过污染分子的数量改变介电常数。因此, 即使化学污染物是非极性的, 因此影响 RH 精度的风险较低, 也应尽可能限制暴露, 以保护 RH 传感器的精度。

- 污染物浓度与 RH 水平和扩散率的比较。**

Fickian 弥散是气体颗粒从高浓度移动到低浓度的过程。污染物 (液体或 VOC) 的扩散率是其浓度、温度和对聚合物功能基团的亲和力的函数。在聚合物与水分或污染物相互作用的情况下, 聚合物内部的水分/污染物浓度与环境中空气-聚合物界面的水分/污染物浓度呈线性函数关系。随着材料接近饱和并导致聚合物膨胀, 这种扩散的后期阶段会显著降低吸收速率。

非极性分子由于极性不足而通常无法穿透紧凑型聚合物链基体。极性分子会扩散到基体中, 这取决于它们的初始浓度和对聚合物极性分子的极性力。

图 2-1 说明了 Fickian 扩散。更极性的分子由于其增强的扩散率而更深入地渗透到聚合物基体中。这意味着它们对传感器精度的影响将得到增强, 而从聚合物中扩散则更具挑战性。

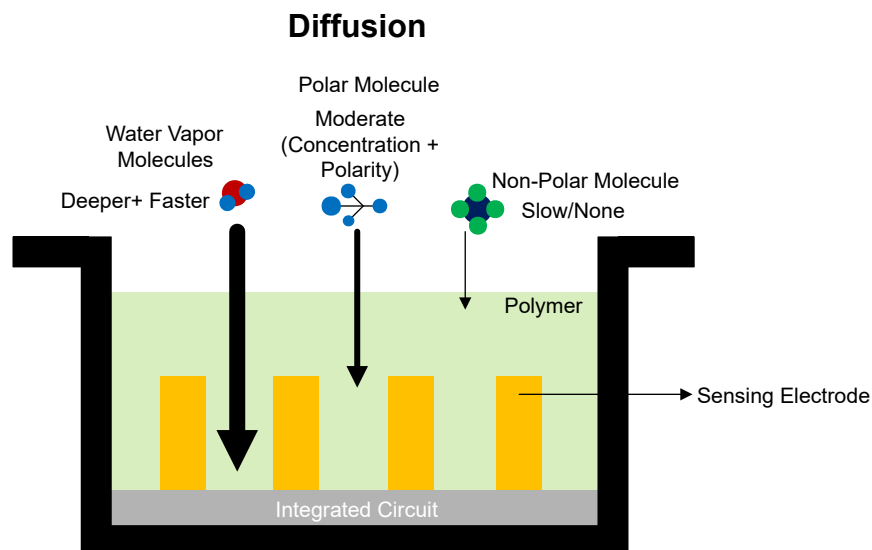


图 2-1. 不同极性分子水平的扩散特性

- 污染物与传感聚合物功能组的亲和性。

极性促性溶剂通过氢键合与聚合物功能组相互作用，通常会增加聚合物的整体介电常数。极性促性溶剂含有羟基，它们直接与水蒸气竞争以占据聚合物，因为它们以相同的方式粘合。这是水分与聚合物相互作用的主要机制。因此，乙醇和异丙醇 (IPA) 等酒精始终会对 RH 精度产生很大影响。一些极性促性溶剂（例如丙酮）会影响整体极性，而不是直接与水蒸汽分子竞争，从而与感应聚合物发生相互作用。这也会导致聚合物的介电常数增大。

2.2 非极性化学污染

低浓度的非极性溶剂在有限数量的情况下与聚合物的功能组的相互作用极小，甚至没有相互作用。因此，环戊烷或甲苯等化学品对传感器精度的影响可以忽略不计。图 2-2 展示了这种情况。非极性分子不会渗透到聚合物基质中，对 RH 输出的影响相对较小。由于非极性分子仍在取代聚合物空洞中的水蒸汽分，它们确实会略微降低 RH 输出。

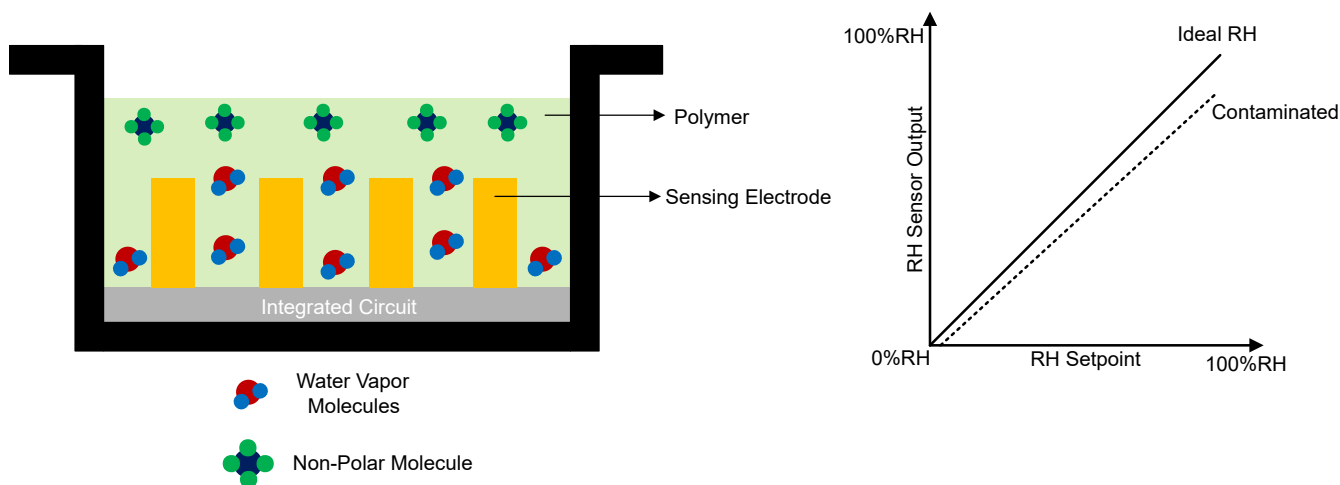


图 2-2. 相对于非极性污染的 RH 精度小漂移

2.3 极性化学污染

在图 2-3 中，一个更极性的分子污染了检测聚合物。由于整体介电常数与水蒸汽不同，因此 RH 输出也会发生变化。在这种情况下，可以预期负 RH 增益和正 RH 误差漂移。水蒸汽具有非常高的介电常数，如图 2-3 所示，即

使与其他化学污染物相比也是如此。这意味着当环境 RH 较高时，RH 传感器输出将偏移，因为由于污染物的存在，能够穿透聚合物的高极性水蒸汽分子较少。相反，在较低的环境 RH 水平下，RH 输出会升高，因为极性分子会增加聚合物的整体介电常数。

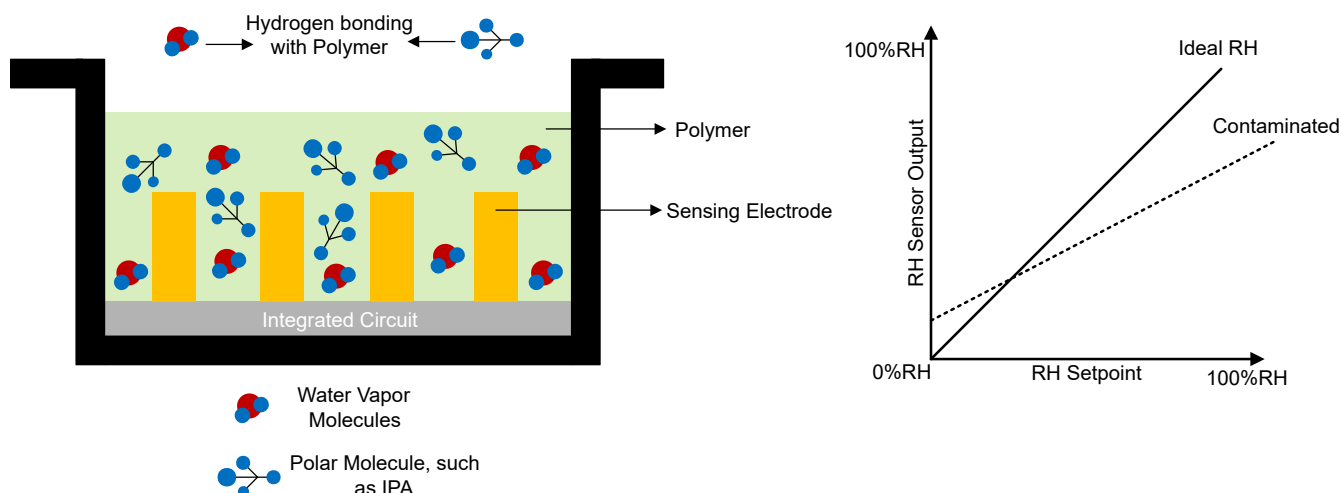


图 2-3. RH 精度与极性污染显著偏移

2.4 离子化学污染

另一种化学污染是离子污染。离子污染可通过特征的 RH 误差曲线来识别，在室温下，传感器 RH 在环境 RH 较低的水平下看起来正常，但随着环境 RH 的增加，传感器 RH 误差开始急剧下降，从而导致非常大的误差，在高 RH 水平 (>80% RH) 下，通常超过 -10% RH。钠等高电荷密度小离子会影响水分子的局部极性，从而导致传感器聚合物的介电常数发生损耗或变化较少。在较高的 RH 下，溶解的导电离子更多，同时吸收更多水分，从而导致更多泄漏。由于这种影响，在较高的湿度水平下，RH 输出明显较低，从而导致精度出现负增益。

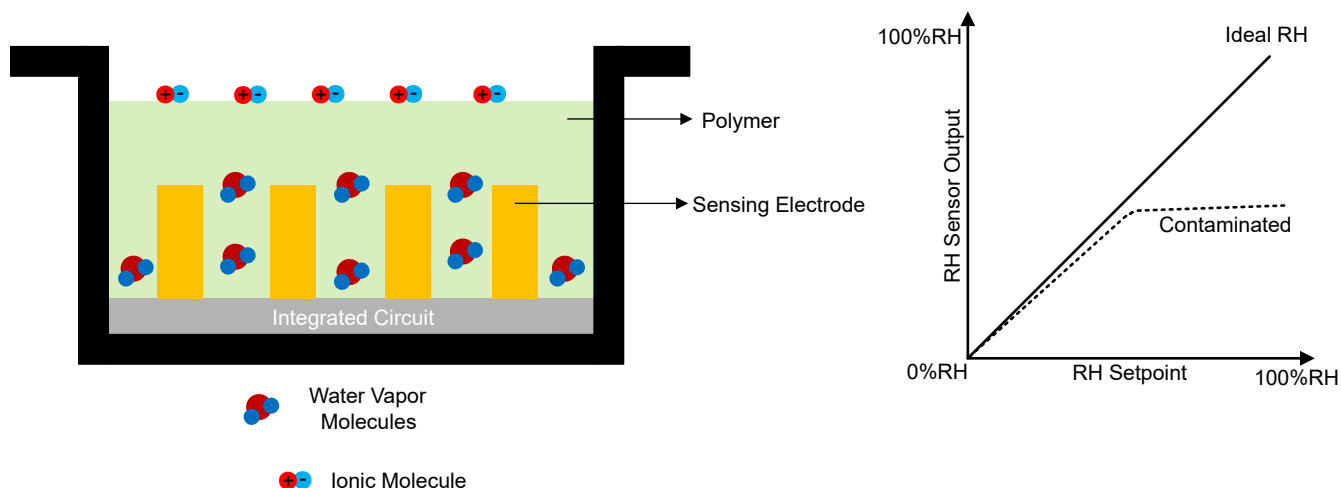


图 2-4. 离子污染导致在高环境 RH 下 RH 精度发生显著变化

使用自来水进行清洁或者由于含盐分子的冷凝而发生离子污染。进入腔体的唾液和汗液污染表现出与离子污染相似的特征变化，因为这些人体流体还包含来自盐的导电离子。有时，在高 RH 条件下，灰尘积聚与湿气相互作用，也会激活绝缘灰尘进入导电性质。图 2-4 显示了表层上的离子污染，未渗透到聚合物中。这是因为在几乎所有的情况下，离子污染在自然界中作为液体或固体存在于聚合物表面。

2.5 表面化学污染

积厚层灰尘、烟雾碎屑、油漆和保形涂层会在物理上阻止水分扩散至聚合物中。在这种情况下，即使环境 RH 发生变化，通常传感器 RH 输出也没有变化，或者 RH 增益为负且 RH 偏移为负。这种负增益可能会很大，具体取

决于传感器被固体碎屑阻塞的面积。虽然图 2-5 显示固体污染分布在聚合物表面，但固体污染必须位于检测区域的内圈（存在电极传感器机制）中，才能影响 RH 精度。当污染物（在任何物质状态下）进入聚合物时，它会扩散到聚合物中。如果扩散污染物不在内部传感器区域，则它不会与电场相互作用，也不会影响传感器的电容。对于气体，这一点无关紧要，因为这些气体均匀分布在模腔空间上。但固体污染可以局部化。如果观察到固体污染，但未位于内部传感器区域或其附近，则不太可能影响 RH 精度。

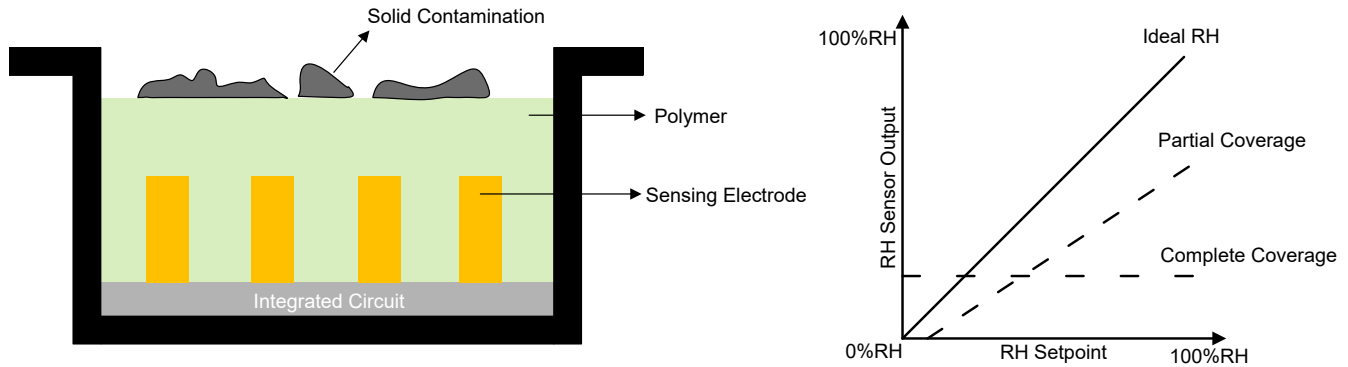


图 2-5. 表面污染对 RH 精度的影响

2.6 可以采取哪些预防措施？

警惕和主动意识有助于减少制造过程中的污染。

1. 如何分析制造过程中使用的化学品：

- 列出电路板制造过程中使用的所有潜在化学品
- 有关这些化学品，请查看 MSDS（材料安全数据表）。每个 MSDS 都列出了“成分”部分。在 MSDS 文档中找到此部分。

下面是使用 Humiseal 环氧树脂 MSDS 的示例。

SECTION 3: Composition/information on ingredients

Mixture

General information

Chemical name	%	CAS-No. / EC No.	REACH Registration No.	Index No.	Notes
n-Butyl acetate	80 - < 90	123-86-4 204-658-1	-	607-025-00-1	#
Classification: Flam. Liq. 3;H226, STOT SE 3;H336					
Butanone	10 - < 20	78-93-3 201-159-0	-	606-002-00-3	#
Classification: Flam. Liq. 2;H225, Eye Irrit. 2;H319, STOT SE 3;H336					

图 2-6.

ii. 识别表中的溶剂：

SECTION 3: Composition/information on ingredients

Mixture

General information

Chemical name	%	CAS-No. / EC No.	REACH Registration No.	Index No.	Notes
n-Butyl acetate	80 - < 90	123-86-4 204-658-1	-	607-025-00-1	#
Classification: Flam. Liq. 3;H226, STOT SE 3;H336					
Butanone	10 - < 20	78-93-3 201-159-0	-	606-002-00-3	#
Classification: Flam. Liq. 2;H225, Eye Irrit. 2;H319, STOT SE 3;H336					

图 2-7.

c. 检查溶剂是否具有极性或非极性

- i. 这可以通过比较介电常数或极性指数值来实现。
- ii. 请参阅以下链接，在线查看信息，或咨询化学品制造商。
 1. https://www.chem.rochester.edu/notvoodoo/pages/reagents.php?page=solvent_polarity
 2. <https://macro.lsu.edu/howto/solvents/polarity%20index.htm>
 3. https://depts.washington.edu/eoopic/linkfiles/dielectric_chart%5B1%5D.pdf
 4. <https://macro.lsu.edu/howto/solvents/Dielectric%20Constant%20.htm>
2. 如果溶剂的极性 or 介电常数较高，请向制造商咨询类似的产品，这些产品采用非极性 or 低极性溶剂型替代品。
3. 在这种情况下，乙酸正丁酯的介电常数为 **5.01**，而丁酮的介电常数为 **18.5**。乙酸正丁酯极性不是很强，应被视为污染 RH 传感器的风险低。然而，丁酮具有高介电常数，并被认为是极性、非原子分子。这意味着环氧树脂有很高的化学污染风险，不应使用。必须选择没有像丁酮这样的极性分子的新环氧树脂。
4. 除上述内容外，分析外壳的电路板原理图以避免灰尘/碎屑。
5. 经常检查清洁板所用的水质。使用非蒸馏水的水可能包含离子、矿物或其他分子，这些分子可能会意外污染湿度传感器。
6. 使用目视检查功能（如果有）检查腔体。
 - a. 以下是可见表面污染的示例。请注意，并非所有表面污染实际上都位于（或非常接近）较暗的内部传感器区域。内部传感器区域之外的表面污染不会影响 RH 精度。
 - b. 选择带有 PTFE 滤光片盖的湿度传感器，可防止表面污染到达传感器腔体。

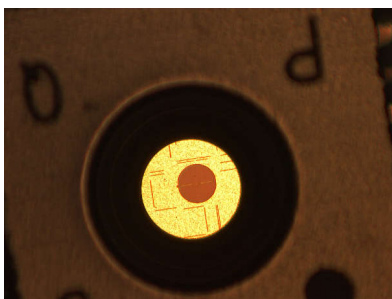


图 2-8. 无表面污染的 HDC3020 示例

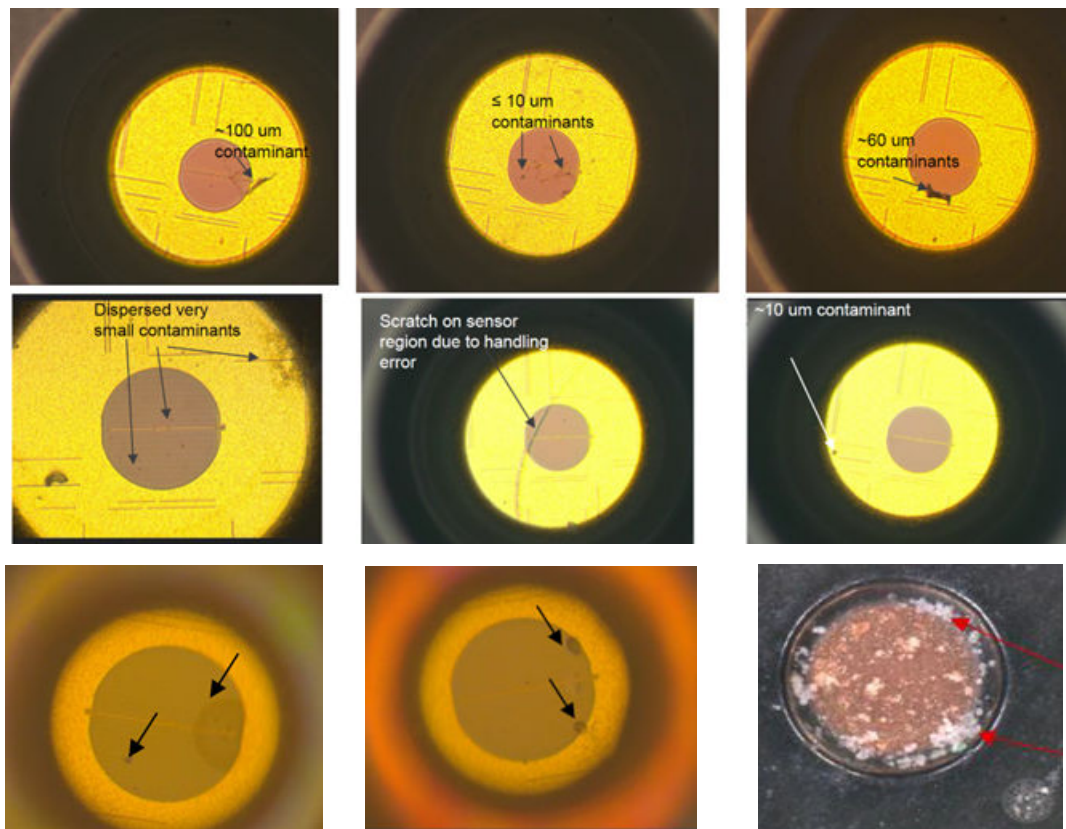


图 2-9. 显微镜可见的真实表面污染示例

即使有目视检查功能，也不能始终使用光学检查来捕获污染。在某些情况下，没有可见的污染迹象，例如与挥发性有机化合物的相互作用。用户必须仔细查看为湿度传感器提供的特殊处理说明。若要在 PCB 制造过程中避免传感器性能发生变化，最好主动分析制造流程中是否存在任何化学品及其对湿度传感器的影响。

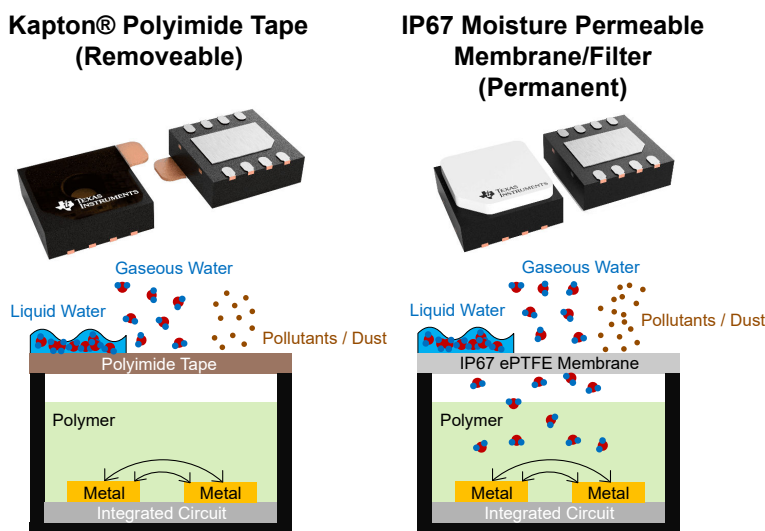
3 总结

可以采取哪些措施来减轻化学污染以及预计会发生什么？

为了在其整个生命周期内保持相对湿度传感器的精度，可以使用保护盖来防止灰尘、水和化学物质的损害。保护盖可以位于 PCB 外部，可以保护传感器和其他 PCB 元件免受灰尘/碎屑/液体/损坏。但是，TI 还提供带有片上保护胶带和滤波器盖的 RH 传感器，可在减轻一些污染方面提供额外的帮助。

封装上的可拆卸胶带是一个很好的选择，可防止 PCB 组装过程中的化学污染，而化学污染是很常见的污染来源。胶带的工作原理是允许传感器覆盖涂层/洗涤/灌封材料，然后在所有组装和任何固化完成后，通过侧面压片剥离胶带。这会导致暴露的 RH 传感器腔体在组装过程中未暴露于任何潜在污染物中。

当液体或固体化学污染被视为危险时，永久性 IP67 过滤器最适合使用。不得去除过滤器，它可以防止碎屑、烟雾、灰尘、冷凝和浸水。IP67 必须允许水蒸汽穿透来感测 RH，这样过滤器就不会将 VOC 等气体化学物质阻挡在外。



长时间对湿度传感器进行高温加热（例如，对其进行烘烤）可消除污染物或极端条件下的漂移。如果在组装后的内部测试过程中发现化学污染，外部烘烤就可以工作。不过，使用传感器后，外部烘烤通常不实用。TI 湿度传感器具有集成式加热器，可用于加热 RH 传感器，从而加快化学污染物从聚合物中扩散的速度。有效消散污染所需的热量的确切持续时间和功率水平将取决于化学品、其浓度及污染量。烘烤 RH 传感器无论是通过内部加热器还是外部烤箱，都能有效地去除大容量污染物。但是，烘焙通常不能通过液体蒸发以外的任何方式来解析表面污染。固体表面污染通常不能通过烘烤（使用烤箱或集成式加热器）清除，因此必须用蒸馏水将其清除。有关如何使用集成式加热器的更多详细信息，请参阅[使用集成式加热器从高湿度暴露中恢复 RH 精度应用手册](#)。

减轻化学污染对于湿度传感器影响的最佳方法是预防。在进行 PCB 组装时，无论是由用户直接进行还是由第三方供应商进行，都应设法了解组装过程中使用的化学品，并查看 MSDS 文档来评估对 RH 精度的潜在影响。对于确定为危险的化学品，请根据 MSDS 替换风险较低的化学品。例如，不使用化学 PCB 清洗，而是使用免清洗助焊剂，因此无需清洗，或者使用蒸馏水清洗，这样就不会产生 VOC 或表面污染的额外风险。确保 RH 传感器是最后要组装到 PCB 上的元件，以便传感器暴露于较少的化学物质环境中并执行组装步骤。

4 参考资料

- 德州仪器 (TI), [HDC1080 带温度传感器的低功耗、高精度度数字湿度传感器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [HDC2080 低功耗湿度和温度数字传感器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [HDC2010 低功耗湿度和温度数字传感器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [HDC302x 0.5%RH 数字相对湿度传感器和 0.19%RH/年长期漂移、4s 响应、低功耗、偏移误差校正、0.1°C 温度传感器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [HDC302x-Q1 汽车级 0.5%RH 数字相对湿度传感器和 0.19%RH/年 LTD、4s 响应、偏移误差校正、0.1°C 温度传感器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [具有低长期漂移 \(0.19%RH/年\) 与 4s RH% 响应的 HDC3120 高精度 \(1%RH, 0.2°C\) 模拟湿度与温度传感器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [具有低长期漂移 \(0.19%RH/年\) 与 4s RH% 响应的 HDC3120-Q1 高精度 \(1%RH, 0.2°C\) 模拟湿度与温度传感器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [HDC2x 器件](#), 用户指南。
- 德州仪器 (TI), [HDC3x 器件](#), 用户指南。
- 德州仪器 (TI), [如何调试 RH 传感器中的 RH 精度问题](#), 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [使用集成式加热器从高湿暴露中恢复 RH 精度](#), 应用报告。
- 德州仪器 (TI), [TI 湿度传感器: 编程和集成指南](#), 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [湿度传感器比较指南](#), 产品概述。
- 不是 Voodoo XX, https://www.chem.rochester.edu/notvoodoo/pages/reagents.php?page=solvent_polarity, 网页。
- 路易斯安那州立大学, [极性指数](#), 网页。
- 华盛顿大学, [常见溶剂的介电常数](#), 网页。
- 路易斯安那州立大学, [介电常数](#), 网页。

5 修订历史记录

注: 以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (August 2026) to Revision A (August 2026)	Page
• 修复了 化学污染物的类型和来源 部分中损坏的超链接.....	2
• 将与传感器相互作用的遏制机制 部分从 详细说明 部分移出.....	5
• 修复了 <i>Polar Chemical</i> 污染 部分中损坏的超链接.....	7

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月