



Mason Chen

摘要:

本文聚焦德州仪器 (TI) 产品, 详细阐述环境光传感器与颜色传感器在汽车领域的应用。开篇列举 TI 环境光传感器在汽车自动大灯控制、车内显示设备亮度调节及车内氛围营造等方面的实际应用实例, 展现其对汽车智能化功能实现的重要作用。接着深入解释 TI 环境光传感器的常见参数, 帮助读者理解其性能指标。随后最后对 TI 颜色传感器展开介绍, 涵盖其功能特性等内容。同时针对环境光传感器和颜色传感器常见疑问点进行解析, 消除读者困惑。最后详细讲解环境光传感器和颜色传感器的产线校准流程和步骤, 帮助客户由了解到实际应用。通过对 TI 传感器在汽车领域多方面的探讨, 为读者呈现全面且深入的 TI 传感器应用指南, 助力读者了解 TI 传感器如何推动汽车行业向智能化、舒适化发展。

环境光传感器在汽车上的应用实例

在科技飞速发展的当下, 越来越多的汽车开始使用环境光传感器, 这一趋势正深刻改变着汽车的使用体验。环境光传感器宛如汽车的 "光感卫士", 在现代汽车中扮演着至关重要的角色。从功能实现上看, 环境光传感器能够精准检测车外环境的光线强度, 并将光信号巧妙转化为电信号, 进而自动调控汽车的多项关键功能。比如**自动大灯控制**: 光传感器可检测车外光线的强度。当光线变暗时, 如在夜间或进入隧道时, 传感器会自动触发车辆大灯开启; 当光线变亮时, 如白天或驶出隧道, 大灯则自动关闭或切换为低光模式, 为驾驶员提供良好的视野, 同时避免不必要的能源消耗。

车内氛围灯调节: 根据环境光的变化自动调整车内氛围灯的亮度和颜色。在白天, 氛围灯可以调暗或保持关闭状态, 以免影响驾驶员视线; 而在夜间, 氛围灯可以自动变亮, 并根据不同的驾驶模式或用户偏好调整颜色, 营造舒适的驾乘环境。

显示屏亮度调节: 车内的中控显示屏、仪表盘等显示设备会根据周围光线条件自动调节亮度。在强光下, 如阳光直射时, 显示屏会自动提高亮度, 确保内容清晰可见; 在弱光环境中, 显示屏则降低亮度, 防止光线过强刺激眼睛, 同时也能节省能源。

后视镜自动防眩目: 光传感器能探测到后方车辆大灯的强光, 并自动调节后视镜的反射率, 减少眩光对驾驶员视线的干扰, 提高夜间行车的安全性。

天窗自动控制: 一些车辆的天窗可以根据光线强度自动调节开合程度。在阳光强烈时, 天窗可能会自动关闭或调整为遮阳模式, 以减少车内热量积聚和眩光; 而在光线较柔和时, 天窗可以自动打开, 让车内获得更多自然光线和新鲜空气。

TI 环境光传感器 OPT4001-Q1 有着高速, 高分辨率, 超小型 Picostar 封装, 强大的红外抑制功能, 高人眼光谱匹配度, 支持色温检测等卓越性能, 深度融入汽车的照明、显示、氛围营造等多个关键环节, 更为驾驶者和乘客带来便捷、安全且舒适的优质出行体验, 图 1.1 展示了 TI 环境光传感器在汽车上的应用实例。

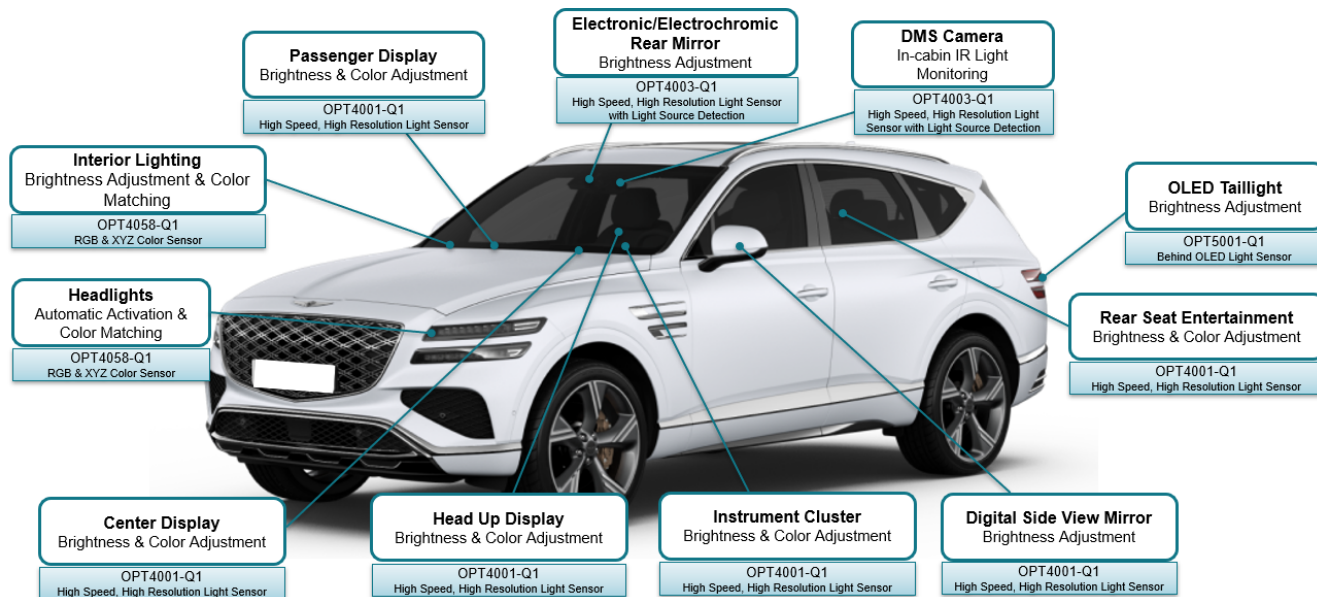


图 1. TI 环境光传感器在汽车上的应用实例

环境光传感器介绍和参数解释

TI 的 OPT4001-Q1 是一款汽车级高速高精度数字环境光传感器。在性能特性上，OPT4001-Q1 通过高速 I²C 接口实现高精度、高速的光 / 数转换。它采用精密光学滤波技术，光谱响应与人眼的明视响应高度契合，同时具备出色的近红外 (NIR) 阻隔能力，能有效去除常见光源中的近红外成分，确保测量的光强度精准可靠。

在每个范围内均呈现高度线性响应，测量范围可达 400 μ lux 至 107klux，拥有 28 位有效动态范围。其内置自动满标度照度范围选择逻辑，可依据输入光条件自动切换测量范围，在不同光照环境下都能提供良好的分辨率，无需用户手动根据照度级别选择增益设置。

OPT4001-Q1 拥有 12 个可配置的转换时间，范围从 600 μ s 到 800ms，能很好地适配各种对高速和高精度有需求的汽车应用场景。例如在自动大灯控制场景中，快速的转换时间可及时响应环境光变化，精准控制大灯的开启与关闭；在车内显示设备亮度调节方面，合适的转换时间可保证屏幕亮度根据环境光实时、稳定地调整，为驾乘人员带来舒适的视觉体验。

TI OPT4001 - Q1 采用的 PicoStar™ 封装，具备极为紧凑的外形尺寸，0.84mm×1.05mm×0.226mm。如此小巧的外形设计，使其在对空间布局要求严苛的应用场景中展现出显著优势，尤其是在柔性印刷电路板 (FPC) 这类对空间利用效率有强烈限制的领域，能够有效契合其紧凑的空间结构，在有限空间内实现高效安装与稳定运行，极大程度满足了相关应用对于传感器小型化、高集成度的需求。

转换时间：

转换时间指的是自测量起始至测量完成所历经的时长，其中包含将测量结果更新至寄存器所需的时间。该时间跨度通常在几百微秒至整秒之间，可供用户按需选择。以 TI 的 OPT4001-Q1 为例，其转换时间可在 600 μ s 至 800 ms 之间灵活调整，共计设有 12 个档位。

在实际应用场景中，客户往往期望转换时间越短越好。然而，需注意的，采用较快的转换时间，通常会致使传感器灵敏度下降，同时测量噪声增大。反之，若转换时间设置得过慢，同样可能在实际应用中带来不便。光传感器在多数应用场景下，会利用 lux 读数，使系统依据环境光变化做出响应，如对屏幕亮度进行调节。若转换时间过长，会在环境光变化与屏幕亮度调整之间，产生显著的延迟现象。

因此，理想状态是选用最快的转换时间，同时该时间需能满足应用程序对灵敏度的要求。以 OPT4001-Q1 采用的超小型 PicoStar™ 封装为例，若需测量 5m lux 的光照强度，50 ms 即为可选择的最快转换时间。该转换速度不仅极为迅速，且具备较高的灵敏度，能够满足市面上近乎所有相关应用的需求。

Table 6-5. Resolution Table for the PicoStar™ Variant

CONVERSION TIME REGISTER	CONVERSION TIME	MANTISSA EFFECTIVE BITS	FULL-SCALE								
			328 lux	655 lux	1311 lux	2621 lux	5243 lux	10486 lux	20972 lux	41943 lux	83886 lux
			FULL-SCALE LUX (Effective Resolution in Lux)								
			328	655	1310	2621	5243	10486	20972	41943	83886
0	600 μs	9	640 m	1.28	2.56	5.12	10.24	20.48	40.96	81.82	163.84
1	1 ms	10	320 m	640 m	1.28	2.56	5.12	10.24	20.48	40.96	81.82
2	1.8 ms	11	160 m	320 m	640 m	1.28	2.56	5.12	10.24	20.48	40.96
3	3.4 ms	12	80 m	160 m	320 m	640 m	1.28	2.56	5.12	10.24	20.48
4	6.5 ms	13	40 m	80 m	160 m	320 m	640 m	1.28	2.56	5.12	10.24
5	12.7 ms	14	20 m	40 m	80 m	160 m	320 m	640 m	1.28	2.56	5.12
6	25 ms	15	10 m	20 m	40 m	80 m	160 m	320 m	640 m	1.28	2.56
7	50 ms	16	5 m	10 m	20 m	40 m	80 m	160 m	320 m	640 m	1.28
8	100 ms	17	2.5 m	5 m	10 m	20 m	40 m	80 m	160 m	320 m	640 m
9	200 ms	18	1.25 m	2.5 m	5 m	10 m	20 m	40 m	80 m	160 m	320 m
10	400 ms	19	0.625 m	1.25 m	2.5 m	5 m	10 m	20 m	40 m	80 m	160 m
11	800 ms	20	0.3125 m	0.625 m	1.25 m	2.5 m	5 m	10 m	20 m	40 m	80 m

表 2.1 PWM 调光频率选择表

近红外光抑制功能：

在光传感技术体系中，近红外光抑制功能是衡量传感器性能的关键要素。红外光位于可见光谱范围之外，当环境存在红外光干扰时，普通传感器易受影响，致使读数呈现的环境亮度高于实际值，进而产生显著的 lux（照度单位）误差，且该误差难以通过常规校准手段予以消除。同时，在现实世界中的许多光源都含有大量人眼无法察觉的红外光成分。如果传感器测量到人眼看不见的红外光，那么就无法准确反映真实的人体体验。

在实际应用场景中，无论是强光直射的户外，还是室内多种光源混合的环境，TI 的 OPT3001 与 OPT4001-Q1 传感器凭借出色的近红外光抑制能力，确保输出精准的可见光测量数据，为各类对环境光检测精度要求严苛的应用，提供了坚实有力的支持。

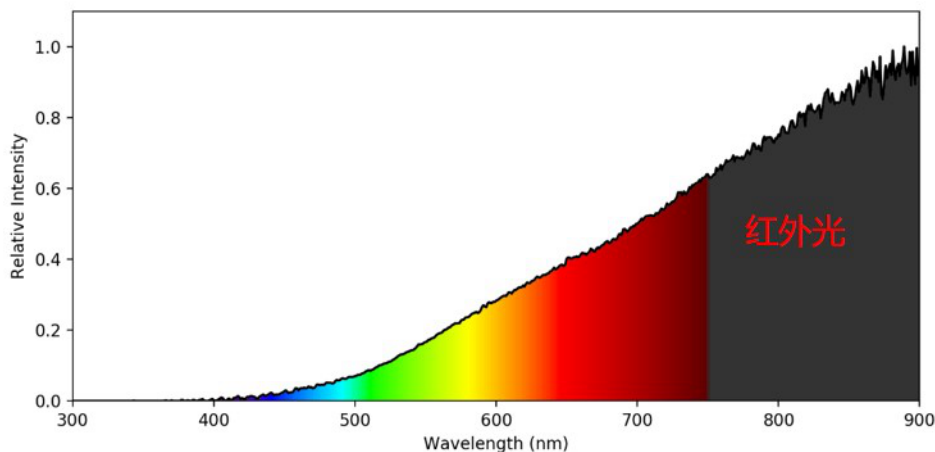


图 2. 白炽灯的光谱含量

颜色传感器介绍

颜色传感器在显示设备领域具备关键作用，能够精准测量色温，并据此对显示颜色进行智能调节。其应用场景广泛，涵盖电视、显示器、笔记本电脑、智能手机、平板电脑以及汽车显示屏等诸多设备，通过依据周围光照条件的变化，优化显示颜色，为用户带来更为舒适的视觉体验。

在汽车显示屏的应用场景中，由于汽车主要行驶于户外环境，一天内不同时间、不同场景下会面临各异的环境色温，如图 3.1 所示。色温，作为描述光线颜色冷暖程度的物理量，在不同时段以及不同类型光源下会显著变化，其通常变化范围介于 1500 开尔文至 10000 开尔文之间。实际生活中，如图 3.2 所示，环境色温的变化情况丰富

多样，例如在阴天或者处于浓重阴影下时，白色呈现出的视觉效果更偏向蓝色，即冷色调；而清晨和傍晚时分，阳光则明显偏向红色，呈现出“暖色调”。

在汽车显示屏若缺乏对颜色的有效管理与调节机制时，显示内容在不同光照条件下将显得极为突兀。图 3.3 展示了未使用色温传感器的显示屏显示效果，与纸张显示效果对比，可清晰看出该显示屏的亮度与颜色和周围环境存在明显不匹配，极大影响视觉感受。

TI 推出的车规级颜色传感器 OPT4058-Q1，能够有效助力显示器实现亮度与颜色和环境颜色的精准匹配，具体效果如图 3.4 所示。借助 TI 色温传感器 OPT4058-Q1，显示器能够智能适应光照条件，呈现效果如同纸张般自然，不仅显著提升了用户体验，还能有效减轻用户眼睛疲劳，为汽车驾乘者提供更为舒适的视觉环境。

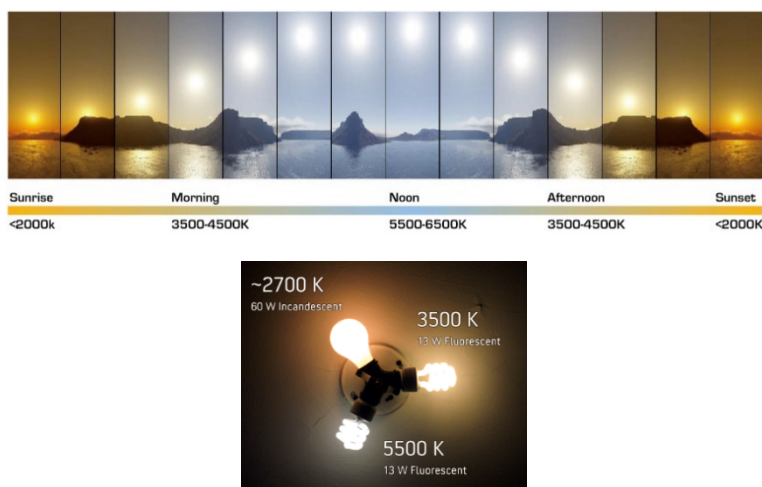
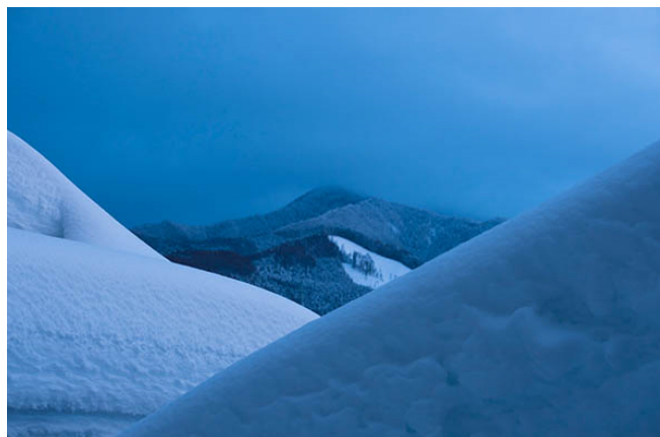


图 3. 色温示意图

Cloudy/Overcast Day



Early Morning/Evening



图 4. 实际生活中的环境色温案例



图 5. 未使用 TI 颜色传感器的显示效果对比

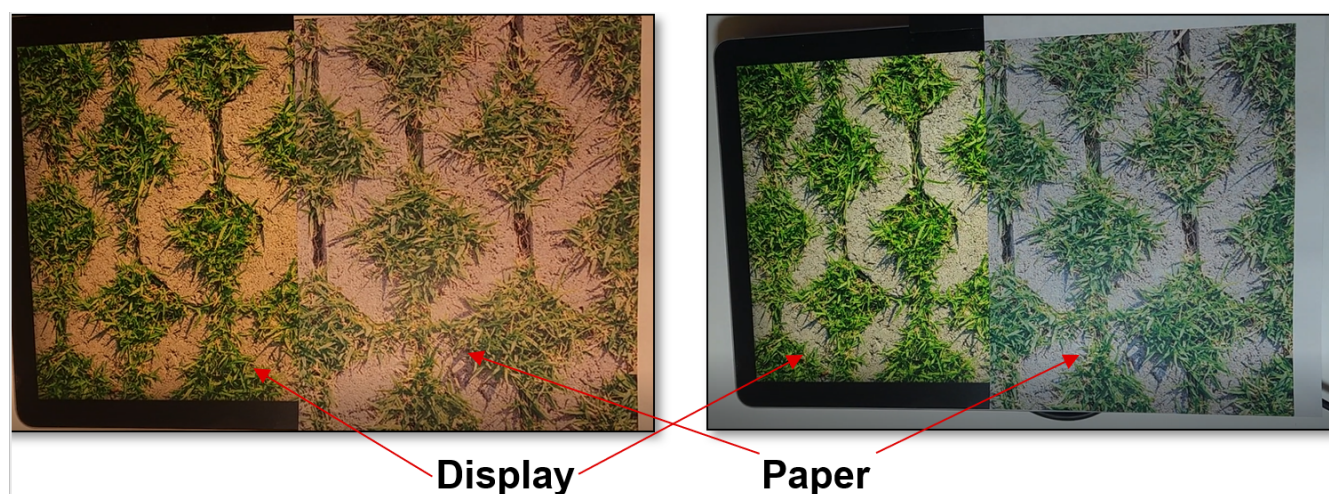


图 6. 使用 TI 颜色传感器 (OPT4058-Q1) 的显示效果对比

常见疑问点解析

自动满量程设置的最大转换时间

OPT3001/4001-Q1 具备自动满量程范围设置功能 (Automatic Full - Scale Range Setting)，该功能优势显著，用户无需预先预测并手动设置传感器的最佳测量范围。在此模式下，设备能够依据每次测量时面临的不同照明条件，自动选定最为适配的满量程范围，极大地提升了用户使用的便捷性。然而，在实际应用场景中，客户常咨询在此模式下的最长转换时间相关问题。

当外界环境亮度发生急剧变化，例如从低亮度瞬间跃升至最大亮度时，若此时照度值超出设备当前设定的满量程范围，照度测量进程将即刻终止，且此次无效测量结果不会被报告。一旦检测到刻度未达最大值，设备会自动将刻度提升一级，并基于新刻度重新开展测量工作。因此，在自动满量程范围设置模式下，面对快速增加的光瞬变情况，测量完成并输出报告所需的时间，有可能长于 **CONVERSION_TIME** 配置寄存器所指示的常规时间。

具体而言，在外界环境亮度急剧变化期间，设备会暂时停止当前的亮度测量，随即进行一次时长为 **10 ms** (此时时间为转换时间的 **10%**) 的测量操作，用以重新评估量程范围，之后再启动新一轮测量。以转换时间设定为 **100 毫秒** 为例，设备启动测量后，若在 **90 毫秒** 时，传感器遭遇超出其量程范围的光线照射，设备将立即中止此次测量，耗时 **10 毫秒** (需注意，OPT3001-Q1 重新评估时间为 **10ms**，而 OPT4001-Q1 仅需 **600us**，该重新评估的时间是固定的) 重新评估新的测量范围，随后重新开始新一轮测量，这一系列操作会导致连续测量之间的时间延长至 **200 毫秒**。一般情况下，该延长时间不会超过常规转换时间的 **2 倍**。即便将传感器反复暴露于急剧的环境亮度变

化场景中（如通过迅速开关光源进行测试，该情况一般只会出现在实验测试过程中），虽然会进一步延长总转换时间，但总转换时间也不会超过常规转换时间的 3 倍。

环境光传感器的精度问题

环境光传感器的误差构成包含两个主要部分。其一为因测量不同光源而产生的误差，此误差源于芯片自身特性，无法通过常规校准手段消除。在 OPT3001/4001-Q1 的规格书中，明确标注该类误差值为 4%，这是一个具有典型性且适用于各类光源的规格参数。实际上，针对大多数常见光源，其测量精度误差均能控制在 3% 以内，具体可参考图 3 与表 4.1 所示。

其二为芯片出厂时，不同单体芯片间存在的测量输出结果误差（Measurement output result），对于 OPT3001/4001-Q1，该误差范围为 $\pm 10\%$ 。不过，此误差可由客户在产线环节进行校准。经校准后，不同单体芯片之间的此类误差能够得以消除。故而，在经过完善校准流程后，对于大多数光源，TI 的环境光传感器可实现测量精度达到 3% 及以下。值得注意的是，该误差在整个测量范围内呈现高度线性特征。举例来说，若在 1000 lux 光照强度下误差为 $\pm 3\%$ ，那么在 2000 lux 光照强度时，其误差依然维持在 $\pm 3\%$ 。

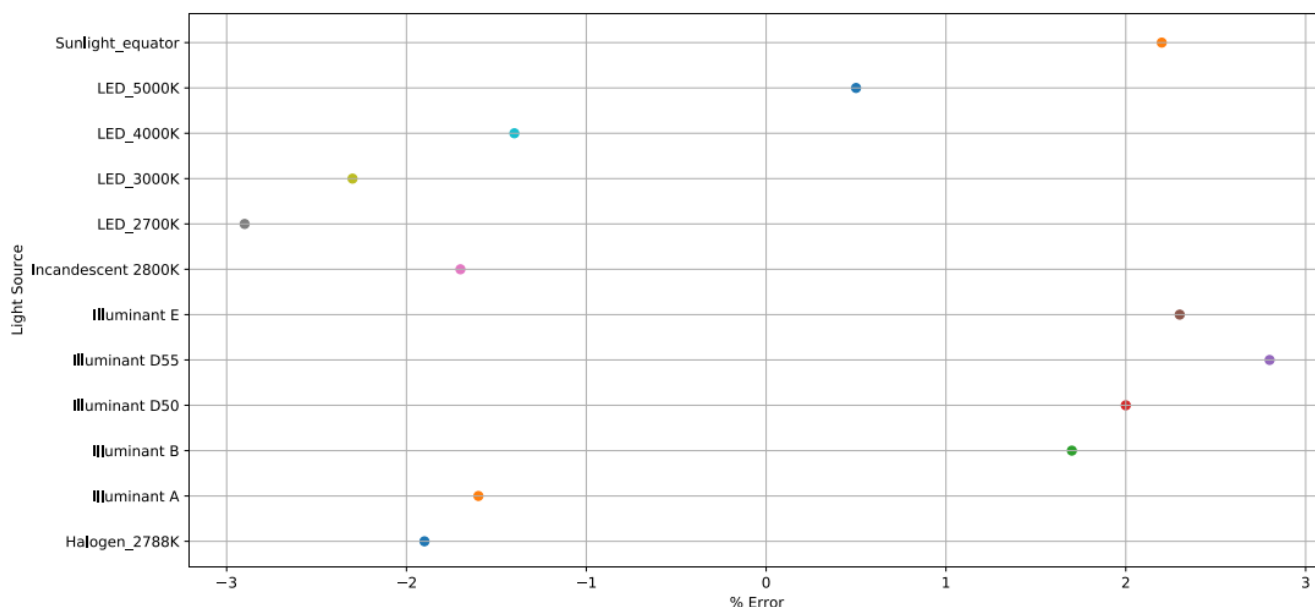


图 7. OPT4001YMN-Q1 光源变化导致的误差

表 1. OPT4001YMN-Q1 光源变化导致的误差汇总表

Source	% Error from Reference
Halogen_2788K	-1.9
LED_2700K	-2.9
LED_3000K	-2.3
Incandescent 2800K	-1.7
Illuminant A	-1.6
LED_4000K	-1.4
LED_5000K	0.5
Illuminant B	1.7
Illuminant D50	2
Sunlight_equator	2.2
Illuminant E	2.3
Illuminant D55	2.8

产线校准流程

由上述精度问题的描述可知，不同的环境光传感器，即便来自同一批次，在芯片出厂时，不同单体芯片间也存在测量输出结果误差。且在光感芯片上会覆盖一层油墨涂层，会进一步改变环境传感器的精度，因此在产线上进行校准是必要的。经校准后，对于大多数光源，TI 的环境光传感器可实现测量精度达到 3% 及以下，下面来详细介绍传感器的产线校准流程。

环境光传感器产线校准流程

在 TI 环境光传感器的产线校准环节，需将已知光照强度的标准光源照射至传感器，进而从传感器读取相应数据。通过精确的计算方式，获取一个校准因数，旨在让传感器读数能够精准反映实际光照强度，这一操作过程即为校准。在校准过程中，标准光源的稳定性至关重要，并且需具备一系列可被接受的读数范围。在此建议采用电流调光方式，而非脉冲宽度调制（PWM）调光。原因在于，PWM 调光易引发光照强度的快速不稳定变化，这会对校准的准确性产生负面影响。此外，为确保校准测量不受外界环境光干扰，需配备一个能够有效阻挡环境光的黑暗外壳。

鉴于校准过程中已知照射在传感器上的光照强度，此数据可用于确定补偿系数，并将其写入每个芯片单元。为存储该校准因子，每个芯片单元均需配备非易失性存储器，如 EEPROM 芯片。测试与校准软件负责确定补偿系数，并将其准确写入相应内存。以下为一个测试示例，所有芯片单元经过校准后，均能与校准光源给出的 500 lux 光照强度精准匹配。

校准因子的计算公式为：校准因子 = (实际照度值) / (传感器报告照度值)。

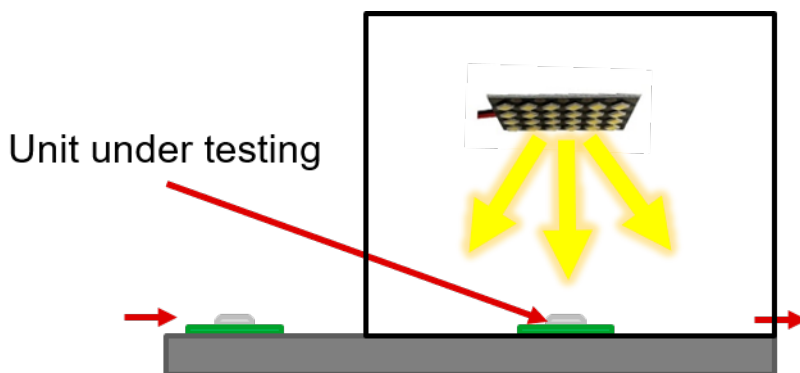


图 8. 校准示意图

表 2. 校准因子计算示例

Unit	Lux 读数	校准因子	校准后的读数
1	475	1.053	500
2	485	1.031	500
3	515	0.971	500
4	500	1	500
5	530	0.943	500
6	490	1.020	500

颜色传感器校准流程：

对于颜色传感器，需要使用矩阵方程来计算颜色值和光照强度（lux）。

将已知且稳定的光源照射到传感器上，两种类型的光源或许足以调校颜色矩阵，需要一个黑暗的外壳来阻挡环境光，并且需要色度计作为参考。

Dark enclosure

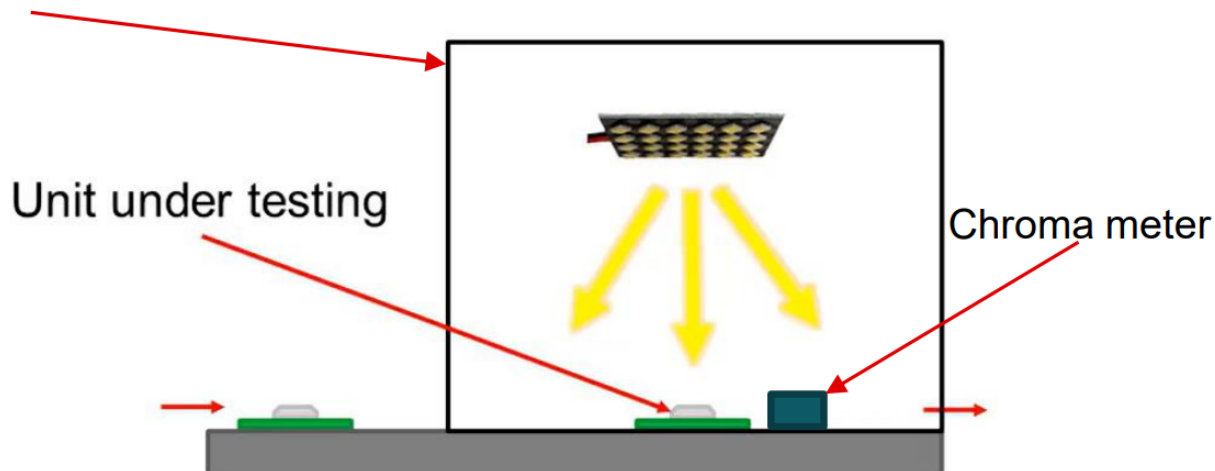


图 9. 颜色传感器校准示意图

校准步骤如下：

1. 用色度计和 OPT4058-Q1 测量光源 A。从色度计读取 X、Y、Z 值，从 OPT4058-Q1 读取 CH0、CH1、CH2 数值。
2. 根据 OPT4058 的数值计算 X、Y、Z 值。
3. 计算每个通道的缩放因子，以确保每个单元与参考色度计相匹配。
4. 对所有光源重复步骤 1 至 3。
5. 缩放 OPT4058-Q1 每个通道的读数，使其与参考值匹配。

$$\begin{array}{c} \text{CH0} \text{ CH1} \text{ CH2} \\ \text{source A} \\ \text{source B} \\ \text{source C} \end{array} \begin{bmatrix} x & y & z \\ x & y & z \\ x & y & z \end{bmatrix} \times \begin{array}{c} \text{Scaling Factors} \\ Ax \quad Ay \quad Az \\ Bx \quad By \quad Bz \\ Cx \quad Cy \quad Cz \end{array} \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \end{bmatrix} = \begin{array}{c} \text{Reference} \\ x \quad y \quad z \\ x \quad y \quad z \\ x \quad y \quad z \end{array} \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \end{bmatrix}$$

TI 光源校准设备：

在光传感器校准领域，若采用普通光源实施校准工作，普通光源自身误差通常可达约 20%。TI 针对这一问题，专门研发了用于光传感器校准的设备——TI Light (TI Lightbox)。TI Light 能够将校准光源的精度提升至 1% 以下，极大地优化了校准效果。目前，TI Light 已在 ti.com 发布，可便捷获取，助力相关用户开展更为精准的光传感器校准作业。[LIGHTSOURCE01EVM Development kit | TI.com](#)

总结

本文围绕 TI 产品，深入探讨了环境光传感器和颜色传感器在汽车领域的应用与特性。TI 环境光传感器凭借高速，高精度、近红外光抑制、与人眼契合的光谱响应以及宽测量范围等特性，在自动大灯控制、车内显示设备亮度调节和车内氛围营造等关键场景中发挥着重要作用。颜色传感器可精准测量色温，进而调节汽车显示屏等设备的显示颜色，为驾乘者带来更舒适的视觉体验。针对这两类传感器常见疑问点的解析，有效消除了读者在理解和使用上的困惑。同时，详细的产线校准流程介绍，从稳定光源照射、标准光源选择、环境光干扰防护到校准因数获取及补偿系数写入，为传感器的精准应用提供了实操指导。TI 光传感器以其卓越的技术优势，切实推动着汽车行业朝着智能化、舒适化方向大步迈进，为汽车智能化发展注入了强大动力，也为相关从业者和研究人员提供了极具价值的参考。

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司