

LEAF 的 LED 前照灯

日产汽车 2010 年 12 月上市了电动汽车 (EV) “LEAF” (中国名: 聆风。图 1)。该车以最初年产 5 万辆, 2012 年年产 20 万辆这一在 EV 中前所未有的规模实施量产。该款车型有很多值得关注的地方, 比如通过与具有通信功能的导航仪联动来指引充电设施所在位置, 为延长续航里程对锂离子充电电池进行彻底的电源管理等等。其中, 标配的 LED 前照灯也颇受关注。

负责为 LEAF 开发 LED 前照灯的是日本市光工业。为了以低成本实现“世界最高的节电性能”, 市光工业在既可抑制白色 LED 的发光损失又可获得所期望的配光特性方面下了一番工夫, 同时还采取了对白色 LED 进行高效散热, 确保高发光效率的对策。



图 1: 日产 LEAF

LEAF 的 LED 前照灯在近光光源上采用白色 LED, 近光灯点亮时的耗电量为整个前照灯 23W。这一数值仅为 55~60W 级卤灯的 40% 左右、43~45W 级 HID 灯的 50% 左右。即使与丰田混合动力车“普锐斯 (Prius)”的现有车型所配备的 LED 前照灯 (近光灯点亮时约 35W, 新车发布时的数值) 相比耗电量还要小。

只用 2 个白色 LED 作为光源

在市光工业统管 LED 前照灯开发的村桥克广 (市光工业开发本部研究开发部 P2P3 第 1 项目组负责人) 强调的一点就是, LEAF 的每个前照灯只使用 2 个白色 LED (图 2)。LEAF 售价为 376 万 4250 日元 (含税), 利用政府补贴时

为 298 万 4250 日元（含税），作为 EV 将价位控制在了较低水平。但该车却在这一普及价位下标配了 LED 前照灯。因此，与作为选配或者在高档车型上配备时相比，势必要将 LED 前照灯的部件成本控制在低水平上。为此就必须“在其他厂家使用 3 个白色 LED 的地方只用 2 个”（市光工业）。

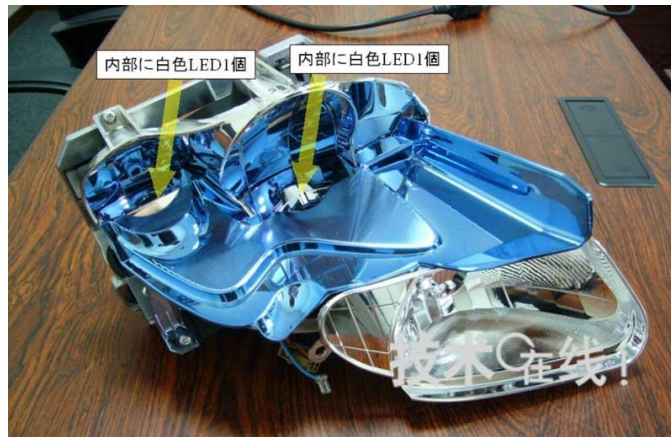


图 2：LED 前照灯。每个 LED 前照灯使用 2 个白色 LED

不过，如果简单地将 3 个 LED 减为 2 个的话，前照灯的亮度就会不足。虽然随着白色 LED 特性不断改善，迟早能够用 2 个实现与 3 个同等的亮度，但现有白色 LED 的“亮度还未达到足够明亮的程度”（村桥）。一般来说，提高对白色 LED 的输入功率即可获得足够的亮度，但这时发热量往往会增大，导致白色 LED 的温度上升，进一步导致 LED 的发光效率下降。而且耗电量变大的话，会减弱 LED 前照灯的“低耗电”这个优点所拥有的魅力。因此，市光工业为了能够低损耗地使用白色 LED 的光线采用了精密的配光控制技术，并进行了可使白色 LED 保持高发光效率的散热设计。

以 3 个反射面实现所期望的配光

市光工业此次在配光控制的光学系统中采用了被称为反射镜型（反射型）方式。该方式通过用反射镜反射光源（白色 LED）发出的光线来实现需要的配光。此次的 LED 前照灯使用一次反射镜（椭圆反射镜）、灯罩、二次反射镜（抛物面反射镜）这三个反射面进行配光（图 3）。

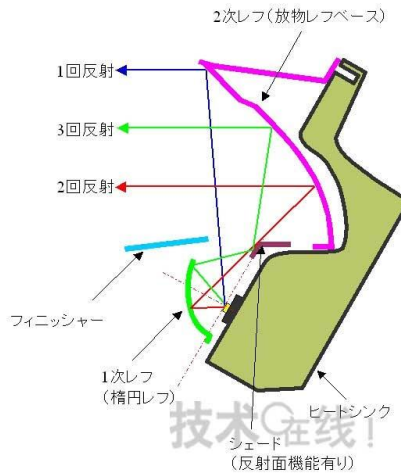


图 3: LED 光学系统

一次反射镜配备在白色 LED 的垂直方向附近，将白色 LED 发出的光线光路改向投射至二次反射镜面。灯罩具有对前照灯发出的光束形状进行调整的功能（遮挡功能）。虽然这部分采用灯罩这一名称，但为了不使调整光束形状时挡住的光线被浪费掉，在灯罩上增加了反射功能。这样，那些未沿着所期望的方向行进的光线便转向二次反射镜进行反射。二次反射镜会反射一次反射镜及灯罩反射过来的光线以及部分直接来自白色 LED 的光线，最后作为前照灯的光线放射出去。这时，白色 LED 的光线是由这些反射面进行 1~3 次反射后，向前照灯外部射出的。在反射面中，二次反射镜的形状最为复杂。由多个反射面构成，不是单纯地投射光线，而是能够向必要的部位调配光线（图 4）。

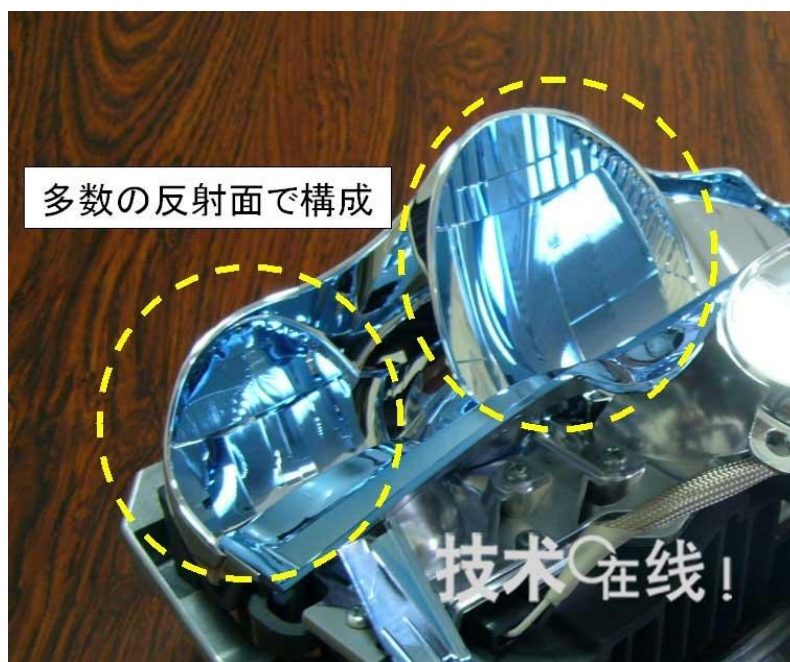


图 4：二次反射镜由多个反射面构成

在 LED 前照灯的光学系统中，除了此次采用的反射镜型以外，还有使用透镜的聚光灯型产品。以往的 LED 前照灯以聚光灯型为主流。据市光工业介绍，聚光灯型虽然具有通过遮挡等容易制造出明暗界面的优点，但同时也存在光学系统的进深方向变长，不利于精密配光控制的缺点。而 LEAF 的 LED 前照灯由于是反射镜型，因此能够缩短光学系统的进深。并且，通过组合上述功能各不相同的反射面来进行精密控制，也可高效地制造出明暗界面。另外，前照灯的外观设计也很有特点，从外部无法直接看到白色 LED 光源。

反射镜型 LED 前照灯的创意是在市光工业与法国法雷奥 (Valeo) 合作的过程中诞生的。反射镜型的开发原本在法雷奥进行，但一直未能实用化。后来通过市光工业与法雷奥合作，使反射镜型 LED 前照灯最终变为了“实用化产品”（村桥）。法雷奥同时推进聚光灯型和反射镜型的开发。当时聚光灯型 LED 前照灯已在市面上出现，而反光镜型尚无实用先例，为了突出“独创性作为卖点”（村桥），市光工业选择了开发反光镜型 LED 前照灯。

光源采用的白色 LED 是从美国飞利浦照明公司 (Philips Lumileds Lighting) 采购的。市光工业从 2005 年开始与日产及飞利浦照明共同开发 LED 前照灯。此次 LED 前照灯采用飞利浦流明的白色 LED 并配备在日产车辆上，正是共同开发的成果之一。另外，市光工业在共同开发之前就已经在研发 LED 前照灯，曾在展会等场合展出过使用 20 多个 LED 芯片的 LED 前照灯。

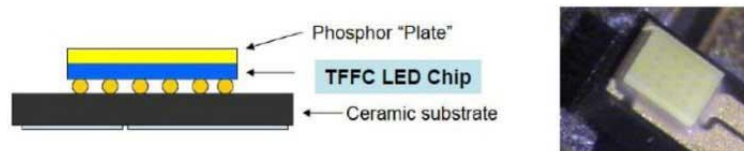
此次配备的白色 LED 为多芯片型，4 个 1mm 见方的白色 LED 横向排成一行配备在一个封装内（图 5）。通过使用 4 个芯片，获得了可供前照灯使用的足够亮度。



图 5: 白色 LED

据市光工业介绍，在开发白色 LED 时，为了轻松配备到前照灯上，该公司在封装形状及电源连接器等方面向飞利浦照明提出了诸多要求。要求内容甚至还涉及白色 LED 芯片在封装内的安装位置精度。详细数值未予公布，据说原因在于白色 LED 芯片的安装位置稍有偏差，就会影响到基于反射面的光学系统。

白色 LED 芯片是在蓝色 LED 芯片上粘贴了荧光体后形成的。利用飞利浦照明称为“Thin Film Flip Chip”（TFFC）的技术在陶瓷基板上以倒装芯片形式安装蓝色 LED 芯片，然后在上面加盖“Lumiramic”荧光板（图 6）。装有 4 个白色 LED 芯片的平面被用硅酮树脂密封。密封部位为平面形状，而不是白色 LED 中常见的透镜形状。



特長:

高安定性を持ち予め特性測定した蛍光板による色変換技術

- ・ lm/W変換で通常の蛍光体と比較して+10%の高効率
- ・ 黒体軌跡に近い色温度を出力
- ・ 高い色温度のコントロール(±200K @6500CCT)
- ・ 色温度の同一ランクを安定して製造可能

图 6: 飞利浦照明在白色 LED 上采用的“Thin Film Flip Chip”（TFFC）技术（图片由飞利浦照明提供）

LED 前照灯点亮时向每个白色 LED 输入约 10W 功率。白色 LED 点亮时的光通量为 550lm，因此点亮时的发光效率约为 55lm/W。在白色 LED 中，发光效率宣称超过 100lm/W 的品种近年来不断增加。与这些品种相比，此次 LED 前照灯的白色 LED 在发光效率上显得有些偏低，但这种看法其实是不对的。那些号称超过 100lm/W 的发光效率，实际上是指脉冲发光状态下 LED 芯片结温接近室温时的数值。而 LEAF 使用的白色 LED，其性能则是实际使用环境下的数值。实际使用环境下的结温要远远高于室温，结温越高，发光效率就越低。因此，如果在结温为室温时测试，发光效率其实要比 55lm/W 时高得多。

市光工业并未公布结温接近室温时的发光效率。一般而言，实际使用环境下的发光效率通常要比结温接近室温时低数十个百分点。（未完待续，记者：大久保 聪）

要想降低 LED 前照灯的耗电量，只通过第一回中提到的配光控制来减少白色 LED 的光损失，并在少数几个地方获得所期望的配光特性是不够的。此外还必须能够在高效状态下使用白色 LED。而其中的关键就在于如何使白色 LED 产生的热量释放出去的散热设计。其实，输入白色 LED 的功率大都变成了热能。如果这些热量使白色 LED 的温度上升，则发光效率就会下降，导致发热量增加。这样一来，就会陷入发光效率进一步下降、发热量变得更大的恶性循环。

此次市光工业在 LED 前照灯的散热设计中使用了热流体解析模拟技术。在前照灯散热设计中使用热流体解析模拟的情况并不少见，不过，此次是在更上游的设计过程，也就是树脂等材料的耐热性、对流、部件布局及散热片的设计等基础设计中使用了该模拟技术，由此高效推进了散热设计。

前照灯的热设计经过基础设计、详细设计、试制试验以及设计变更这四大过程后应用于产品（图 1）。据市光工业负责散热设计的菊池和重（开发本部核心工程部模拟课资深专家、解析技术高级工程师）介绍，在基础设计中，虽然模拟用模型的建模难度并不高，所花工时并不多，但通过计算获得的信息却占到了整个设计的 60% 之多（图 2）。此次 LED 前照灯通过在这一基础设计中使用模拟技术，获得了显著效果。

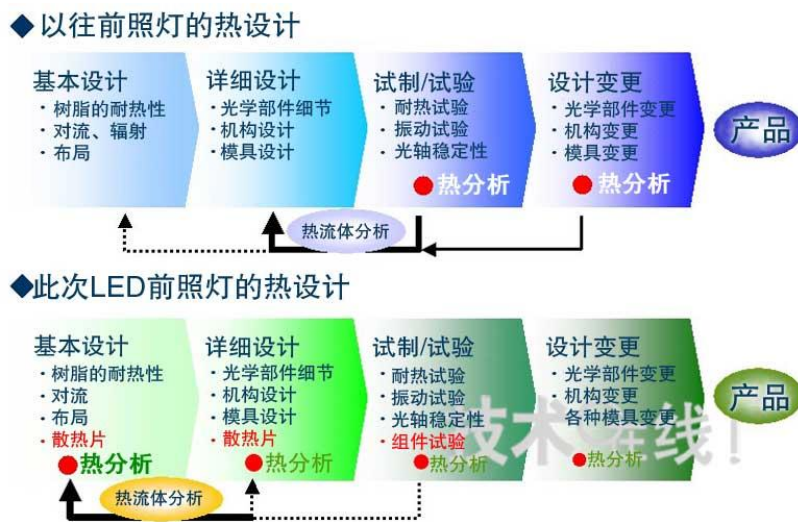


图 1：前照灯热设计的定位（图片由市光工业提供）

◆利用3D CAD数据的建模

· LED模块设计的各个步骤与计算模型间的关系

| 设计步骤 | 建模难度 (工数) | 通过计算获得的信息 | 重要性 |
|--------|--------------|-----------|-----|
| 基本设计 | 小 | 60% | 大 |
| 试制产品设计 | 中 | 30% | |
| 量产产品设计 | 大 | 10% | 小 |



· 前照灯CAD模型的特点

复杂的反射面…高精度配光设计的必需要素

以曲线为主体…追求独具创意的造形



原创形状 ⇔ 简化形状 在何处折衷?

图 2: LED 前照灯的建模 (图片由市光工业提供)

由于能够分离光和热, 可应用于基础设计中

那么, 此次为何能够在基础设计中使用模拟呢? 其答案就在于 LED 前照灯中的热量的流动特点。从白色 LED 为起点的散热路径来看, 其流动途径为:

作为发热源的 LED 芯片

↓

配备 LED 芯片封装的安装基板

↓

使安装基板的热量向整个封装底面扩散的热扩散器

↓

散热装置 (散热片等) 的连接部

↓

散热装置 (散热片等)

↓

外部空气

可以说, 从白色 LED 到外部空气的整个路径均为串联状态 (图 3)。而卤灯及 HID 灯等已有光源的散热路径颇为复杂。原因在于灯源本身同时向外部空气放射光与热。也就是说无法以简单的串联状态体现出来。因此, 其基础设计中的散热模型较为复杂, 只能在试制试验及设计变更的过程中使用模拟。

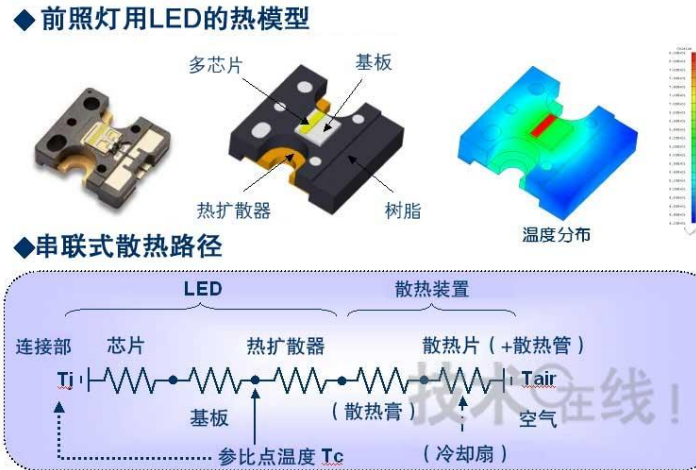


图 3：前照灯用白色 LED 和散热路径（图片由市光工业提供）

LED 的光线是从表面向外部空气放射，而热量是从背面向前照灯的外壳放射，光与热处于分离状态。由于 LED 表面的热放射可忽略不计，因此热量的流动途径便如上所述。所以，基础设计中的建模变得简单，能够实施热流体解析模拟。凭借模拟效果，此次 LED 前照灯的热解析实现了 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的计算精度，只用两天时间就完成了散热设计。

利用模拟对散热片等部分进行基础设计并掌握大致形状及基本性能后，市光工业试制了 1 次产品。然后经过最佳形状和细微部分的设计，进入了对最终形状下的散热性能进行确认的量产产品设计。由于计算精度较高，因此还有可能在下次及以后不试制产品便使用于量产。此次是市光工业首次量产 LED 前照灯，因此还是试制了实际产品。另外，散热片及配光控制用反光镜等基础设计中的热模拟耗时约 2 个半小时，而白色 LED 到散热片只需 1 个半小时。此次将散热片等部分划分为约 70 万个网格进行了计算。

降低散热片和连接部的热阻

据市光工业介绍，此次进行 LED 前照灯的散热设计时，还探讨了散热路径中的散热片连接部及散热片本身的设计。其原因在于，LED 产品是在 LED 芯片乃至热扩散器都收放在白色 LED 封装内的状态下从 LED 厂商采购的，前照灯厂商无法变更。

在散热片连接部及散热片方面，要解决的问题是如何降低连接部和散热片本身的热阻。要想降低连接部的热阻，尤为重要是：（1）使用线夹、弹簧及螺钉等来保持将白色 LED 按压在散热片上的压力及均匀的接触面积；（2）考虑采用散热膏及导热片，并对其伴随时间的劣化以及面积、厚度进行管理。在散热片方面，需要在不组合冷却扇、且不影响前照灯设计的大小及形状上下工夫。此次进行热设计时，设计前提是向每个白色 LED 输入的 10W 功率中会有 9W 变成热量。由于所配白色 LED 的最大额定值为 130°C （白色 LED 的表面温度），因此是按照任何用途都不会达到 130°C 进行的设计。

市光工业提出了新一代 LED 前照灯的目标，这便是实现远光灯和近光灯的光源一体化，每个前照灯只使用 1 个 LED 等。目的是降低耗电量并通过减少部件数量来推进低成本化、小型化及轻量化。目前该公司正在朝着这一目标推进开发。此次推出的 LED 前照灯在远光灯时使用卤灯，在近光灯时使用了 2 个白色 LED。

如何才能将这些光源减为 1 个呢？简单地说，可以考虑将白色 LED 安装的 LED 芯片从目前的 4 个增加到 8 个，或者将输入白色 LED 的电流增加到 2 倍。但这些都不能算上策。增加 LED 芯片数量，成本就会上升。而增加输入电流的话，LED 芯片上的热密度就会上升，进一步使得 LED 芯片结温上升，从而导致发光效率下降。而且这样做，白色 LED 上也容易蓄热。

不过，白色 LED 技术目前也在逐年进步，市光工业预计 2~3 年后便可获得亮度达到目前 2 倍以上、超过 1000lm 的白色 LED。即使结温升高，今后也会开发出发光效率高的白色 LED，并且通过降低热阻、提高散热性，发光效率还会比目前进一步提高。开发出此次使用的白色 LED 的飞利浦照明(Philips Lumileds Lighting)在 2010 年 11 月举行的“Green Device 2010”上发表主题演讲时，就曾宣布正在开发亮度可达到 1000lm 以上的白色 LED。

亮度超过 1000lm 的话，便能够以 1 个白色 LED 实现 LED 前照灯。市光工业正在研发仅使用 1 个白色 LED 的 LED 前照灯，虽然尚未公布相关细节，但表示“在研究层面上很快会制作出来”（市光工业开发本部研究开发部 P2P3 第一项目组负责人村桥克广）。该公司并未明确提出使用 1 个白色 LED 的 LED 前照灯何时达到实用水平，但技术上来看，“5 年后在市面普及也不足为奇”（村桥）。

在市光工业 2005 年着手共同开发此次的 LED 前照灯时，以 2 个白色 LED 来获取足够亮度还“是非常困难的事”（村桥）。不过，鉴于白色 LED 在技术上的不断进步，该公司仍对使用 2 个白色 LED 的设计展开了攻关。目前该公司正基于白色 LED 技术进步的设想，展开仅使用 1 个白色 LED 的设计。

1 个白色 LED 是新的起点

市光工业表示，LED 前照灯配备 1 个白色 LED 并不是终点。虽然白色 LED 通常要采用多个 LED 芯片来获得足够的亮度，但是该公司还打算随着 LED 芯片的性能提高，为进一步降低成本而削减 LED 芯片的数量。这一目标得以实现的话，便有望使白色 LED 实现小型化。而白色 LED 变得既小又便宜的话，就有可能使用多个白色 LED 来推进可变配光系统的进步。

市光工业介绍说，该公司还考虑将半导体激光器作为继 LED 之后的新一代光源。半导体激光器通过连接光纤，可使光的发射部和发热部（半导体激光器）实现分离。也就是说，这样便可将散热设计所需要的部分从前照灯中拿出来，从而在无需考虑前照灯形状的情况下实施散热设计。不过，LED 前照灯今后还有很大的进步空间，因此利用半导体激光器需要有长远的考虑。（记者：大久保 聪）

参与 LED 前照灯开发的技术人员。



中央为统管市光工业 LED 前照灯开发业务的村桥克广（市光工业开发本部研究开发部 P2P3 第 1 项目组负责人）、左为菊池和重（市光工业开发本部核心工程部模拟课资深专家（解析技术）高级工程师）、右为岩崎和则（市光工业开发本部核心工程部模拟课主管）。