解决系统级 LED 热管理难题

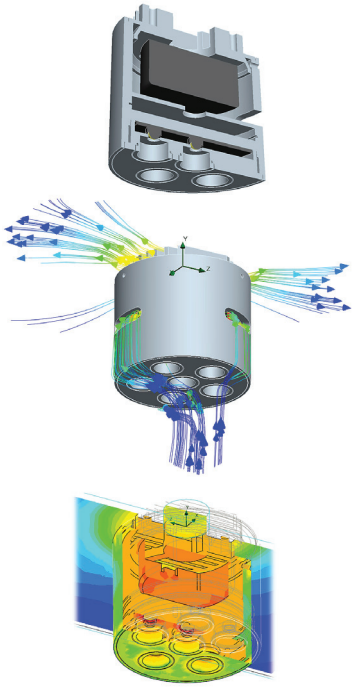
热管理对于 LED 的性能和使用寿命至关重要，所以结构工程师在研发初期就要考虑 LED 的散热问题

坤道 SIMUCAD

上海坤道信息技术有限公司
Shanghai SimuCAD Information Technology Ltd.

电话: +86 21 62157100
邮箱: info@simu-cad.com
官方网站: www.simu-cad.com

美国能源部（DOE）对 LED 做出了如下评价：没有其它照明技术可以具有像 LED 这样大的节能潜力和提升我们建筑环境品质。由于 LED 的使用寿命是结温的函数，所以热管理对于 LED 的性能至关重要。位于 California, San Jose 的 Philips Lumileds Lighting 应用技术经理 Rudi Hechfellner 说："到目前为止热管理是 LED 系统设计最重要的一个方面。LED 系统生产商通过寻求优化的散热器、高效印制电路板、高热导率外壳和其它先进热设计技术来应对这一挑战。由于热仿真可以在物理模型建立之前，从散热的角度评估不同设计方案和优化系统级设计，所以热仿真的作用日益凸现。"



LED 照明的出现

固态发光是一项新兴的技术，其会在将来从根本上改变照明的形式。LED 设计之初的功率小于 50 毫瓦。在过去十年间，LED 的功率已经上升为 40～80$^{lm/Watt}$。除了能效高之外，LED 的使用寿命也长。根据不同的制造和类型，白色 LED 的使用寿命可以处于 6000～50000 小时范围内，高于 30000 小时的荧光（灯）管和 2000 小时的白炽灯泡。此外，LED 可以不使用过滤器就产生单色光。

市场分析公司 Yole Developpement 说：LED 在固态发光市场的收入将由 2007 年的 10 亿美元上升到 2012 年的 103 亿美元。Yole 预计在 2012 年高亮度和超高亮度结合的 LED 收入将达到 44.5 亿美元，这是 2007 年7亿 8 千万的 5.5 倍。这些固态发光装置已经成为不同应用场合的灯源选择，这些应用场合包括交通信号灯、汽车和卡车的内部和外部灯、屏幕可见显示器、小型 LCD 背后照明和装饰照明。最新的I suppli 报告（参考 1）显示，在一些新的场合也陆续的采用了 LED。

散热挑战

与其它的灯源相比，高功率的 LED 产生了严重的散热问题，这主要是因为 LED 不通过红外辐射进行散热。根据美国能源部门研究显示，用于驱动 LED 的功耗 75%～85% 最终转换为热能，并且必须通过导热的方式将热量由 LED 芯片导入下部印制电路板、散热器、外壳或者光源结构元件等。美国能源部能效和再生能源部门得出了一个名为"Thermal Management of White LEDs"（参考 2）的报告。简而言之，过多的热

量会减少 LED 的光输出和产生偏色。此外，热管理的优劣还会产生一些长期的影响，诸如光输出的减少会导致使用寿命的缩短。美国能源部门表示：制造商通常在 25℃ 的固定结温下对 LED 进行测试。然而，在通常情况下结点的温度为 60℃ 或更高，在这些情况下 LED 灯的输出可能只有额定的 10% 或更少。

对于钨灯泡而言，散热途径是通过热辐射的方式，热量直接由灯丝进入到周围环境中。LED 装置的主要散热途径是由芯片到系统外壳的导热。LED 装置的制造商提供了封装级的热管理。对于制造商而言，最为关注的是如何减小芯片到外部封装的热阻。通常一些小型安装在平板上的 LED 灯有许多引线，这些引线形成了主要的导热路径，并且对于这些 LED 而言，其芯片到引线的热阻至关重要。

封装设计依据制造商和 LED 类型变化，但封装的理念却很相似。在这个例子中，LED 芯片通常利用粘结层（bond layer）被贴赋到一个金属连接层（metal interconnect layer），而这个金属连接层又被贴赋到一个陶瓷基座 (Ceramic Substrate) 和一个电绝缘导热垫（Thermal Pad）。整个封装设计的目的是最大化光学输出和从 LED 芯片背部去除热量。

Hechfellner 说：即便是最高效的 LED 装置也要求为其设计冷却系统。由于传统的灯源是通过辐射方式进行散热，所以他们不会产生此类散热问题。许多 LED 制造商在电和结构方面有着比热方面更多的经验。工程师们需

要改变他们的理念，并且应该先考虑散热后考虑电。对于 LED 系统制造商而言，现今设计中面对的挑战 90% 是由散热所引起，而电和结构所引起的问题仅仅占到 10%。

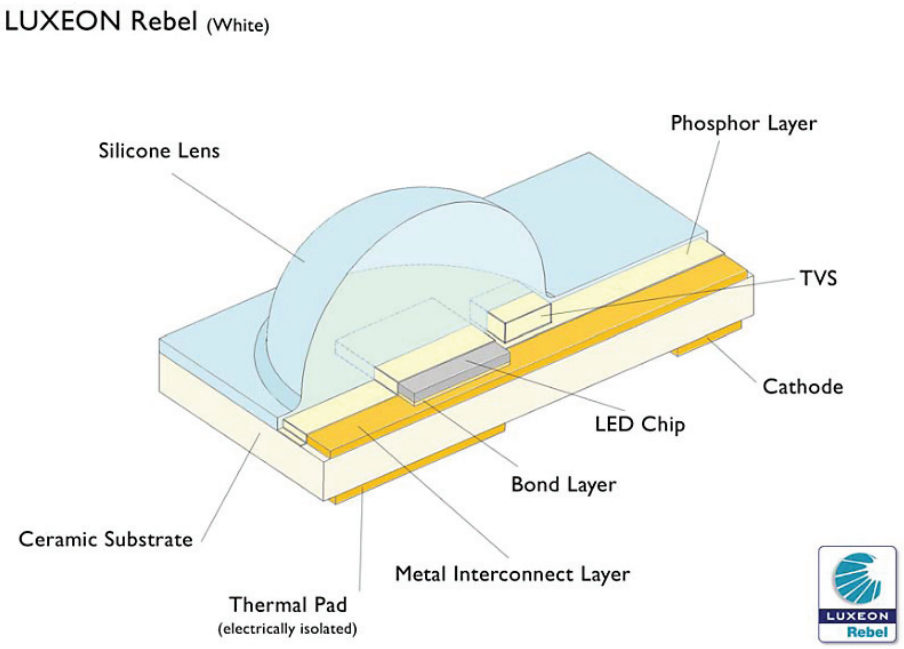


图 1. 高功率 LED 封装草图

Hechfellner 补充说：系统级制造商所面对的最大问题是研发一种散热效率高的灯座，LED 装置可以方便的插入这一灯座，而热量可以迅速的导入至环境中。就我所知，当前市场上还没有这种系统。改善导热截面材料和设计工具是进行研发这类系统所必须的。我们致力于创造一个良好的研发平台，诸如可以帮助精确模拟 LED 的仿真工具，从而便于我们的客户进行更好的热设计。

LED 封装的本质是即便 LED 的效率增加，但散热的问题依旧存在。由于光输出随着温度升高而减小，更大比例的电功率转化为热会进一步的提升 LED 的温度。随着时间的推移 LED 的光输出会减少，而它的热量又会加速 LED 的老化。一个常用的白色 LED 光通量衰减指标是磷光体泛黄，这可能是由于受热引起或者是环境诱发，但这并不意味着芯片低效率工作或有更多的热量产生。热管理的方案需要满足在 LED 整个使用周期里都能去除热量的要求。

系统级设计考虑

每一种 LED 的设计考虑都是不同的，并且需要清楚的了解 LED 所受的尺寸限制和性能。LED 系统设计的本质是有效的将热量从 LED 散热片，金属块或引脚传递到周围环境中。在金属块和印制电路板垫片间必须进行可靠和有效的连接。通常的热量通过 PCB 上的热过孔到达另一层的铜块上。之后热量通过导热的方式进入到外壳或外部散热器中。

当一个外壳内需要去除大量的热时，需要一个外部散热器。LED 散热器常用的材料是铝或铜。由于散热器和空气之间的对流换热热阻影响很大，所以有必要对散热器的几何外形进行优化。散热器的性能取决于材料、翅片数、翅片厚和基座厚等参数。外部散热器扩展了换热表面，便于热量进入到空气中。优化设计必须考虑散热器周围的空气流动情况，而这一区域的空气流动又受到散热器的影响，所以对设计产生了不小的挑战。

材料铜可以具有很高的热导率，但相同体积下铝的重量更轻，同时价钱也更便宜。在一些 PCB 中通过使用一些基板来提升传热能力，这些基板使用陶瓷或者覆有铁、铝或其它材料。

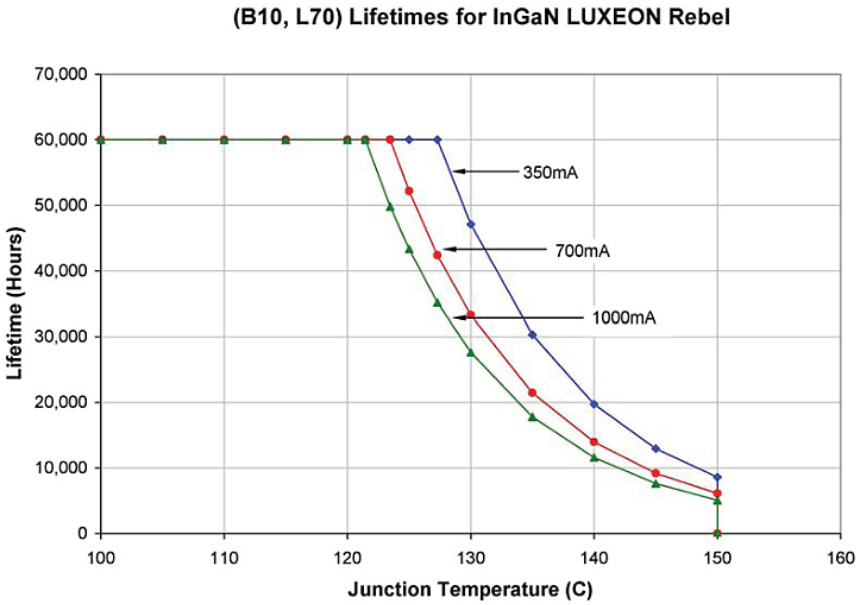


图 2. 90 置信水平下 InGaN LUXEON Rebel 在不同结温和驱动电流情况下的使用寿命

LED 应用中最大的难题是要求用一密封的外壳来保护 LED。解决这一难题可以使用高导热率的外壳材料。当然也采用一些复杂的方法。例如：空对空（air-to-air）热交换设计使用通过内部风扇将热量传递给内部翅片，之后热量由内部翅片通过导热方式进入到外壳中。最后通过外部风扇对连接在外壳上的外部翅片进行冷却。热量通过对流-导热-对流三个步骤进入到空气中。

很明显，在设计一个 LED 系统时需要考虑许多设计变量。有许多理由需要我们进行热设计优化。DOE 关于热管理的 Fact Sheet 中明确注明：过热会影响 LED 短期和长期的性能。短期的影响是产生偏色和减少光输出。减小偏色对于诸如 LCD TVs 等紧急应用中的背光很重要，在这些应用场合日益增加的 LED 功率密度促使图像颜色发生偏差，这就使散热更具挑战性。急剧升高的结温会严重影响 LED 的使用寿命和可靠性。优化热设计可能有对产品的成本也有很大影响。例如，热设计可能要确定是否需要使用一个散热器，这就会增加产品的成本。

仿真的作用

绝大多数电子、原始设备生产商和元件提供商早已认可在产品研发早期就考虑散热问题的做法。其中的许多厂商采用软件在物理模型建立之前就进行元件和系统级的仿真分析，从而避免了反复的设计改变。然而，LED 系统制造商习惯于以传统灯源的角度来设计系统。问题是这些传统的灯源是不必考虑散热问题。这些 LED 系统制造商可能不具有散热专业知识和熟练使用 CFD 软件的专家。

过去十年以及当今很多 CFD 软件都需要用户具有深厚的计算流体动力学方面的专业知识，以便确定所获得的结果是否正确。举例，用户需要将他们的 CAD 模型转换到 CFD 软件中，设定需要仿真的固体模型，正确划分网格，确定边界条件，选择正确的物理模型，设定求解设置保证收敛，以及其它的工作。上一代 CFD 软件需要进行大量的调整，诸如手动修改网格以提高网格质量和修改松弛促使仿真结构收敛。

但最近几年出现了新一代适用于工程师的 CFD 软件。这种软件使用 3D CAD 模型，自动探测流动区域和划分网格，使不具有深厚计算流体动力学知识的工程师也能轻松使用，从而便于他们着重关注产品的流动情况。这一新一代CFD软件包含了成熟的自动控制功能，不必进行手动调整就可以确保结果收敛。

这一新一代软件适用于 LED 系统的热设计。操作此类软件仅仅需要会使用 CAD 软件和了解物理模型，这些都是绝大部分工程师早已掌握的。使用原有的 3D CAD 模型不仅仅节省了时间，而且使捕捉所有 LED 系统的特征成为可能。这类软件中也包含所有的热交换机理，所以其可以进行可靠的分析。再进行 CFD 仿真时许多过程都会自动进行，这类软件使 LED 系统工程师可以快速的对大量设计方案进行评估。图 3、4 和 5 中显示的灯使用了 6 个高功率 LED。这些 LED 和电源都会有热耗散。由于不使用风扇，所以工程师仅仅计算导热、自然对流和辐射。通过使用嵌入到 CAD 系统中的 CFD 软件，Voxdale 工程师确定了 LED 和电源的所有材料以及它们的特性。在自动划分网格和求解之后，如下图所示可以在原有 CAD 模型上进行仿真结果的观察。

冷空气通过对流的方式进入到灯的内部，而热空气通过缝隙排出。

Dialight PLC 使用嵌入到 CAD 中的 CFD 软件设计 LED 照明系统。Dialight 是应用 LED 技术方面的领导者，其主要致力于以下两个方面：1）元件：包括用于电子设备状态显示的低亮度 LED。2）信号/照明：使用最新的高亮度 LED 技术用于交通和轨道信号灯、障碍灯、危险场所照明，并且致力于在更多应用场合使用 LED 技术。照明产品 Digalight VP 的 Gordon Routledge 说："虽然 LED 的效率越来越高，但是还是有大量的输入功率转换为热。电子器件和 LED 装置的冷却对于其长期的可靠性非常重要，因此包括流动分析在内的热分析有助于我们完成我们的研发计划。"

物理测试

物理测试是一种花费昂贵、耗时又长的研究设计改变的方法。然而，它对于验证最终设计方案和解决制造问题时非常有效。物理测试可以确定使用的材料特性值和验证 Die Attach 中的空隙等问题。

一些测量方法充分考虑了特定装置的温度与正向电压将成比例的关系。在确定了特定测量电流下的正向电压降之后，在 LED 上应用更大的电流，从而加热 LED。之后关闭这一电流，对 LED 施加一更小的电流。通过这一小电流可以获得装置的特性，并且可以实现小的正向电压降。在结温冷却之前可以快速的测量正向电压。监测随时间变化的温度波动可以确定热流是如何通过节点与外部环境中的每一层。这就允许我们直接测量诸如 Die Attach 等热流路径上的热阻。

由于 LED 具有快速的热响应，所以需要一些可以测量微秒时间段内装置中温度变化的测量硬件。这类热瞬态测量可能采用高精度的"结构函数"，它有助于提供 LED 封装、Die-Attach 失效和其它结构完整性问题等相关信息。

结论

LED 技术使节约能源，提高照明品质和可靠性成为可能。LED 设计过程中热设计是非常重要的，以便满足其性能、使用周期和花费的要求。系统设计工程师有许多选择来解决散热问题。新一代嵌入至 CAD 的热和流体仿真软件有助于工程师发现散热问题和快速的优化方案。在样品阶段可以通过测量物理模型来验证最后的设计方案，从而确保工艺的可行性。在这方面获取的经验有助于以后产品设计仿真。

参考：

1. http://www.isuppli.com/rptviewer/default.asp?a=34715&cmd=inline

2. http://www.netl.doe.gov/ssl/PDFs/ThermalLED_Feb07_2.pdf

3. http://www.lumileds.com/pdfs/WP12.pdf

欢迎您登陆我们的网站，了解更多行业解决方案，观看在线研讨会，技术文章，白皮书，申请产品免费试用：
www.mentor.com/mechanical

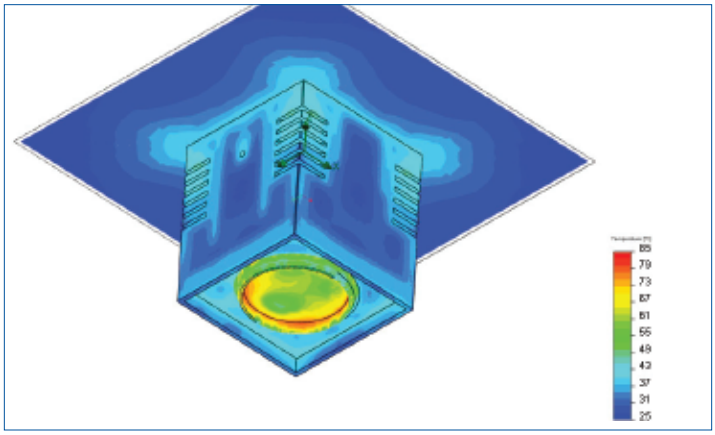


图 3. 整个 LED 等的表面温度分布

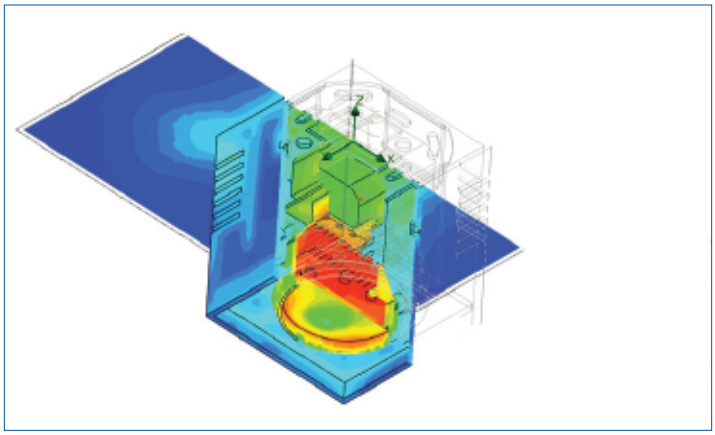


图 4. LED 灯内部的温度分布

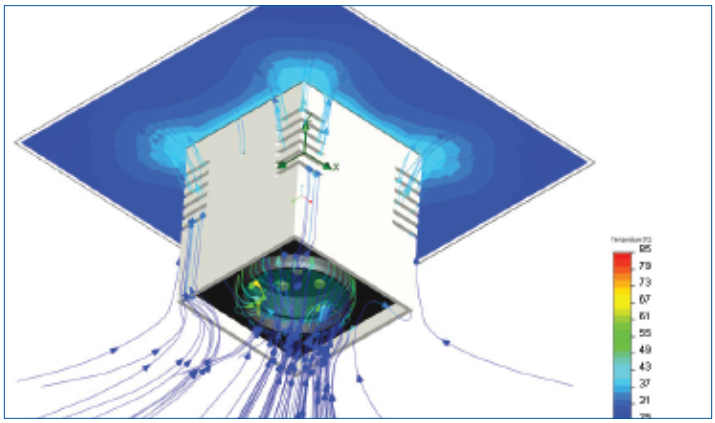


图 5. 可视化流动迹线分布

更多关于产品的信息，请联系：

上海坤道信息技术有限公司
Shanghai SimuCAD Information Technology Ltd.
中国·上海市南京西路555号503室
邮编：200041
电话：+86 21 62157100，62555891
传真：+86 21 62151794
Email：info@simu-cad.com
网址：www.simucad.com

坤道 SIMUCAD