

# Led 散热

谈到 LED，我想很多的朋友就想到了没有做好的话，LED 的亮度和寿命会下降很和热传导，是非常重要的。所以我们在设计 LED 散热处理的方案很多，主要是从结构和性能两理方案总结如下七点：



## 一：小功率的环氧树脂散热法：

传统的小功率 LED 散热处理方案就是在封装的时候加上小量的环氧树脂，此种方式比较简单，我们在这里不再详细的研究。主要在封装的时候选择好环氧树脂就行。

## 二：可挠曲金属基板（铝基板）

环氧树脂耐热性比较差，可能会出现的情况是，在 LED 芯片本身的寿命未到达前，环氧树脂就已呈现变色情况，因此，提高散热性已是重要关键。除此之外，不仅因为热现象会对环氧树脂产生变化，甚至短波长也会对环氧树脂造成问题，这是因为白光 LED 发光光谱中，也包含短波长光线，而环氧树脂却相当容易受白光 LED 中的短波长光线破坏，即使是低功率白光 LED，已能使环氧树脂破坏现象加剧，更何况高功率白光 LED 所发出的短波长光线更多，恶化自然比低功率款式更加快速，甚至有些产品在连续点亮后的使用寿命仅 5,000 小时，甚至更短！所以，与其不断克服因旧有封装材料“环氧树脂”带来的变色困扰，不如朝寻求新一代的封装材料努力。因此最近几年逐渐改用高热传导陶瓷，或是金属树脂封装结构，就是为了解决散热、与强化原有特性做的努力。LED 芯片高功率化常用方式是：芯片大型化、改善发光效率、采用高取光效率的封装、及大电流化。这类做法虽然电流发光量会呈比例增加，不过发热量也会随之上升。对高功率 LED 封装技术上而言，由于散热的问题造成了一定程度的困扰，在此背景下具有高成本效益的金属基板技术，就成了 LED 高效率化之后另一个备受关心的新发展过去由于 LED 输出功率较小，因此使用传统 FR4 等玻璃环氧树脂封装基板，并不会造成太大的散热问题，但应用于照明用的高功率 LED，其发光效率约为 20%~30%左右，虽芯片面积相当小，整体消费电力也不高，不过单位面积的发热量却很大。一般来说，树脂基板的散热，只能够支持 0.5W 以下的 LED，超过 0.5W 以上的 LED，多改用金属高散热基板进行封装，主要原因是，基板的散热性直接影响 LED 寿命与性能，因此封装基板成为设计高辉度 LED 商品的开发重点。

关于 LED 封装基板散热设计，目前大致可以分成，LED 芯片至封装体的热传导、及封装体至外部的热传达两大部分。使用高热传导材时，封装内部的温差会变小，此时热流不会呈局部性集中，LED 芯片整体产生的热流，呈放射状流至封装内部各角落，所以利用高热传导材料，可提高内部的热扩散性。就热传导的改善来说，几乎是完全仰赖材料提升来解决问题。多数人均认为，随 LED 芯片大型化、大电流化、高功率化发展，会加速金属封装取代传统树脂封装方式。就目前金属高散热基板材料而言，可分成硬质与可挠曲两种基板，结构上，硬质基板属于传统金属材料，金属 LED 封装基板采铝与铜等材料，绝缘层部分，大多采充填高热传导性无机填充物，拥有高热传导性、加工性、电磁波遮蔽性、耐热冲击性等金属特性，厚度方面通常大于 1mm，大多都广泛应用在 LED 灯具模块，与照明模块

等，技术上是与铝质基板具相同高热传导能力，在高散热要求下，相当有能力担任高功率 LED 封装材料。

可挠曲基板的出现，原期望应用在汽车导航的 LCD 背光模块薄形化需求而开发，以及高功率 LED 可以完成立体封装要求下产生，基本上可挠曲基板以铝为材料，是利应用铝的高热传导性与轻量化特性，制成高密度封装基板，透过铝质基板薄板化后，达可挠曲特性，并且也能够具高热传导特性。一般而言，金属封装基板热传导率大约是  $2\text{W/m}^2\text{K}$ ，但由于高效率 LED 的热效应更高，所以为了满足达到  $4\sim 6\text{W/m}^2\text{K}$  热传导率的需要，目前已有热传导率超过  $8\text{W/m}^2\text{K}$  的金属封装基板。由于硬质金属封装基板主要目的是，能够满足高功率 LED 的封装，因此各封装基板业者正积极开发可以提高热传导率的技术。虽然利用铝板质补强板可以提高散热性，不过却有成本与组装的限制，无法根本解决问题。不过，金属封装基板的缺点是，金属热膨胀系数很大，当与低热膨胀系数陶瓷芯片焊接时，容易受热循环冲击，所以当使用氧化铝封装时，金属封装基板可能会发生不协调象，因此必需克服 LED 中，各种不同热膨胀系数材料，所造成的热应力差异，提高封装基板的可靠性。高热传导挠曲基板，是在绝缘层粘贴金属箔，虽然基本结构与传统挠曲基板完全相同，不过在绝缘层方面，是采用软质环氧树脂充填高热传导性无机填充物，因此具有  $8\text{W/mK}$  的高热传导性，同时还兼具柔软可挠曲、高热传导特性与高可靠性，此外可挠曲基板还可以依照客户需求，可将单面单层板设计成单面双层、双面双层结构。根据实验结果显示，使用高热传导挠曲基板时，LED 的温度大约降低摄氏 100 度，这代表着温度造成 LED 使用寿命降低的问题，将可因变更基板设计而大幅改善。

我们再对铝基板再进行一些详细的介绍：

铝基覆铜板是一种金属线路板材料、由铜箔、导热绝缘层及金属基板组成，它的结构分三层：  
Circuit Layer 线路层：相当于普通 PCB 的覆铜板，线路铜箔厚度  $10\mu\text{m}$  至  $100\mu\text{m}$ 。  
Dielectric Layer 绝缘层：绝缘层是一层低热阻导热绝缘材料。  
Base Layer 基层：是金属基板，一般是铝或可所选择铜。铝基覆铜板和传统的环氧玻璃布层压板等。电路层（即铜箔）通常经过蚀刻形成印刷电路，使元件的各个部件相互连接，一般情况下，电路层要求具有很大的载流能力，从而应使用较厚的铜箔，厚度一般  $35\mu\text{m}\sim 280\mu\text{m}$ ；导热绝缘层是铝基板核心技术之所在，它一般是由特种陶瓷填充的特殊的聚合物构成，热阻小，粘弹性能优良，具有抗热老化的能力，能够承受机械及热应力。

高性能铝基板的导热绝缘层正是使用了此种技术，使其具有极为优良的导热性能和高强度的电气绝缘性能；金属基层是铝基板的支撑构件，要求具有高导热性，一般是铝板，也可使用铜板（其中铜板能够提供更好的导热性），适合于钻孔、冲剪切割等常规机械加工。PCB 材料相比有着其他材料不可比拟的优点。适合功率元件表面贴 SMT 工艺。无需散热器，体积大大缩小、散热效果极好，良好的绝缘性能和机械性能。

### 三：陶瓷基板

陶瓷基片具有优良的热传导性，可靠的电绝缘性，低的介电常数和介电损耗是新一代大规模集成电路、半导体模块电路及大功率器件的理想散热和封装材料；是提高高分子

材料热导率和力学性能的陶瓷材料。陶瓷基板目前有 3 大类  $Al_2O_3$ (氧化铝)、LTCC(低温共烧陶瓷)、 $AlN$ (氮化铝), 技术门槛性而言, 但  $AlN$  最高、LTCC 次之。由陶瓷烧结而成得 LED 基板, 有散热性佳、耐高温、耐潮湿等优点。但是价格高出传统基板数倍, 所以至今仍不是散热型基板主要组件, 若不考虑价格因素, 陶瓷基板是为最佳首选 首先让我们来了解一下陶瓷基板的特点:

1. 高热传导低热阻
2. 热膨胀系数匹配(TCE:6.2)
3. 抗 UV
4. 抗腐蚀和黄化
5. 符合 Rohs 规定
6. 高气密性
7. 耐高温.

#### 四： 导热硅脂

导热硅脂是用来填充 LED 与散热片之间的空隙的膏状物质, 其作用是用来向散热片传导 LED 散发出来的热量, 使 LED 温度保持在一个可以稳定工作的水平, 防止 LED 烧毁, 延长使用寿命。

#### 五： 大功率散热方案的计算与实例

我们在这里主要研究一下大功率 LED 的可挠曲金属基板(铝基板)的设计: 大功率 LED 是个大电流的光电器件, 其工作过程中只有 15%~25% 的电能转换成光能, 其余的电能几乎都转换成热能, 使 LED 的温度升高。在大功率 LED 中, 散热是个大问题。例如, 1 个 10W 白光 LED 若其光电转换效率为 20%, 则有 8W 的电能转换成热能, 若不加散热措施, 则大功率 LED 的器芯温度会急速上升, 当其结温( $T_J$ ) 上升超过最大允许温度时(一般是  $150^{\circ}C$ ), 大功率 LED 会因过热而损坏。因此在大功率 LED 灯具设计中, 最主要的设计工作就是散热设计。

另外, 一般功率器件(如电源 IC) 的散热计算中, 只要结温小于最大允许结温温度(一般是  $125^{\circ}C$ ) 就可以了。但在大功率 LED 散热设计中, 其结温  $T_J$  要求比  $125^{\circ}C$  低得多。其原因是  $T_J$  对 LED 的出光率及寿命有较大影响  $T_J$  越高会使 LED 的出光率越低, 寿命越短。

图 1 是 K2 系列白光 LED 的结温  $T_J$  与相对出光率的关系曲线。在  $T_J=25^{\circ}C$  时, 相对出光率为 1;  $T_J=70^{\circ}C$  时相对出光率降为 0.9;  $T_J=115^{\circ}C$  时, 则降到 0.8 了。

表 2 是 Edison 公司给出的大功率白光 LED 的结温  $T_J$  在亮度衰减 70% 时与寿命的关系(不同 LED 生产厂家的寿命并不相同, 仅作参考)。

图 3 NCCWO22 的内部结构在表 2 中可看出:  $T_J=50^{\circ}C$  时, 寿命为 90000 小时;  $T_J=80^{\circ}C$  时, 寿命降到 34000 小时;  $T_J=115^{\circ}C$  时, 其寿命只有 13300 小时了。  $T_J$  在散热设计中要提出最大允许结温值  $T_{Jmax}$ , 实际的结温值  $T_J$  应小于或等于要求的  $T_{Jmax}$ , 即  $T_J \leq T_{Jm}$

图4 LED与PCB焊接图大功率LED的散热路径。大功率LED在结构设计上是十分重视散热的。图2是Lumiled公司K2系列的内部结构、图3是NICHIA公司NCCW022的内部结构。从这两图可以看出：在管芯下面有一个尺寸较大的金属散热垫，它能使管芯的热量通过散热垫传到外面去。大功率LED是焊在印制板(PCB)上的，如图4所示。散热垫的底面与PCB的敷铜面焊在一起，以较大的敷铜层作散热面。为提高散热效率，采用双层敷铜层的PCB，其正反面图形如

图5所示。这是一种最简单的散热结构。热是从温度高处向温度低处散热。大功率LED主要的散热路径是：管芯→散热垫→印制板敷铜层→印制板→环境空气。若LED的结温为 $T_J$ ，环空气的温度为 $T_A$ ，散热垫底部的温度为 $T_c$  ( $T_J > T_c > T_A$ )，散热路径如图6所示。

图6 在热的传导过程中，各种材料的导热性能不同，即有不同的热阻。若管芯传导到散热垫底面的热阻为 $R_{JC}$  (LED的热阻)、散热垫传导到PCB面层敷铜层的热阻为 $R_{CB}$ 、PCB传导到环境空气的热阻为 $R_{BA}$ ，则从管芯的结温 $T_J$ 传导到空气 $T_A$ 的总热阻 $R_{JA}$ 与各热阻关系为：各热阻的单位是 $^{\circ}C/W$ 。可以这样理解：热阻越小，其导热性能越好，即散热性能越好。如果LED的散热垫与PCB的敷铜层采用回流焊焊在一起，则 $R_{CB}=0$ ，则上式可写成： $R_{JA}=R_{JC}+R_{BA}$  散热的计算公式若结温为 $T_J$ 、环境温度为 $T_A$ 、LED的功耗为 $P_D$ ，

则 $R_{JA}$ 与 $T_J$ 、 $T_A$ 及 $P_D$ 的

关系为： $R_{JA} = (T_J - T_A) / P_D$  (1)

式中 $P_D$ 的单位是 $W$ 。 $P_D$ 与LED的正向压降 $V_F$ 及LED的正向电流 $I_F$ 的

关系为： $P_D = V_F \times I_F$  (2)

如果已测出LED散热垫的温度 $T_C$ ，则(1)式可写成： $R_{JA} = (T_J - T_C) / P_D + (T_C - T_A) / P_D$

则 $R_{JC} = (T_J - T_C) / P_D$  (3)

$R_{BA} = (T_C - T_A) / P_D$  (4)

在散热计算中，当选择了大功率LED后，从数据资料中可找到其 $R_{JC}$ 值；当确定LED的正向电流 $I_F$ 后，根据LED的 $V_F$ 可计算出 $P_D$ ；若已测出 $T_C$ 的温度，则按(3)式可求出 $T_J$ 来。

在测 $T_C$ 前，先要做一个实验板(选择某种PCB、确定一定的面积)、焊上LED、输入 $I_F$ 电流，等稳定后，用K型热电偶点温度计测LED的散热垫温度 $T_C$ 。在(4)式中， $T_C$ 及 $T_A$ 可以测出， $P_D$ 可以求出，则 $R_{BA}$ 值可以计算出来。若计算出 $T_J$ 来，代入(1)式可求出 $R_{JA}$ 。这种通过试验、计算出 $T_J$ 方法是基于用某种PCB及一定散热面积。如果计算出来的 $T_J$ 小于要求(或等于) $T_{Jmax}$ ，则可认为选择的PCB及面积合适；若计算来的 $T_J$ 大于要求的 $T_{Jmax}$ ，则要更换散热性能更好的PCB，或者增加PCB的散热面积。另外，若选择的LED的 $R_{JC}$ 值太大，在设计上也可以更换性能上更好并且 $R_{JC}$ 值更小的大功率LED，使满足计算出来的 $T_J \leq T_{Jmax}$ 。这一点在计算举例中说明。各种不同的PCB目前应用与大功率LED作散热的PCB有三种：普通双面敷铜板(FR4)、铝合金基敷铜板

(MCPCB)、柔性薄膜PCB用胶粘在铝合金板上的PCB。MCPCB的结构如图7所示。各层的厚度尺寸如表3所示。

图7 MCPCB结构图其散热效果与铜层及金属层厚度尺寸及绝缘介质的导热性有关。一般采用 $35\mu m$ 铜层及 $1.5mm$ 铝合金的MCPCB。柔性PCB粘在铝合金板上的结构。

如图 8 所示。一般采用的各层厚度尺寸如表 4 采用高导热性介质的 MCPCB 有最好的散热性能，但价格较贵。

计算举例 这里采用了 NICHIA 公司的测量 TC 的实例中取部分数据作为计算举例。已知条件如下：LED：3W 白光 LED、型号 MCCW022、RJC=16°C/W。K 型热电偶点温度计测量头焊在散热垫上。PCB 试验板：双层敷铜板（40×40mm）、t=1.6mm、焊接面铜层面积 1180mm<sup>2</sup> 背面铜层面积 1600mm<sup>2</sup>。LED 工作状态：IF=500mA、VF = 3.97V。

按图 9 用 K 型热电偶点温度计测 TC，TC=71°C。测试时环境温度 TA = 25°C。

$$2.RBA \text{ 计算 } RJA = (TC - TA) / PD = (71^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) / 1.99\text{W} = 23.1^\circ\text{C/W}$$

$$3.RJA \text{ 计算 } RJA = RJC + RBA = 16^\circ\text{C/W} + 23.1^\circ\text{C/W} = 39.1^\circ\text{C/W}$$

如果设计的 TJmax=90°C，则按上述条件计算出来的 TJ 不能满足设计要求，需要改换散热更好的 PCB 或增大散热面积，并再一次试验及计算，直到满足 TJ≤TJmax 为止。另外一种方法是，在采用的 LED 的 RJC 值太大时，若更换新型同类产品 RJC=9°C/W(IF=500mA 时 VF=3.65V)，其他条件不变，TJ 计算为：

$$TJ = 9^\circ\text{C/W} (500\text{mA} \times 3.65\text{V}) + 71^\circ\text{C} = 87.4^\circ\text{C}$$

上式计算中 71°C 有一些误差，应焊上新的 9°C/W 的 LED 重新测 TC（测出的值比 71°C 略小）。这对计算影响不大。采用了 9°C/W 的 LED 后不用改变 PCB 材质及面积，其 TJ 符合设计的要求。PCB 背面加散热片若计算出来的 TJ 比设计要求的 TJmax 大得多，而且在结构上又不允许增加面积时，可考虑将 PCB 背面粘在“U”形的铝型材上（或铝板冲压件上），或粘在散热片上，如图 10 所示。这两种方法是在多个大功率 LED 的灯具设计中常用的。例如，上述计算举例中，在计算出 TJ=103°C 的 PCB 背后粘贴一个 10°C/W 的散热片，其 TJ 降到 80°C 左右。这里要说明的是，上述 TC 是在室温条件下测得的（室温一般 15~30°C）。若 LED 灯使用的环境温度 TA 大于室温时，则实际的 TJ 要比在室温测量后计算的 TJ 要高，所以在设计时要考虑这个因素。若测试时在恒温箱中进行，其温度调到使用时最高环境温度，为最佳。

另外，PCB 是水平安装还是垂直安装，其散热条件不同，对测 TC 有一定影响，灯具的外壳材料、尺寸及有无散热孔对散热也有影响。因此，在设计时要留有余地。采用一定散热面积的 PCB、装上 LED 的试验板，在 LED 工作状态下测出 TC 再计算的方法来作散热设计是一种简便、有效的方法，可以较好地设计出满足结温 TJmax 要求的散热结构（PCB 材质及面积）。这种散热设计方法除适用于大功率白光 LED 的照明灯具外，也适用于其他发光颜色的大功率 LED 灯具，如警示灯、装饰灯等

## 六：热场分析仿真工具

现在再给大家介绍一个专业、精确的热场分析仿真工具 ThermNet 仿真对给定热源的温度分布进行仿真分析。ThermNet 和 MagNet 结合可以进行精确的电磁-热耦合仿真计算。

下面列举了 ThermNet 的部分特点，更多的功能和配置：

对给定热源产生的温度分布进行仿真分析，考虑导热材料存在的情况和对流/辐射边界损失。与 MagNet 的双向耦合分析由于涡流和磁滞损耗产生的热效应。以密度的形式设定分布在每一个部件内的热能值。方便的建模能力和直观的界面。材料建模（可以是温度的函数）。强

大的参数化功能，可以在一个模型上实现多个工况的仿真。

### 七：几本精典的散热处理教材

如果你想学习更多关于散热处理技术方面的详细资料，我推荐给大家几本书去学习：

- 1) 《电子设备可靠性热设计手册》 GJB/Z27-92 中华人民共和国国家军用标准
- 2) 《电子设备热设计名词术语》 GB/T14278-91 中华人民共和国国家标准
- 3) 《军用设备环境试验方法》 GJB150-86 中华人民共和国国家军用标准
- 4) 《传热学》 杨世铭 1987 高等教育出...