浅谈大功率LED的发热问题及解决方案

摘 要:

详尽分析了大功率LED在应用中的发热问题以及原因，提出了几种有效可行对大功率LED(Light Emitting Diode)进行散热的构想,设计了LED热管散热器的原理结构,并对其传热机理、传热路线和各传热阶段的热阻进行了定性分析和定量分析,建立了传热模型,导出了总传热系数的计算式,并给出了该热管散热器的设计计算实例。

引 言：

发光二极管(LED)具有低耗能、省电、寿命长、耐用等优点,因而被各方看好将取代传统照明成为未来照明光源。然而,随着功率增加,LED所产生电热流之废热无法有效散出,导致发光效率严重下降。

LED使用寿命的定义为,当LED发光效率低于原发光效率之70%时,可视为LED寿命终结。LED发光效率会随着使用时间及次数而降低,而过高的接面温度则会加速LED发光效率衰减,故散热成LED显学。

随着芯片技术的日益成熟,单一的LED芯片输入功率可达到5W,甚至更高,所以防止LED工作温度过高也越来越显得重要。若不能有效的将芯片热量散出,接踵而来的热效应也会变得越来越明显,使得芯片接面温度升高,进而直接减少芯片射出的光子能量,降低出光效率。温度的升高也会使得芯片发射出的光谱产生红移,色温质量下降。

本文针对大功率LED工作时的发热问题以及发热原理进行了详尽的分析，并针对不同原因给出了几种可行的解决方案以及构想。

1.大功率LED工作时发热的几个原因

与传统光源一样，半导体发光二极体（LED）在工作期间也会产生热量，其多少取决于整体的发光效率。在外加电能量作用下，电子和空穴的辐射复合发生电致发光，在PN结附近辐射出来的光还需经过芯片（chip）本身的半导体介质和封装介质才能抵达外界（空气）。综合电流注入效率、辐射发光量子效率、芯片外部光取出效率等，最终大概只有30-40%的输入电能转化为光能，其余60-70%能量主要以非辐射复合发生的点阵振动的形式转化热能。

而芯片温度的升高，则会增强非辐射复合，进一步消弱发光效率。因为，人们主观上认为大功率LED没有热量，事实上确有。大量的热，以至于在使用过程中发生问题。加上很多初次使用大功率LED的人，对热问题又不懂如何有效地解决，使得产品可靠性成为主要问题。那么，LED究竟有没有热量产生呢？能产生多少热量呢？LED产生的热量究竟有多大？

LED在正向电压下，电子从电源获得能量，在电场的驱动下，克服PN结的电场，由N区跃迁到P区，这些电子与P区的空穴发生复合。由于漂移到P区的自由电子具有高于P区价电子的能量，复合时电子回到低能量态，多余的能量以光子的形式放出。发出光子的波长与能量差Eg相关。可见，发光区主要在PN结附近，发光是由于电子与空穴复合释放能量的结果。一只半导体二极体，电子在进入半导体区到离开半导体区的全部路程中，都会遇到电阻。简单地从原理上看，半导体二极体的物理结构简单地从原理上看，半导体二极体的物理结构源负极发出的电子和回到正极的电子数是相等的。普通的二极体，在发生电子－空穴对的复合是，由于能级差Eg的因素，释放的光子光谱不在可见光范围内。

电子在二极体内部的路途中，都会因电阻的存在而消耗功率。所消耗的功率符合电子学的基本定律：

P＝I2R＝I2（RN＋＋RP）＋IVTH

式中：RN是N区体电阻VTH是PN结的开启电压RP是P区体电阻消耗的功率产生的热量为：

Q＝Pt

式中：t为二极体通电的时间。

本质上，LED依然是一只半导体二极体。因此，LED在正向工作时，它的工作过程符合上面的叙述。它所它所消耗的电功率为：

PLED=ULED×ILED

式中：ULED是LED光源两端的正向电压

ILED是流过LED的电流

这些消耗的电功率转化为热量放出：

Q＝PLED×t

式中：t为通电时间

实际上，电子在P区与空穴复合时释放的能量，并不是由外电源直接提供的，而是由于该电子在N区时，在没有外电场时，它的能级就比P区的价电子能级高出Eg。当它到达P区后，与空穴复合而成为P区的价电子时，它就会释放出这么多的能量。Eg的大小是由材料本身决定的，与外电场无关。外电源对电子的作用只是推动它做定向移动，并克服PN结的作用。

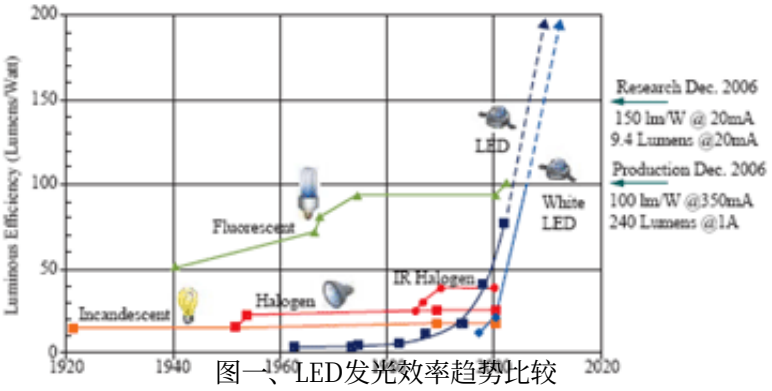
LED的产热量与光效无关；不存在百分之几的电功率产生光，其余百分之几的电功率产生热的关系。透过对大功率LED热的产生、热阻、结温概念的理解和理论公式的推导及热阻测量，我们可以研究大功率LED的实际封装设计、评估和产品应用。需要说明的是热量管理是在LED产品的发光效率不高的现阶段的关键问题，从根本上提高发光效率以减少热能的产生才是釜底抽薪之举，这需要芯片制造、LED封装及应用产品开发各环节技术的进步。

2.LED散热技术介绍及节能减排

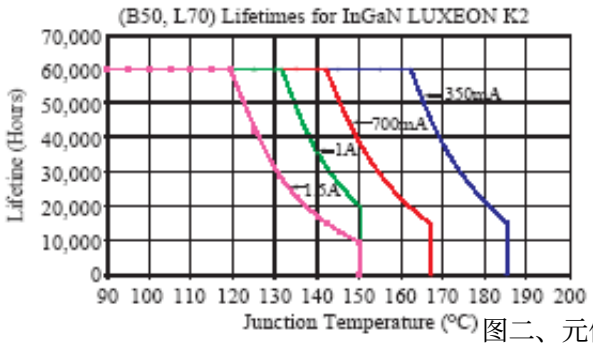
2.1LED照明产品之散热技术介绍

LED照明应用趋势及散热问题由于固态光源(Solid State Lighting)技术不断进步，使近年来LED的发光效率提升，逐渐能取代传统光源，目前发光效率已追过白炽灯及卤素灯而持续向上成长，如图一所示。而一些公司更已开发出效率突破100lm/W的LED元件，这也使得LED的照明应用越来越广，不但已开始应用于室内及户外照明、手机背光模组及汽车方向灯等，更看好在高瓦数的投射灯及路灯等强光照明、大尺寸背光模组以及汽车头灯等的应用。由于拥有省电、环保及寿命长等优点，更使未来以LED光源为主流的趋势越趋明显。

为了让LED发更亮的光而需要输入更高的功率，然而目前高功率LED的光电转换效率(Wall-Plug-Efficiency;WPE)值仍然有限，一般仅有约15~25%的输入功率成为光，其馀则会转换成热能。由于LED晶片面积很小(~1mm2)，因此使高功率LED单位面积的发热量（发热密度）非常高，甚至较一般的IC元件更为严重，也使得LED晶片的接面温度(Junction Temperature)大为提升，容易造成过热问题。过高的晶片接面温度会使LED的发光亮度降低，其中以红光的衰减最为明显。也会造成LED的波长偏移而影响演色性，更会造成LED可靠度的大幅降低，如图二所示，因此散热技术已成为目前LED技术发展的瓶颈。



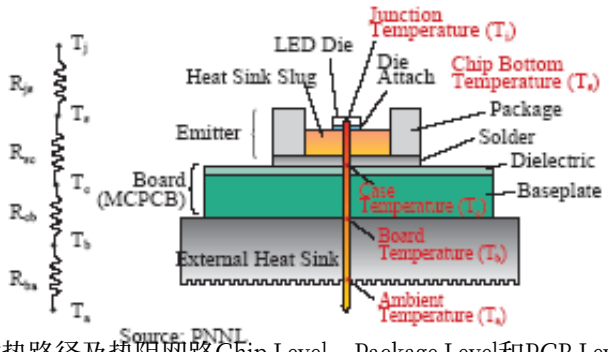
图一、LED发光效率趋势比较



图二、元件寿命和晶片温度的关系

因此散热设计的挑战较大，必须从晶片层级、封装层级、PCB层级到系统模组层级，都要非常重视散热设计，并寻求最佳的散热方桉。对于LED照明产品而言，由于系统端的散热限制较大，因此其它层级的散热需求就更明显。对于LED热传问题，最基本的分析方法就是利用热阻网路进行分析。

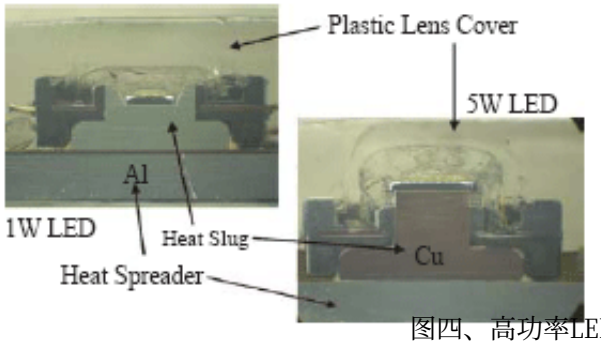
也就是将LED由晶片热源到环境温度的主要散热路径建构热阻网路，如图四所示，然后分析各热阻值的特性及大小，如此可以推算理想状况时的晶片温度，并针对热阻网路各部分下对策以降低热阻值。需注意的是，图三是就Chip Level、Package Level、Board Level及System Level组成的热阻网路。实际分析时可依据系统结构组成更详细的热阻网路，例如考虑Die Attach材料及Solder等介面材料之热阻，或是散热模组结构之热阻值。



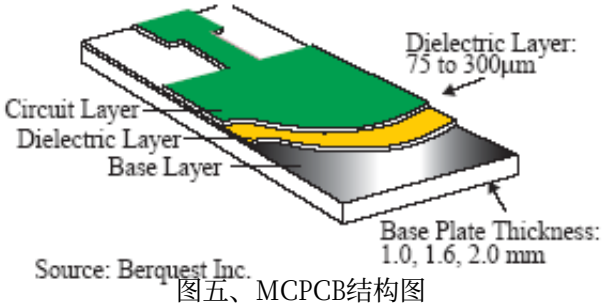
图三、LED散热路径及热阻网路Chip Level、Package Level和PCB Level的散热设计

由于LED晶片的Sapphire基板导热特性较差，会造成图三之热阻值Rjs过高，因此改善方式必须用高导热的材料如铜取代Sapphire，或是採用覆晶方式将基板移开热传路径，以降低热阻值。目前在晶片到封装层级性能较佳的散热设计，包括共融合金基板及覆晶形式等设计，使热更容易从晶片传到封装中。而增加晶片尺寸以降低发热密度也是可行的方向。

在封装散热设计技术上，利用高导热金属(Al,Cu..)的散热座，如图四所示，及高导热陶瓷基板(AlN,SiC...)等设计则可将晶片的热迅速扩散，有效降低封装热阻值Rsc。在PCB层级的散热设计上，和传统PCB不同的地方主要是由于LED发热密度太大，传统FR4+铜箔层的散热能力有限，因此需要藉由较厚的金属层以降低扩散热阻(Spreading Resistance)，此种结构称为MCPCB(Metal Core PCB)。MCPCB的基本结构如图五所示，包括较厚的金属层、介电层及铜箔层。可将封装的热进一步扩散并迅速传到系统模组的散热元件，以缩小热阻值Rcb。



图四、高功率LED之封装结构及Heat Slug结构



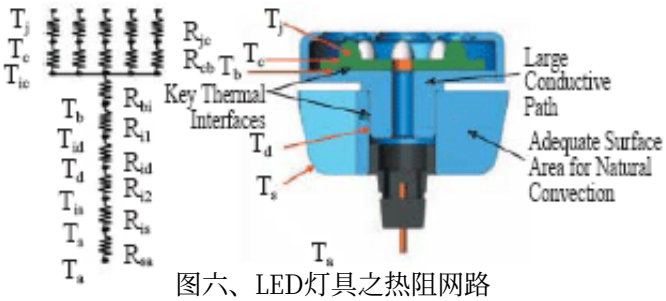
图五、MCPCB结构图

为了降低元件热阻值，目前一些设计採用Chip-on-board的设计，直接将LED晶片设计在MCPCB上，而减少封装材料及Solder界面材料的热阻值，因此提升散热效果，目前许多公司的产品也採用此种设计方式(Lamina Inc.,Citizen Inc.,OSRAM Inc,Avago Technologies...)。然而，此种设计增加了光学设计的困难及造成製程可靠度问题，设计上较为複杂。

散热模组的散热设计

图六是一种LED灯具的结构及其较完整的热阻网路相对关係图，透过热阻网路的建构及计算，可以了解模组各部份的散热情形，以进行温度计算评估或是散热对策设计。LED模组的散热设计在PackageLevel及Board Level以传导为主，因此如何缩短散热路径、提升热传导率以及传热面积是主要重点，而在System Level则是以对流及辐射方式为主，由于LED寿命高及低成本的要求，因此不需风扇被动形式的自然对流，是成本最低及可靠度最高的散热方式，而以各阶层的热阻值在热阻网路所佔的比例来看，由于自然对流散热能力有限，因此由散热模组散到空气中的热阻一般都佔了较重的比例。

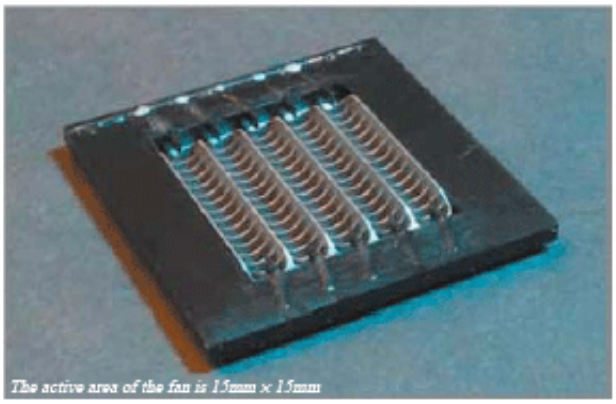
和电子产品不同的是，一般电子产品系统有通风口，因此PCB可透过对流及辐射传热到空气，而LED照明产品许多是密闭的，因此限制了元件的散热能力。由于散热模组带走热的能力和散热设计方式有很大关係，如何提升与空气接触面积、提升对流係数或是增加辐射热传效果是主要设计方向。在照明应用时，由于一些机构如接头甚至外型等须符合传统灯具规格（如MR16），以及重量的要求，因此更进一步限制了散热结构的设计，造成散热的挑战，也使在散热设计时需要更为注意最佳化的设计。



图六、LED灯具之热阻网路

2.2新散热技术的应用

一些新的技术也开始应用于LED照明，如利用合成式喷流(Synthetic Jet)原理製作的PAR-38 LED Lamp。和风扇不同的是此设计利用膜片震盪，压缩空气通过喷嘴，利用一次喷流造成的负压推动中心喷流而增加流体流速，散热效能较传统风扇散热方式高。由于不需风扇，因此可靠度提升，而噪音也小。利用日冕放电(Corona Discharge)原理製作的电流力帮浦(Electro-aerodynamic Pumping)为动力的固态风扇，利用带电离子的迅速移动产生对流，具有高风量的优点，同时功耗降低及提升可靠度，利用热电元件作为LED元件散热应用并实际整合于LED模组封装，利用固态的热电冷却原理(Peltier Effect)降低LED晶片温度，结果显示热电元件可大幅降低元件热阻值，并提升发光亮度，如图七所示。



Source: Thermal Micro Technology

图七、整合热电元件之LED散热设计

此外也研究利用压电风扇等散热技术，进行高功率LED散热设计。而高散热能力的微流道散热能力可达500W，而微喷流的设计散热能力也可达200W以上，其应用在未来值得重视。除了应用新的散热技术，新的散热材料也开始应用于LED照明散热，例如可射出成型的高导热塑胶，热传导率可达20W/mK，可应用于灯具的外壳。而高导热碳纤维、奈米碳管及类鑽石等高导热材料也开始应用于LED散热，使得LED照明产品的散热设计越来越多元化。

3.总结

大功率LED的散热设计非常重要，关系到LED的发光的品质及使用寿命。透过热阻网路可迅速分析散热能力及需求并寻求散热对策，由于高功率LED发热密度很大，必须从Chip Level、Package Level、Board Level到System Level各层级进行散热设计，降低热阻，才能得到最佳的散热效果。

目前国际上各大LED晶片及封装厂商都致力于发展发光效率更高的产品，透过提升光的量子效率等方式提升光电转换效率，以降低晶片发热量，希望能在2012年前将发光效率提升至150lm/W，而发热比例降低到25%，将可使散热的瓶颈大为降低，也可使被动形式的散热设计更能应用于各种高功率LED产品。

但这毕竟非一蹴可及，仍具有相当的困难度。为了使LED产品的发展及应用更为快速，相关的散热技术仍需同步发展。由于人类对于生活品质的需求不断提升，就如同IC产品对于散热的需求一直存在，散热设计在各种高功率LED的产品设计中仍将佔有重要的地位。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/57299.html