

单板热设计培训教材

整机工程部热技术研究部

www.huawei.com

提 纲

一、热设计基础知识

- 1、热量传递的三种基本方式
- 2、热阻的概念

二、器件热特性

- 1、认识器件热阻
- 2、典型器件封装散热特性
- 3、单板器件的散热路径

三、散热器介绍

四、导热介质介绍

五、单板强化散热措施

- 1、PWB热特性
- 2、PWB强化散热措施

六、单板布局原则

一、热设计基础知识

热量的传递有导热，对流换热及辐射换热三种方式。在终端设备散热过程中，这三种方式都有发生。三种传热方式传递的热量分别由以下公式计算

Fourier导热公式： $Q = \lambda A(T_h - T_c) / \delta$

Newton对流换热公式： $Q = \alpha A(T_w - T_{air})$

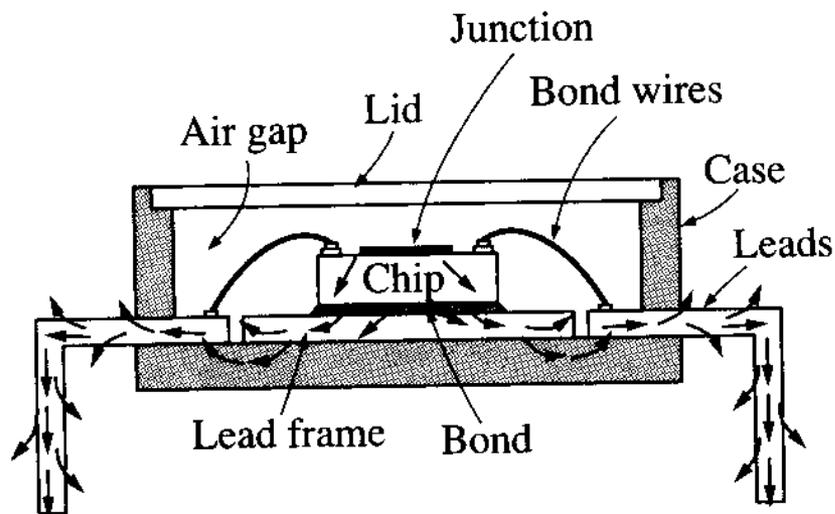
辐射4次方定律： $Q = 5.67e-8 * \varepsilon A(T_h^4 - T_c^4)$

其中 λ 、 α 、 ε 分别为导热系数，对流换热系数及表面的发射率， A 是换热面积。

1、热量传递的三种基本方式

导 热

物体各部分之间不发生相对位移时，依靠分子、原子及自由电子等微观例子的热运动而产生的热量称为导热。例如，固体内部的热量传递和不同固体通过接触面的热量传递都是导热现象。芯片向壳体外部传递热量主要就是通过导热。



导 热

导热过程中传递的热量按照Fourier导热定律计算：

$$Q = \lambda A(T_h - T_c) / \delta$$

其中：A 为与热量传递方向垂直的面积，单位为 m^2 ；

T_h 与 T_c 分别为高温与低温面的温度，

δ 为两个面之间的距离，单位为 m 。

λ 为材料的导热系数，单位为 $W/(m \cdot ^\circ C)$ ，表示了该材料导热能力的大小。一般说，固体的导热系数大于液体，液体的大于气体。例如常温下纯铜的导热系数高达 $400 W/(m \cdot ^\circ C)$ ，纯铝的导热系数为 $236 W/(m \cdot ^\circ C)$ ，水的导热系数为 $0.6 W/(m \cdot ^\circ C)$ ，而空气仅 $0.025 W/(m \cdot ^\circ C)$ 左右。铝的导热系数高且密度低，所以散热器基本都采用铝合金加工，但在一些大功率芯片散热中，为了提升散热性能，常采用铝散热器嵌铜块或者铜散热器。

导热

传导问题应用举例

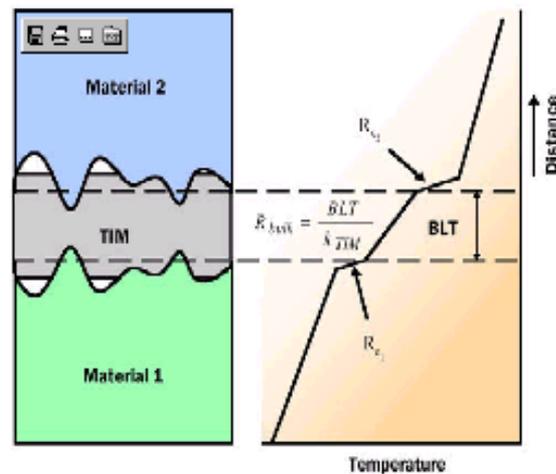
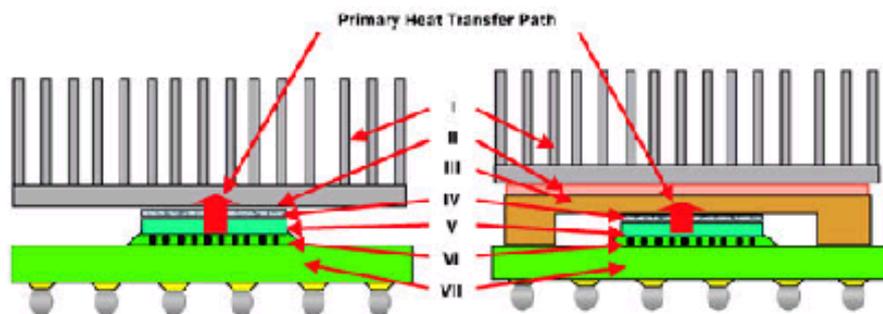
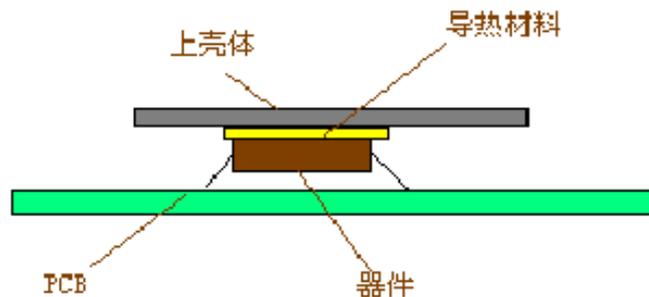


Figure 2. Schematic of various resistance components of $R_{JC,JC}$



对流换热

对流换热是指运动着的流体流经温度与之不同的固体表面时与固体表面之间发生的热量交换过程，这是通信设备散热中应用最广的一种换热方式。根据流动的起因不同，对流换热可以分为强制对流换热和自然对流换热两类。前者是由于泵、风机或其他外部动力源所造成的，而后者通常是由于流体自身温度场的不均匀性造成不均匀的密度场，由此产生的浮升力成为运动的动力。

机柜中通常采用的风扇冷却散热就是最典型的强制对流换热。在终端产品中主要是自然对流换热。自然对流散热分为大空间自然对流（例如终端外壳和外界空气间的换热）和有限空间自然对流（例如终端内的单板和终端内的空气）。值得注意的是，当终端外壳与单板的距离小于一定值时，就无法形成自然对流，例如手机的单板与外壳之间就只是以空气为介质的热传导。

对流换热

对流换热的热量按照牛顿冷却定律计算

$$Q=hA(T_w-T_{air})$$

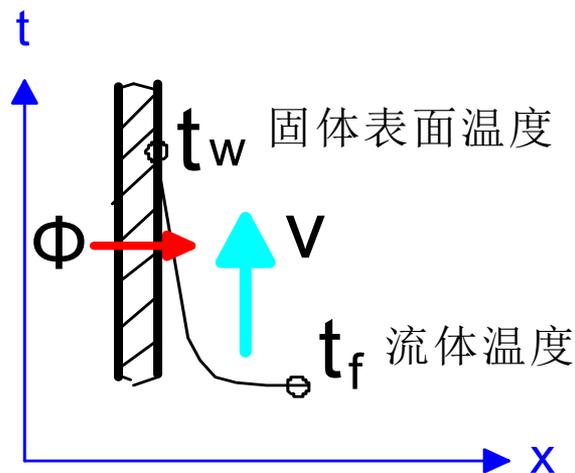
其中：

A 为与热量传递方向垂直的面积，

单位为 m^2 ；

T_h 与 T_c 分别为固体壁面与流体的温度，

h 是对流换热系数，自然对流时换热系数在 $1\sim 10W/(^{\circ}C*m^2)$ 量级，实际应用时一般不会超过 $3\sim 5W/(^{\circ}C*m^2)$ ；强制对流时换热系数在 $10\sim 100W/(^{\circ}C*m^2)$ 量级，实际应用时一般不会超过 $30W/(^{\circ}C*m^2)$ 。



热辐射

辐射是通过电磁波来传递能量的过程，热辐射是由于物体的温度高于绝对零度时发出电磁波的过程，两个物体之间通过热辐射传递热量称为辐射换热。物体的辐射力计算公式为：

$$E=5.67e-8 \varepsilon T^4$$

物体表面之间的热辐射计算是极为复杂的，其中最简单的两个面积相同且正对着的表面间的辐射换热计算公式为：

$$Q=A*5.67e-8/(1/\varepsilon_h+1/\varepsilon_c-1)*(T_h^4-T_c^4)$$

公式中T指的是物体的绝对温度值=摄氏温度值+273.15； ε 是表面的黑度或发射率，该值取决于物质种类，表面温度和表面状况，与外界条件无关，也与颜色无关。磨光的铝表面的黑度为0.04,氧化的铝表面的黑度为0.3，油漆表面的黑度达到0.8，雪的黑度为0.8。

由于辐射换热不是线性关系，当环境温度升高时，终端的温度与环境的相同温差条件下会散去更多的热量。

热 辐 射

塑料外壳表面喷漆，PWB表面会涂敷绿油，表面黑度都可以达到0.8，这些都有利于辐射散热。对于金属外壳，可以进行一些表面处理来提高黑度，强化散热。

对辐射散热一个最大错误认识是认为黑色可以强化热辐射，通常散热器表面黑色处理也助长了这种认识。实际上物体温度低于1800℃时，有意义的热辐射波长位于0.38~100 μm之间，且大部分能量位于红外波段0.76~20 μm范围内，在可见光波段内，热辐射能量比重并不大。颜色只与可见光吸收相关，与红外辐射无关，夏天人们穿浅色的衣服降低太阳光中的可见光辐射吸收。因此终端内部可以随意涂敷各种颜色的漆。

2、热阻的概念

对导热和对流换热的公式进行变换：

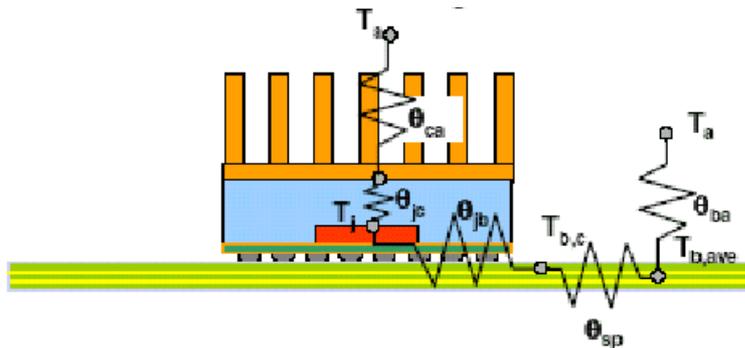
$$\text{Fourier导热公式: } Q = \lambda A(T_h - T_c) / \delta \quad \Rightarrow \quad Q = (T_h - T_c) / [\delta / (\lambda A)]$$

$$\text{Newton对流换热公式: } Q = \alpha A(T_w - T_{air}) \quad \Rightarrow \quad Q = (T_w - T_{air}) / (1 / \alpha A)$$

热量传递过程中，温度差是过程的动力，好象电学中的电压，换热量是被传递的量，好像电学中的电流，因而上式中的分母可以用电学中的电阻概念来理解成导热过程的阻力，称为热阻（thermal resistance），单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，其物理意义就是传递 1W 的热量需要多少度温差。在热设计中将热阻标记为R或 θ 。 $\delta / (\lambda A)$ 是导热热阻， $1 / \alpha A$ 是对流换热热阻。器件的资料中一般都会提供器件的 R_{jc} 和 R_{ja} 热阻， R_{jc} 是器件的结到壳的导热热阻； R_{ja} 是器件的结到壳导热热阻和壳与外界环境的对流换热热阻之和。这些热阻参数可以根据实验测试获得，也可以根据详细的器件内部结构计算得到。根据这些热阻参数和器件的热耗，就可以计算得到器件的结温。

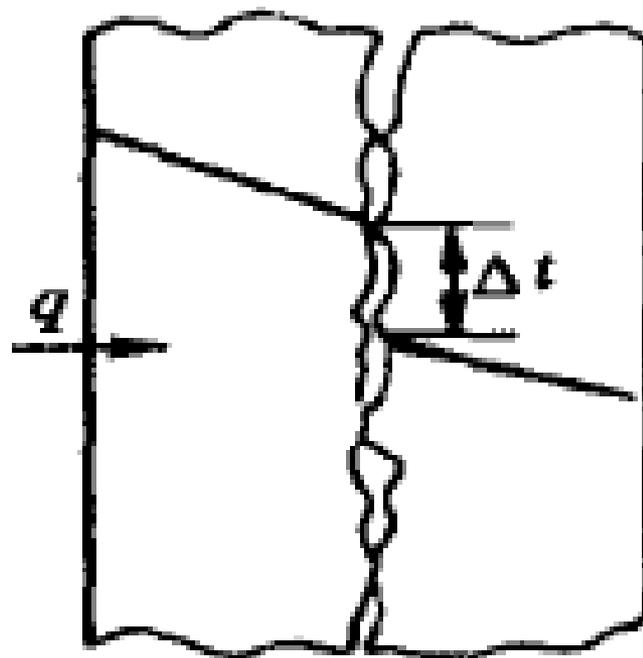


热路	电路
热耗 P(W)	电流 I(A)
温差 $\Delta T = T_2 - T_1$ (°C)	电压 $V_{ab} = V_a - V_b$ (V)
热阻 $R_{th} = \Delta T / P$ (°C/W)	电阻 $R = V_{ab} / I$ (欧姆)
热容 $C = WC_p$ (cal/°C)	电容 C(法)
热阻的串联: $R_{th} = R_{th1} + R_{th2} + \dots$	电阻的串联: $R = R_1 + R_2 + \dots$
热阻的并联: $1/R_{th} = 1/R_{th1} + 1/R_{th2} + \dots$	电阻的并联: $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$



$$P_{\max} = \frac{\Delta T_{\max}}{\theta_{\text{tot}}}$$

两个名义上相接触的固体表面，实际上接触仅发生在一些离散的面积元上，如右图所示，在未接触的界面之间的间隙中常充满了空气，热量将以导热和辐射的方式穿过该间隙层，与理想中真正完全接触相比，这种附加的热传递阻力称为接触热阻。降低接触热阻的方法主要是增加接触压力和增加界面材料（如硅脂）填充界面间的空气。在涉及热传导时，一定不能忽视接触热阻的影响，需要根据应用情况选择合适的导热界面材料，如导热脂、导热膜、导热垫等。



提 纲

一、热设计基础知识

- 1、热量传递的三种基本方式
- 2、热阻的概念
- 3、接触热阻

二、器件热特性

- 1、认识器件热阻
- 2、典型器件封装散热特性
- 3、单板器件的散热路径

三、散热器介绍

四、导热介质介绍

五、单板强化散热措施

- 1、PWB热特性
- 2、PWB强化散热措施

六、单板布局原则

1、认识器件热阻

JEDEC芯片封装的热性能参数:

热阻参数

- θ_{ja} , 结 (即芯片) 到空气环境的热阻: $\theta_{ja} = (T_j - T_a) / P$
- θ_{jc} , 结 (即芯片) 到封装外壳的热阻: $\theta_{jc} = (T_j - T_c) / P$
- θ_{jb} , 结 (即芯片) 到PCB的热阻: $\theta_{jb} = (T_j - T_b) / P$

热性能参数

- ψ_{jt} , 结到封装顶部的热参数: $\psi_{jt} = (T_j - T_t) / P$
- ψ_{jb} , 结到封装底部的热参数: $\psi_{jb} = (T_j - T_b) / P$

T_j ——芯片结温, °C

T_a ——空气环境温度, °C

T_b ——芯片根部PCB表面温度, °C

T_t ——芯片表面温度, °C

θ_{ja} 热阻参数是封装的品质度量(Figure of Merit), 并非 Application-specific, θ_{ja} 的正确应用只能是芯片封装的热性能品质参数 (用于性能好坏等级的比较), 不能应用于实际测试/分析中的结温预计分析。

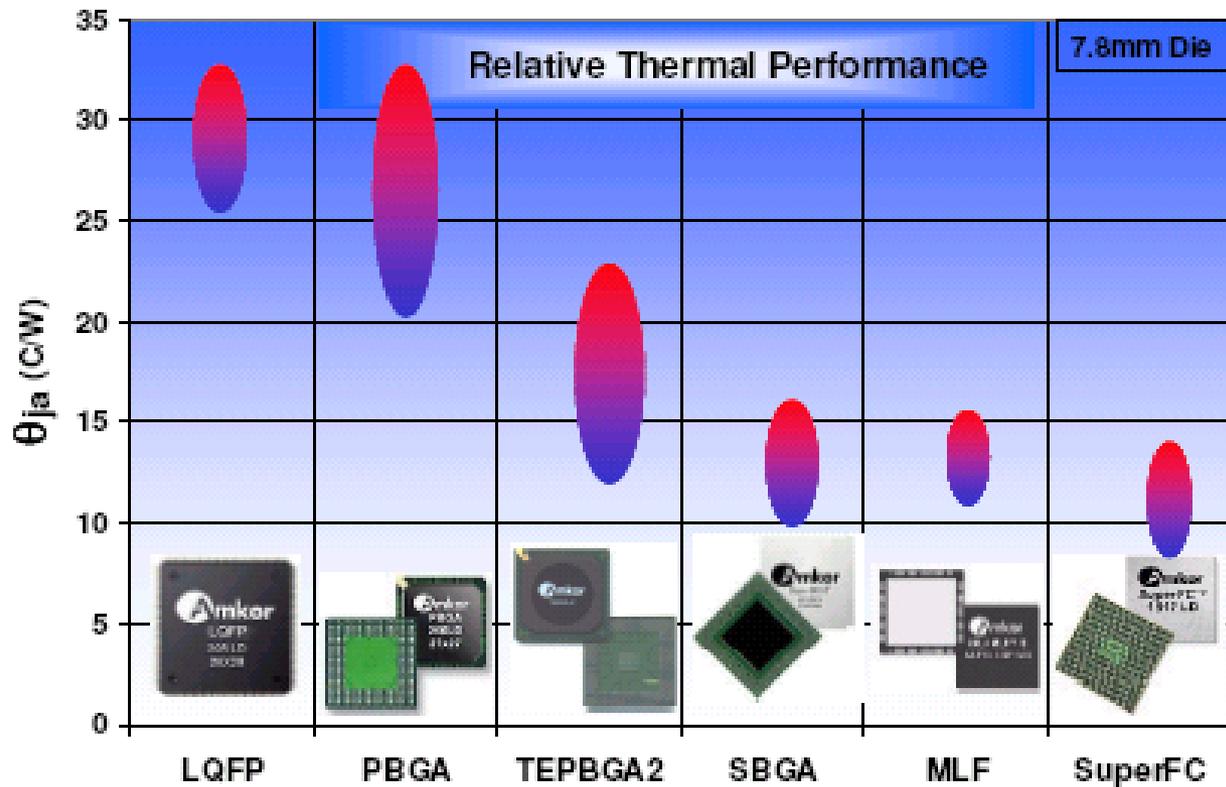
从90年代起, 相对于 θ_{ja} 人们更需要对实际工程师预计芯片温度有价值的热参数。适应此要求而出现三个新参数: θ_{jb} 、 ψ_{jt} 和 ψ_{jb} 。

ψ_{jb} 可适当的运用于热分析中的结温分析

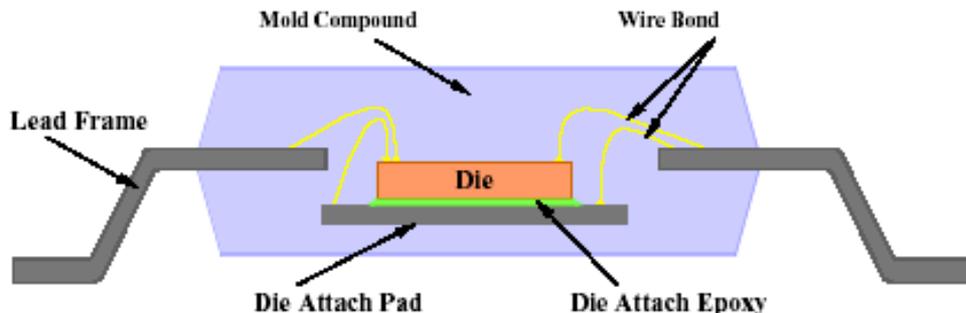
ψ_{jt} 可适当运用于实际产品热测试中的结温预计。

- θ_{jc} 是结到封装表面离结最近点的热阻值。 θ_{jc} 测量中设法使得热流“全部”由封装外壳通过。
- ψ_{jt} 与 θ_{jc} 完全不同，并非是器件的热阻值，只是个数学构造物，只是结到TOP的热特征参数，因为不是所有热量都是通过封装顶部散出的。
- 实际应用中， ψ_{jt} 对于由芯片封装上表面测试温度来估计结温有有限的参考价值。
- θ_{jb} :用来比较装于板上表面安装芯片封装热性能的品质参数(Figure of Merit)，针对的是2s2p PCB，不适用板上有不均匀热流的芯片封装。
- θ_{jb} 与 ψ_{jb} 有本质区别， $\theta_{jb} > \psi_{jb}$ 。与 ψ_{jt} 同理， ψ_{jb} 为结到PCB的热特征参数。

- 不同封装的热特性 (AmKor)



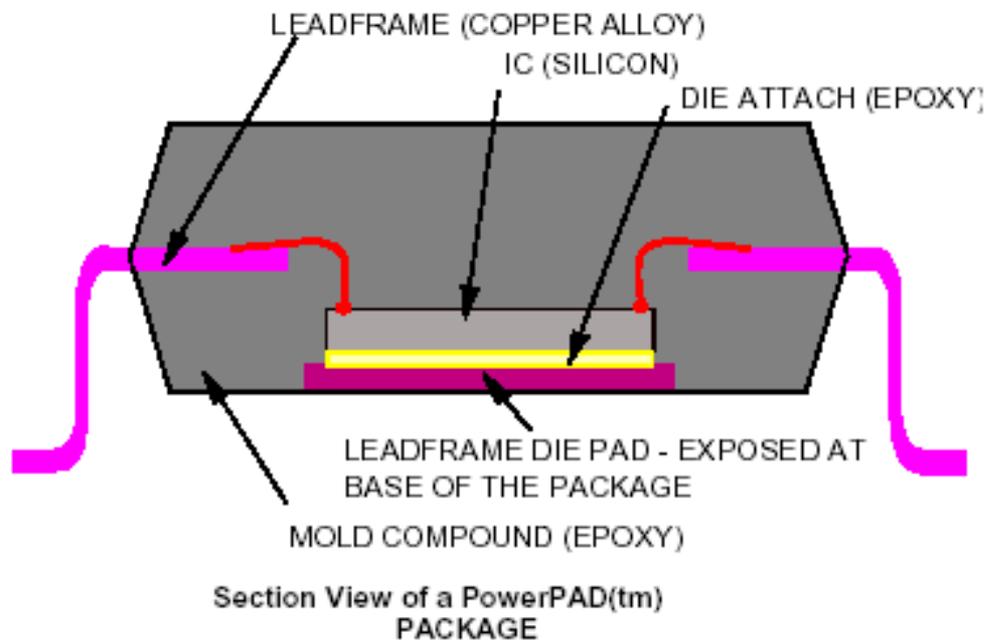
2、典型器件封装散热特性

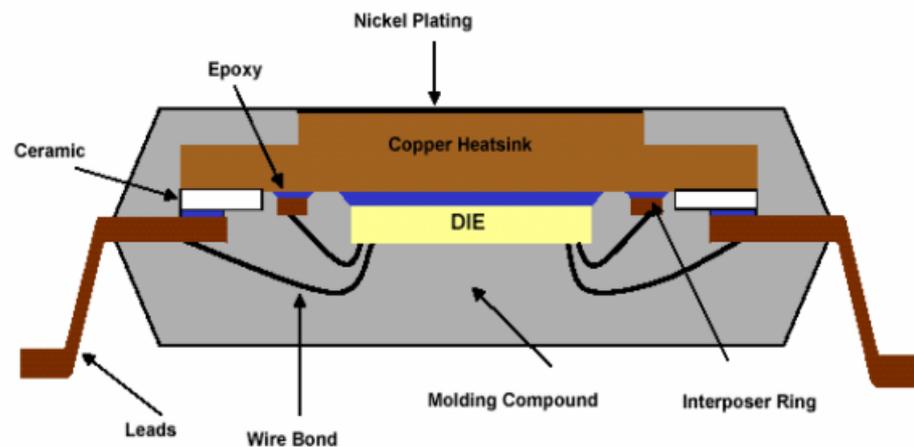


普通SOP封装散热性能很差，影响SOP封装散热的因素分外因和内因，其中内因是影响SOP散热的关键。影响散热的外因是器件管脚与PWB的传热热阻和器件上表面与环境的对流散热热阻。内因源于SOP封装本身很高传热热阻。SOP封装散热主要通过三个途径：

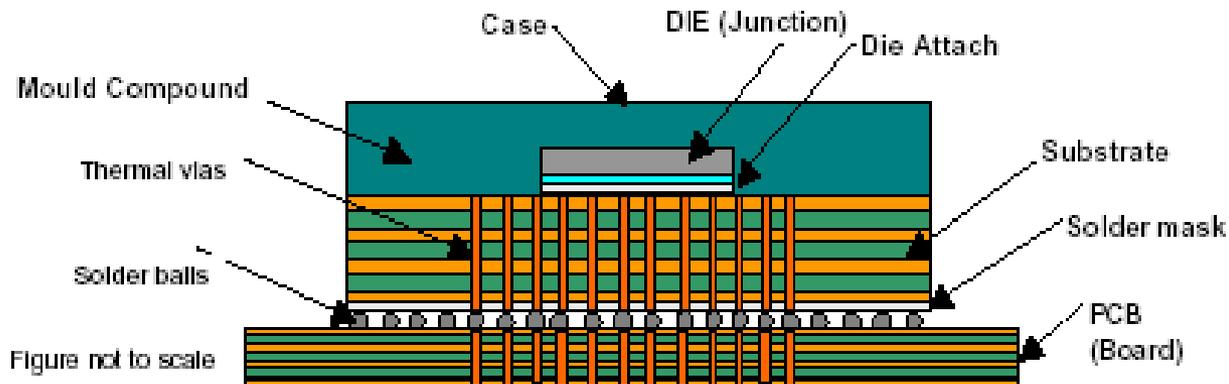
- 1) die的热量通过封装材料（mold compound）传导到器件上表面然后对流散热，低导热的封装材料影响传热。
- 2) die热量通过pad、封装材料和器件底面与PWB之间的空气层后，递到PWB散热，低导热的封装材料和空气层影响传热。
- 3) die热量通过lead Frame传递到PWB，lead frame和die之间是极细的键合线（golden wire），因此die和leadframe之间存在很大的导热热阻，限制了管脚散热。

该封装的特点是die采用cavity up方式布置，pad从封装底部外露，并焊接在PWB表面；或者在pad底部粘结一个金属块，该金属块外露于封装底部，并焊接在PWB表面。die的热量通过金属直接传递到PWB上，消除了原先的封装材料和空气层的热阻





该封装相当与把底部增强散热型SOP封装倒置过来贴装到单板上。由于裸露在芯片上表面的pad面积很小，除了起到均匀die温度的作用外，实际直接散热的性能很差，一般还需要与散热器结合来强化散热。如果芯片表面不安装散热器，该金属pad的主要作用是把die传来的热量扩展开来，再传递给芯片内部的管脚，最后通过管脚把热量传递给PWB散热，金属pad起到缩短die和管脚间传热热阻的作用。

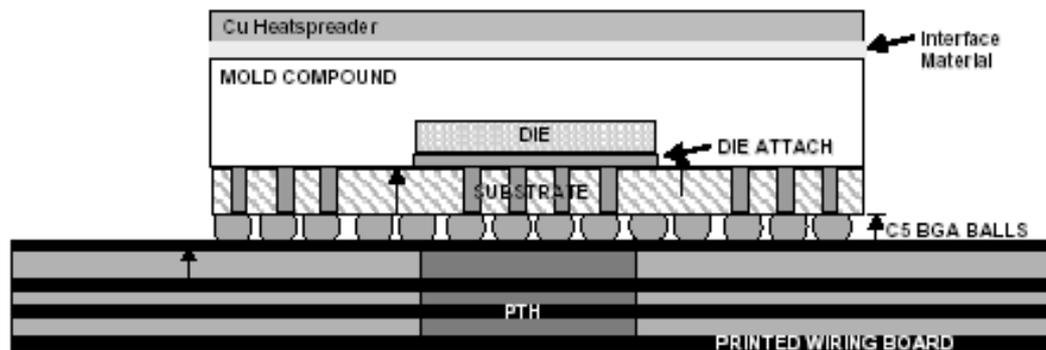


影响PBGA R_{jc} 和 R_{ja} 热阻的因素有很多，从重要程度看依次是：

- 1) thermal ball的个数
- 2) die的尺寸
- 3) substrate的结构，包括铜皮层数，铜皮厚度
- 4) die attachment 材料的导热系数
- 5) gold wire的直径
- 6) PWB上导热过孔的数量。

其中，前5个因素与器件本身的设计相关，因素6与PWB设计相关

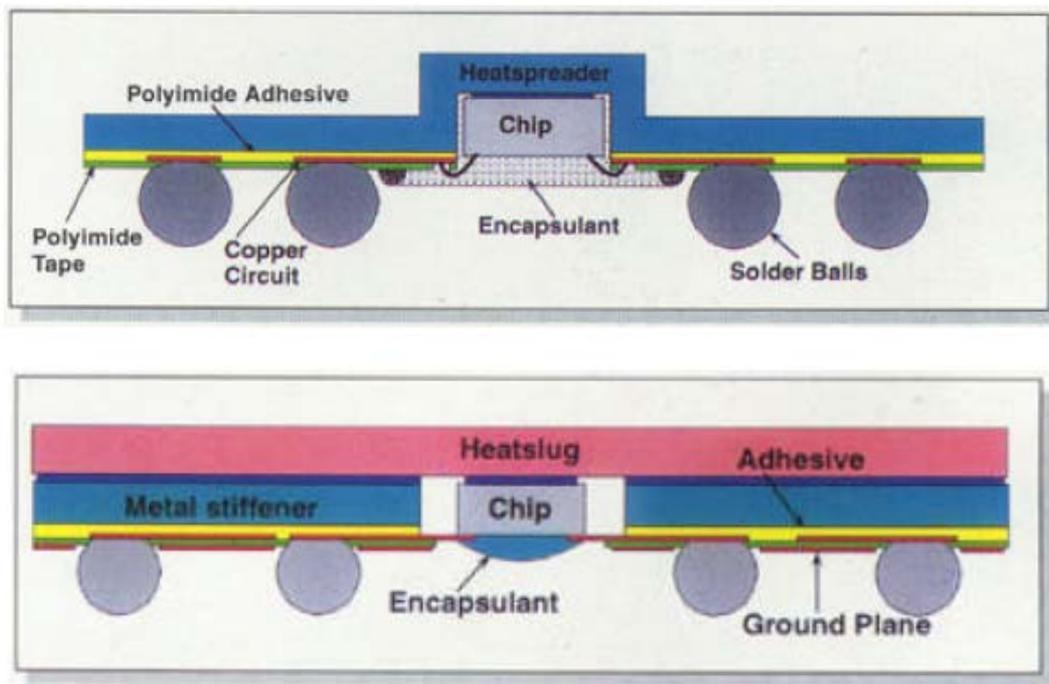
案例：不要被表面的金属欺骗



一些PBGA芯片在表面贴铜块强化散热，由于mold的导热系数很低，该金属封装表面仍为辅助散热，关键散热路径仍在封装的底部。

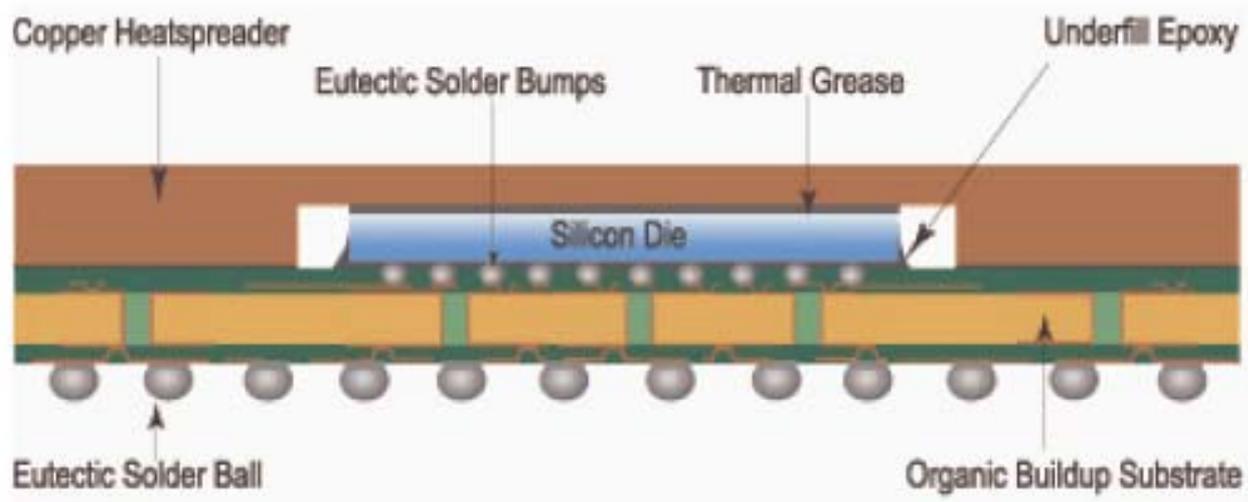
需要了解器件内部的封装结构选择散热方案！

TBGA封装结构

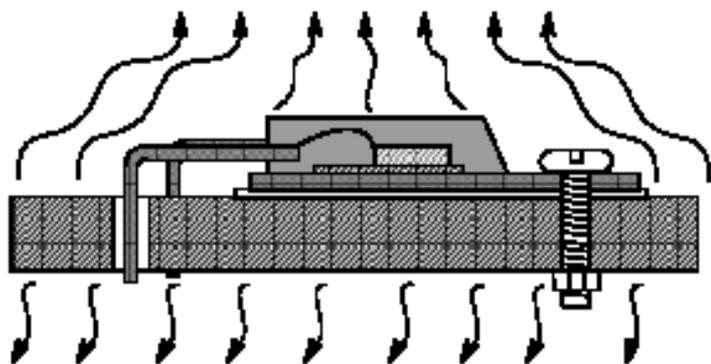


热量传递方式：

Die的热量传递给上表面的铜块，部分热量通过铜块传递到环境中；另外部分热量通过铜块依次传递给芯片的基板、焊球、PWB后，通过PWB散热。



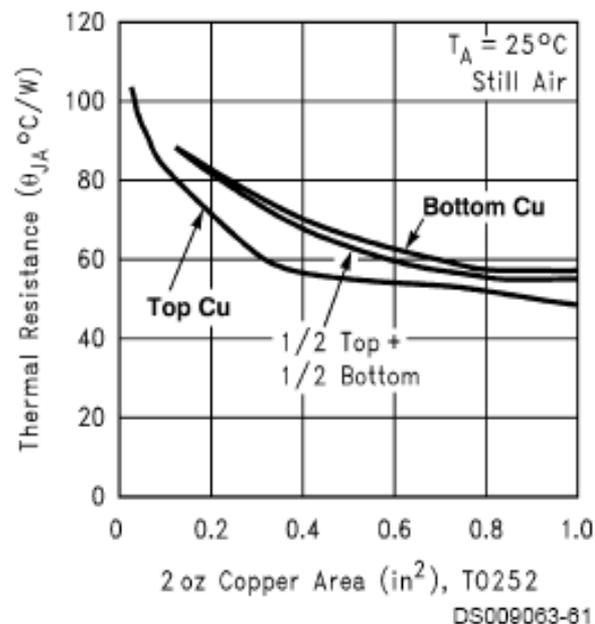
当FC-BGA封装热耗在1~6W时，可以采用直接强迫对流散热， R_{ja} 的范围在8~12°C/W；当热耗在4~10W时，需要加散热器强化散热， R_{ja} 的范围在5~10°C/W；当热耗为8~25W时，需要高端的散热器配合合适的风道来进行强化散热。



TO器件的散热往往需要较大的铜皮，那么对于面积紧张的单板如何实现？

按重要程度依次为：

- 1) 过孔
- 2) 单板的层结构（地层或者电源层的位置）
- 3) 地层或者电源层的铜皮厚度
- 4) 焊盘厚度

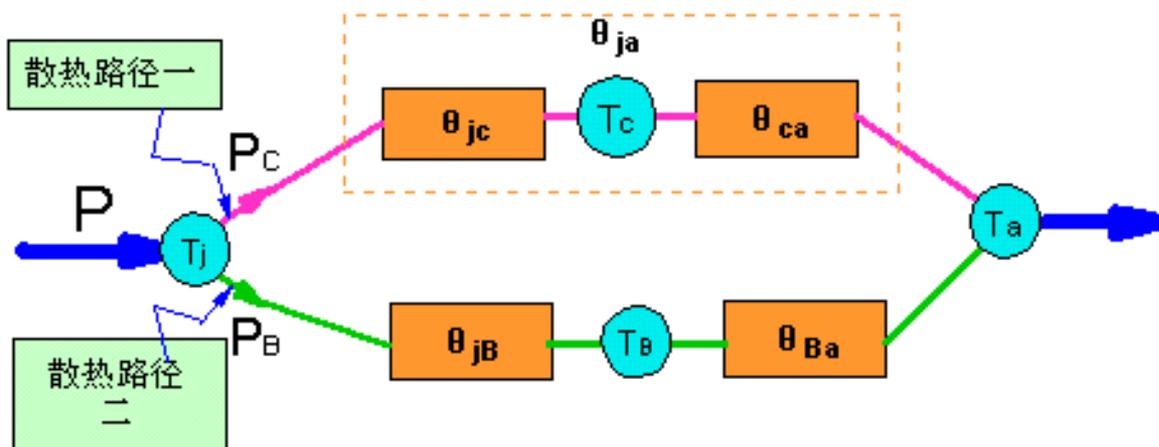
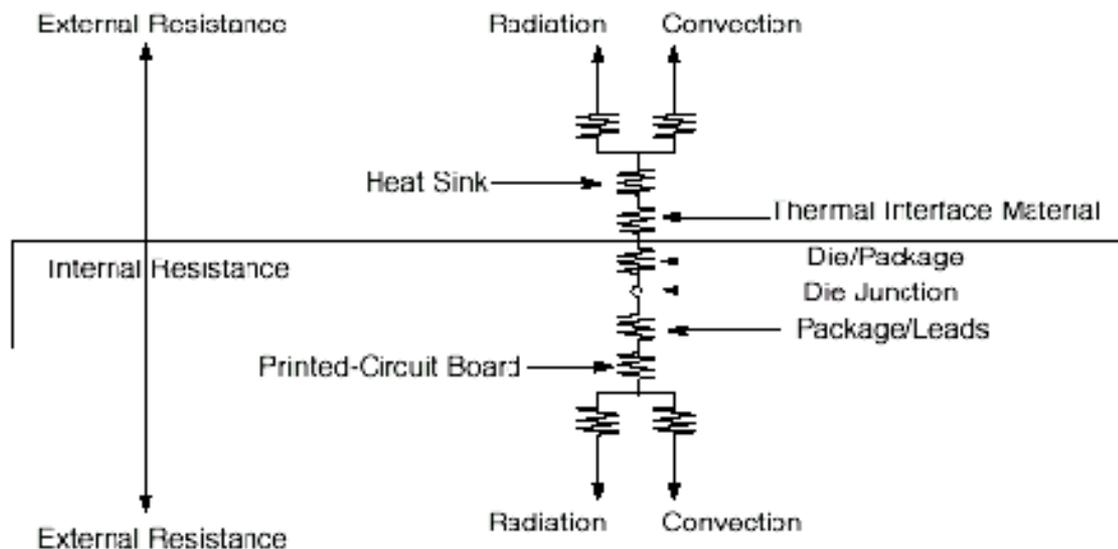


θ_{JA} vs 2oz Copper Area for TO-252

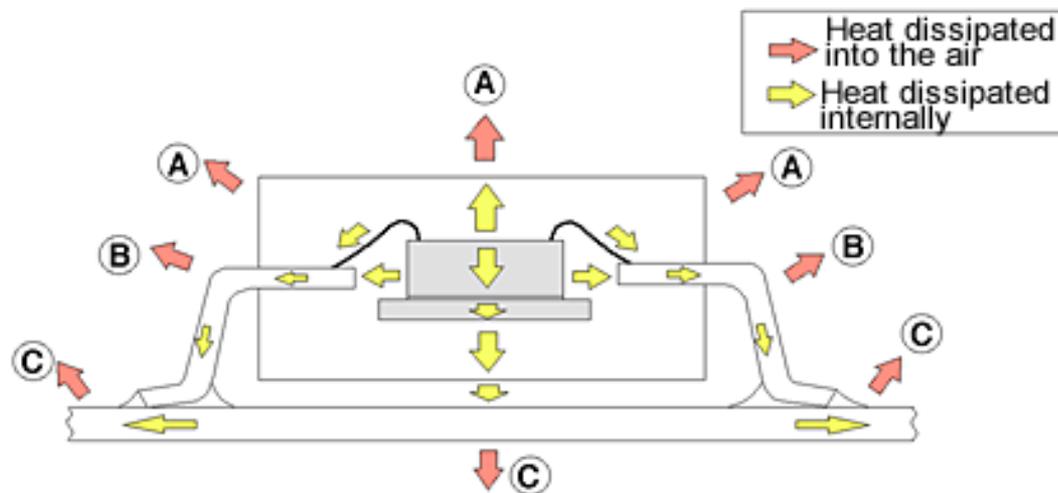
(from LM117.pdf)

3、单板器件的散热途径

单板器件散热途径



案例：QFP器件不同路径的散热量

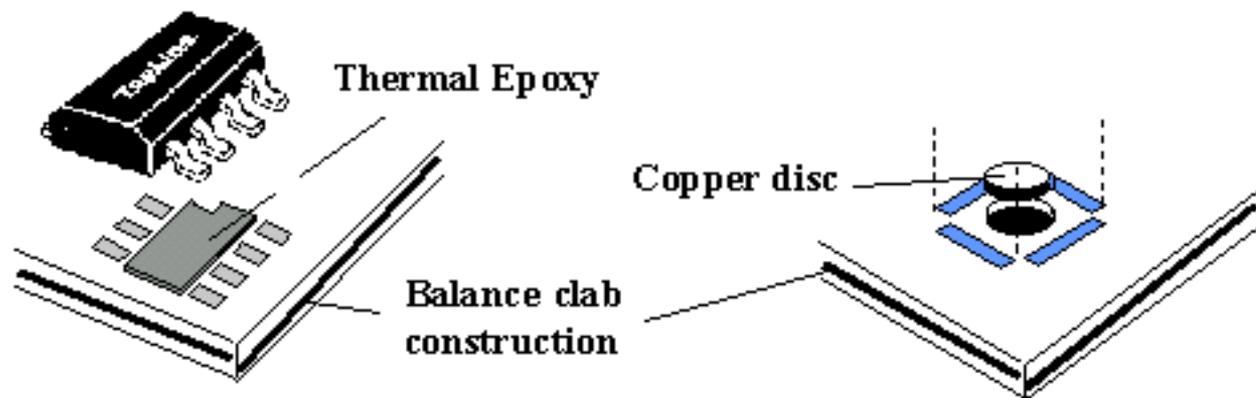
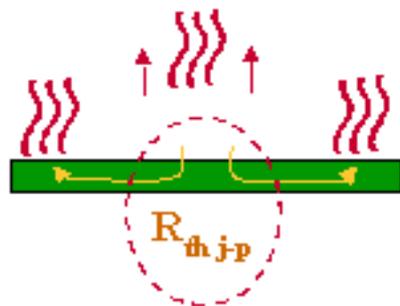


For a 56-pin QFP (package size 10 mm x 10 mm, attached to a glass epoxy board, power consumption: 1 W = 100%)



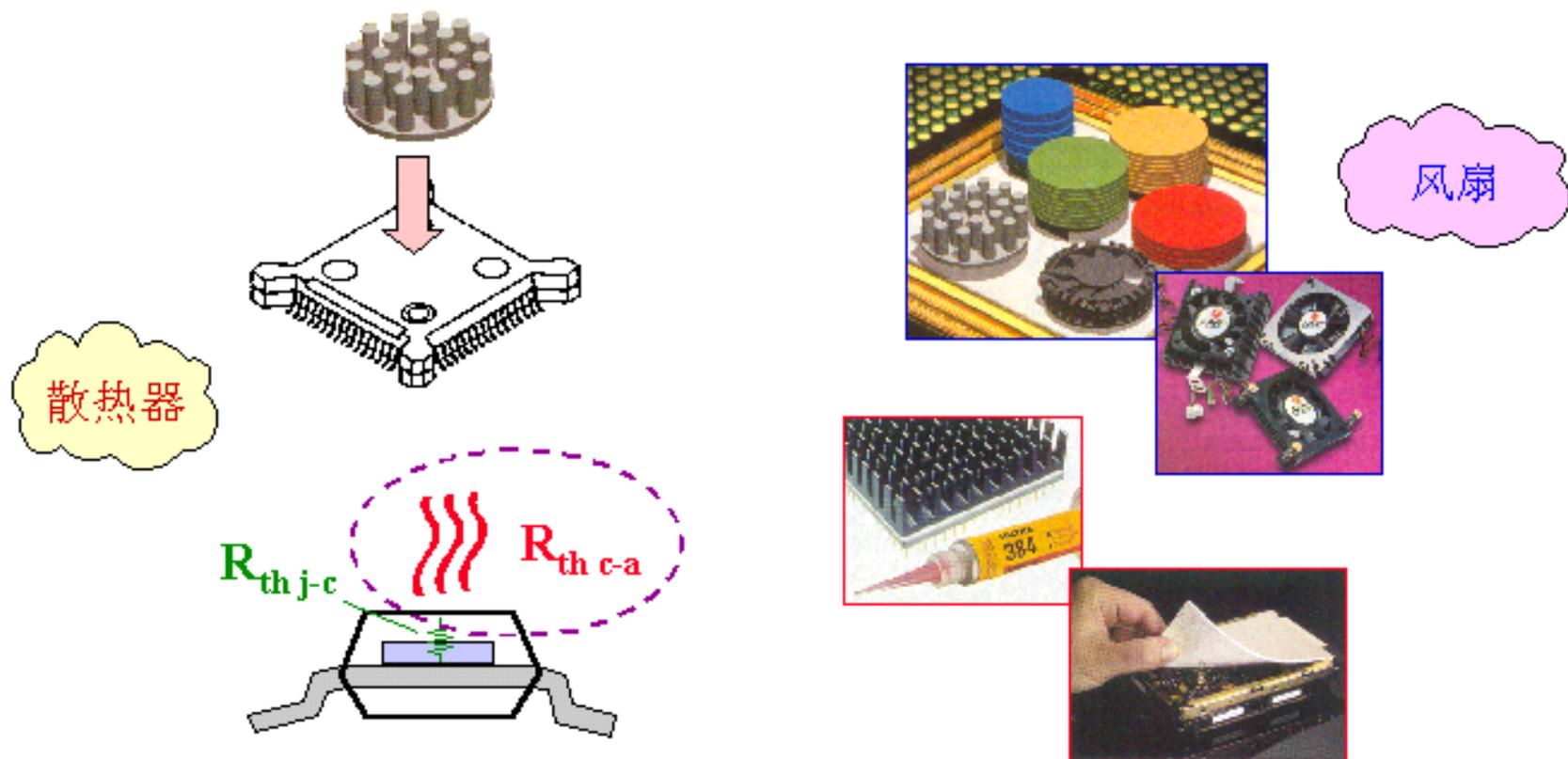
Example of Heat Transfer (for QFP)

常用的热设计方案一：提高热传导效率



主要措施：PCB设计时加散热铜箔和大面积电源/地铜箔

常用的热设计方案二：增大散热面积及增强对流



大功率元件可加散热器，整机可用风扇等措施

- 好的单板散热方案必须针对器件的散热特性进行设计!
- THD器件的管脚数量少，焊接后封装也不紧贴单板，与单板的热关联性很小，该类器件的热量都是通过器件表面散到环境中。因此早期的器件散热研究比较注重于器件表面的空气流动，以期获得比较高的器件表面对流换热系数。
- SMD器件集成度高，热耗也大，是散热关注的重点。该类器件的管脚/焊球数量多，焊接后封装也紧贴单板，与单板建立起紧密的换热联系，散热方案必须从单板整体散热的角度进行分析。SMD器件针对散热需求也出现了多种强化散热的封装，这些封装的种类繁多，但从散热角度进行归纳分类，以引脚封装和焊球封装最为典型，其它封装的散热特性可以参考这两种类推。
- PGA类的针状管脚器件基本忽略单板散热，以表面散热为主，例如CPU等。

不同封装的器件采用合适的散热设计

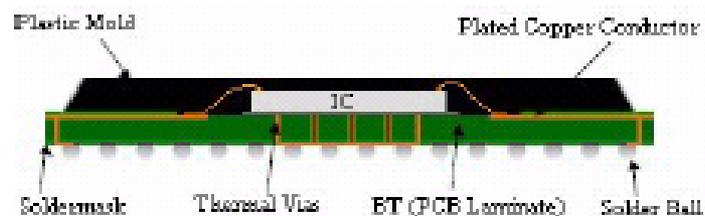


Figure 1-1: 'Cavity-Up' Ball Grid Array Package

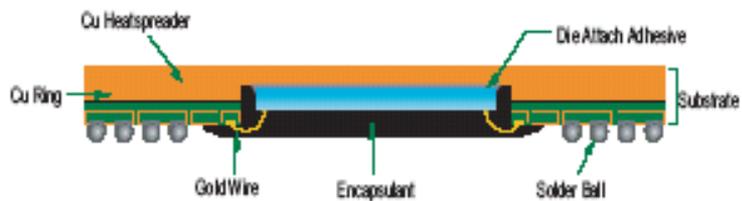
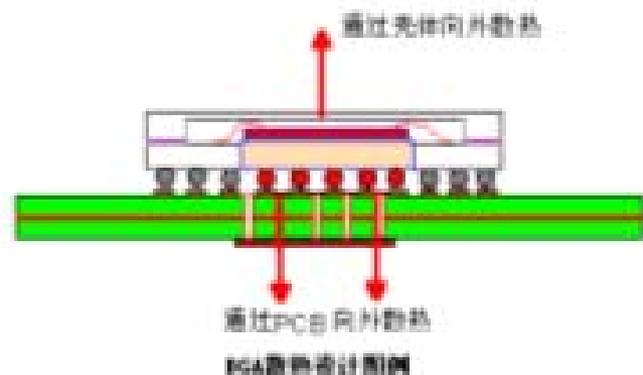
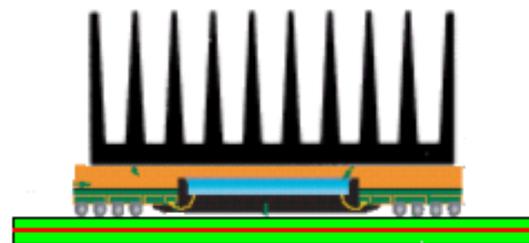
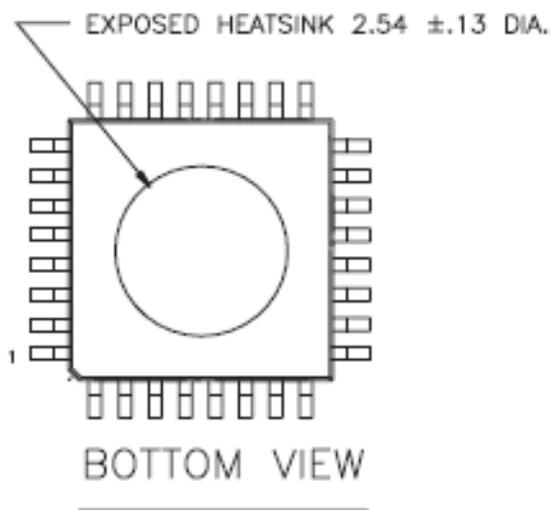
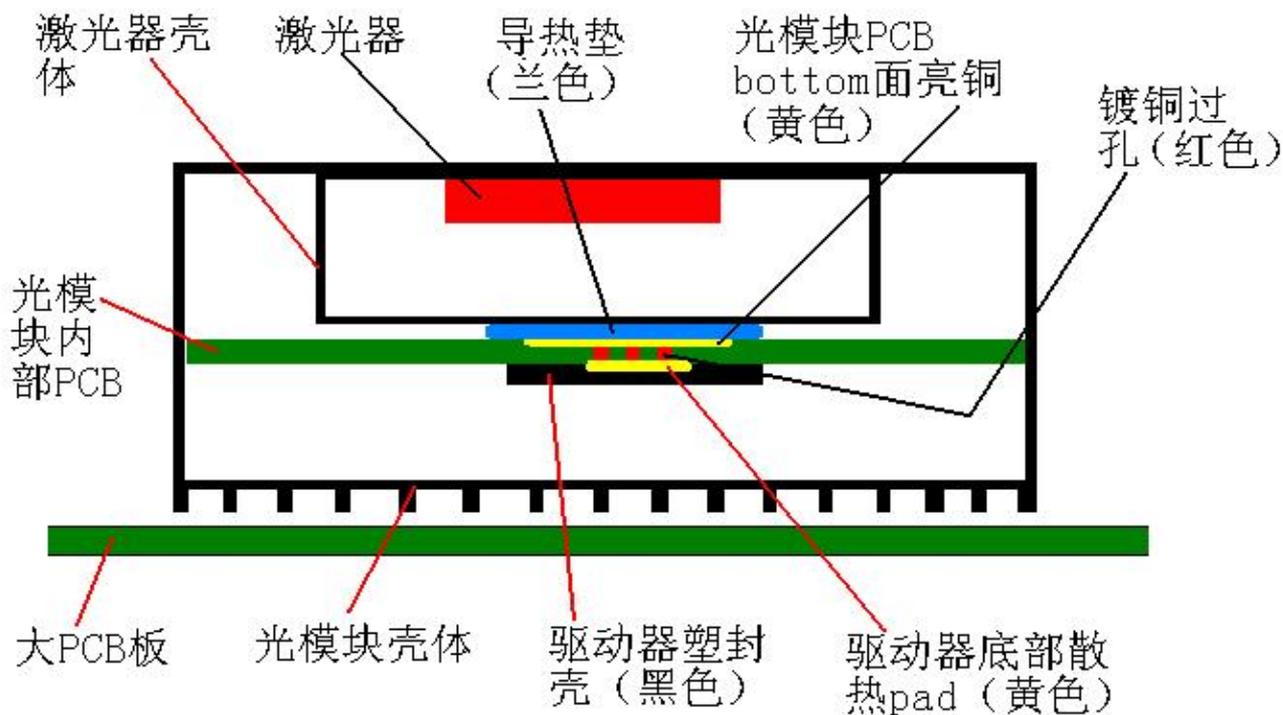


Figure 1-2: 'Cavity-Down' BGA Package



案例1：根据实际散热特点，
灵活解决器件的散热问题

案例2：器件的散热
措施与封装不匹配—
—散热设计事倍功半



提 纲

一、热设计基础知识

- 1、热量传递的三种基本方式
- 2、热阻的概念
- 3、接触热阻

二、器件热特性

- 1、认识器件热阻
- 2、典型器件封装散热特性
- 3、单板器件的散热路径

三、散热器介绍

四、导热介质介绍

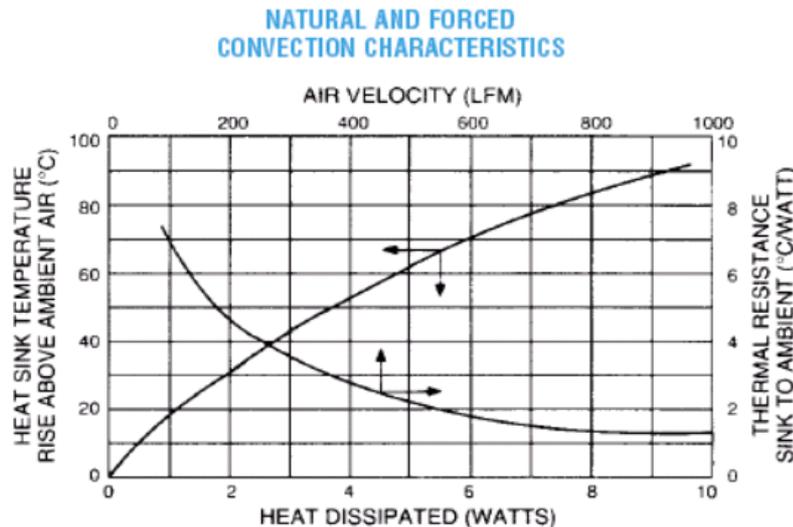
五、单板强化散热措施

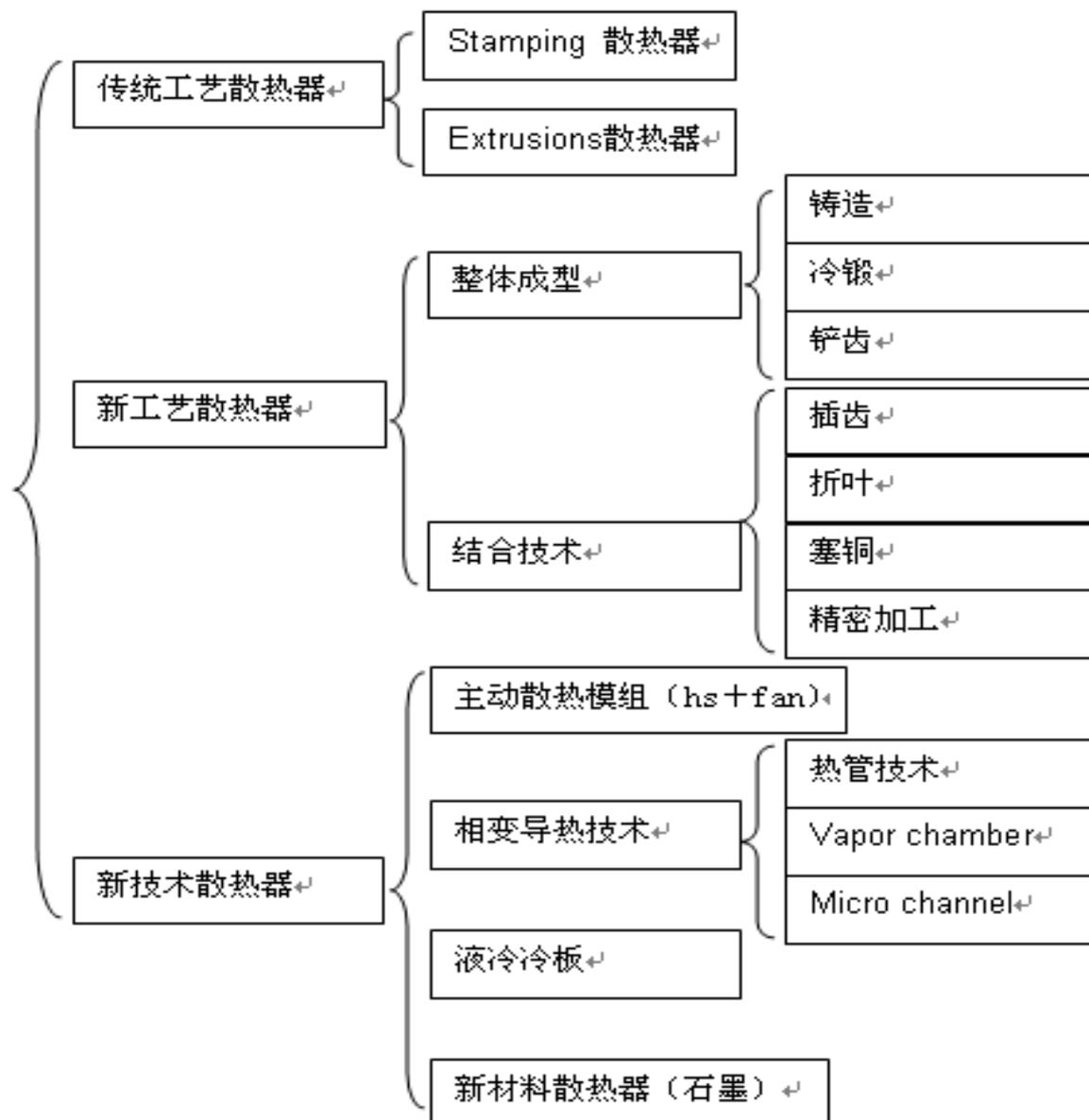
- 1、PWB热特性
- 2、PWB强化散热措施

六、单板布局原则

三、散热器介绍

散热器即为一散热扩展面，热阻表征其散热性能的优劣。



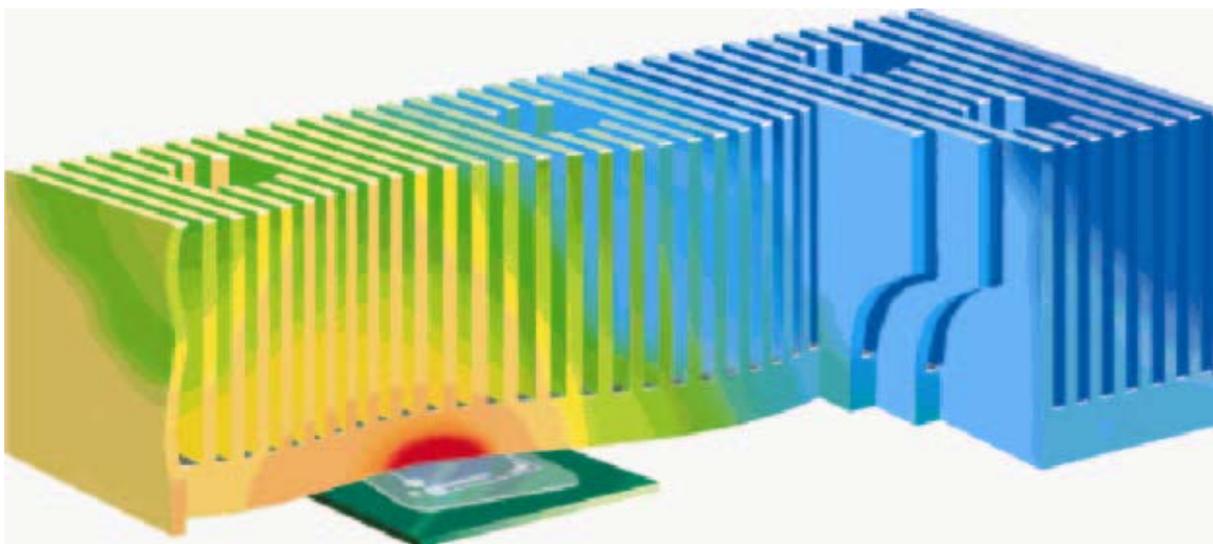


三、散热器介绍

如何提高散热器的散热能力？

1) 提高表面积A

提高表面积A而言就是要在相同空间内适当增大散热面积，新工艺散热器不断降低翅片厚度，提高翅片密度也主要是基于这方面考虑。



热管的作用是传热而不是散热，主要有两种用法：一种是把热量从一处传递到另外一处去散发，如CPU Cooler；另外一种是用于大散热器基板的均热，如RPA热管散热器。这两点在我们的单板上多需要更大的空间，因此用热管散热器有其局限性，特别是在器件密度较高的单板上。



2) 提高换热系数h

就提高换热系数而言，可以提高散热器表面流速，被动散热就是加大系统风速，主动散热就要提高板级风扇的流量；



3) 提高发射率

辐射散热能力提升主要通过提高散热器表面发射率来实现，常用方法是表面做涂漆、喷沙提高粗糙度、阳极氧化等措施。辐射对散热在自然散热条件下有一定影响，强迫空冷基本没有效果，并且一般散热器发射率的差异不大，在我们的产品中一般不作重点考虑

问题：

安装散热器都可以强化芯片散热吗？

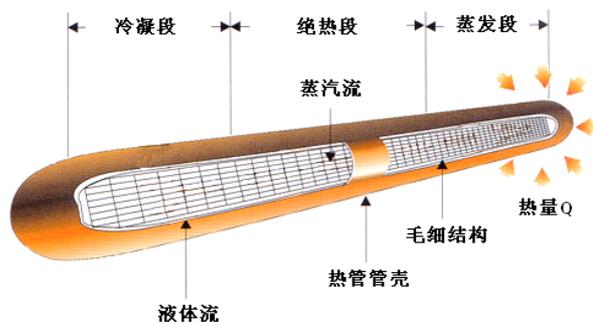
热管散热器设计与应用技术

技术应用背景：

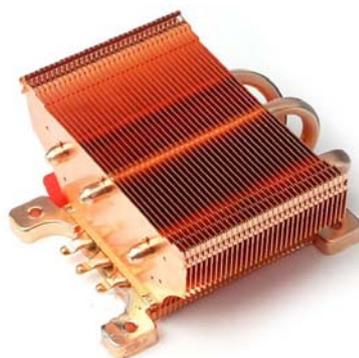
随着我司产品功能的不断拓展，整机及关键器件的功耗也快速上升。如光网络的NGSDH3500 / 7500交叉板上的SD585芯片，功耗达33W，在1m/s系统来流条件下散热器热阻需达1.2K/W的水平；波分拉曼光模块功耗达40W，最大允许壳温仅70℃，对散热器的热阻要求小于0.37K/W。针对上述应用场景，普通的铝型材、铜焊等类型的散热器已不能满足热阻要求，需要采用性能更加优越的新型散热器。

技术简介及应用场合：

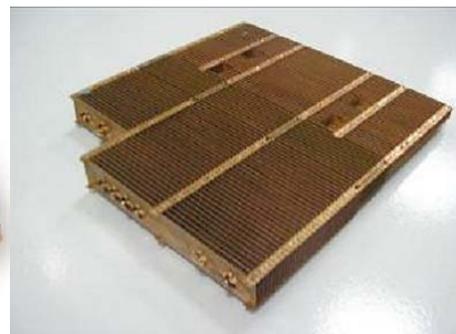
热管是一种依靠内部工质相变进行高效热量传递的导热元件，通过在散热器基板埋入及穿FIN等手段实现散热器基板的均温及提高翅片效率等，从而实现散热器整体性能的大幅提升。由于我司产品的槽位宽度窄，限制了散热器的可用高度空间，决定了大多数的应用是针对大功率器件的散热器基板均温形式的应用。



热管工作原理



常见热管散热器形态



热管散热器设计与应用技术

友商应用分析：

IT友商最早使用该类散热器解决诸如大功耗CPU、笔记本电脑CPU的远端散热等，技术成熟，应用可靠性高，成本也随着应用量的增长而快速降低，目前业界已开始广泛采用。

通信友商在其高功耗IC器件、高热流密度模块等应用场合也已采用这类散热解决散热问题。



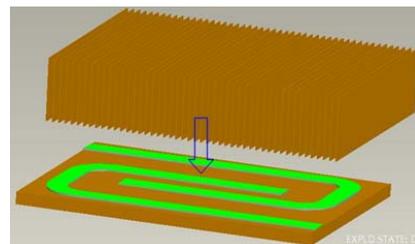
友商HP在其高性能服务器上所采用的热管散热器



笔记本电脑热管散热模组

我司技术研究及应用情况：

针对高性能热管散热器的应用需求进行了精细化研究，掌握仿真分析及测试技术，并建立了针对热管散热器的测试平台，对热管散热器的肋片间距优化和热管均温布局优化进行了深入研究，成果支撑光网SD585、拉曼光模块等的散热；ATCA服务器80W和95W CPU的散热中，散热器热阻达到 $0.35^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，并比优化前成本降低15%。



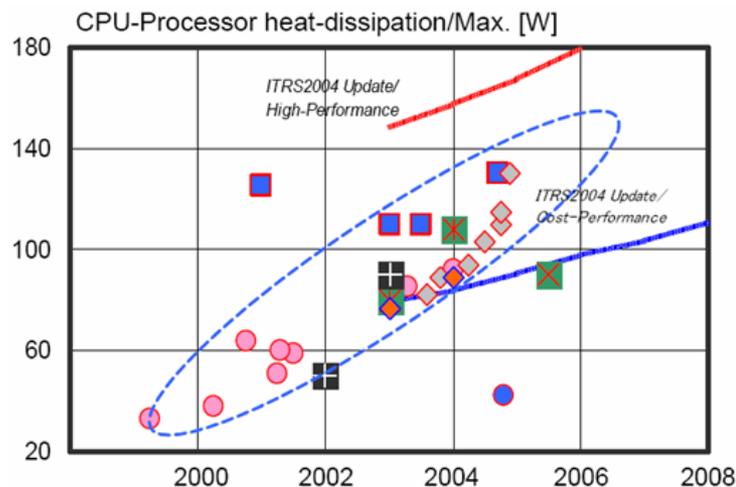
热管布局优化技术研究

蒸汽腔散热器设计与应用技术

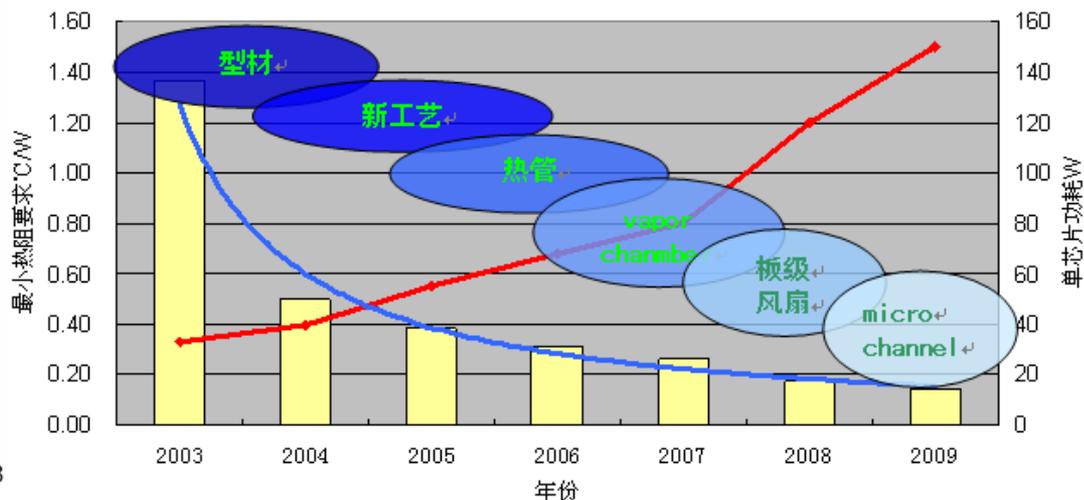
技术应用背景:

高性能刀片服务器和大功耗光模块等应用场合中，单个器件功耗大、散热器可用高度严重受限相应的给散热器设计与应用带来极大的挑战。

Intel、AMD等CPU厂商新近推出的性能优化双核、四核等服务器CPU（如Clovertown和Harpertown等）功耗都已达到120W甚至更高的水平；我司目前所用的波分40G光模块，其整体功耗为26W，其中单个器件最高功耗9W，散热器整体可用高度仅8mm。预研中的波分100G光模块总功耗提升至36W，将带来更大的散热挑战



ITRS芯片功耗路标



我司散热器应用路标

蒸汽腔散热器设计与应用技术

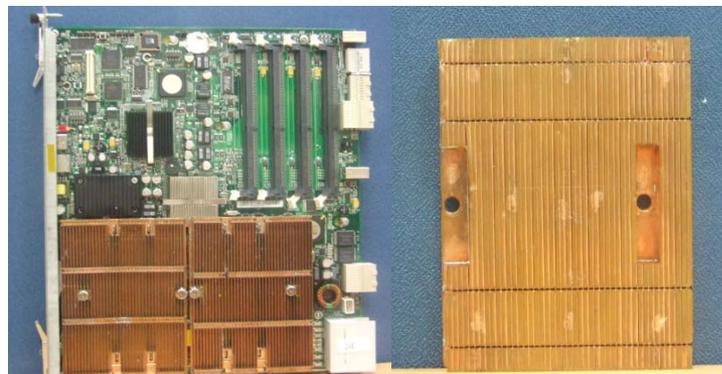
我司应用简介:

部门通过自行研究及对外合作样品试制已掌握该种新型散热器的设计与应用技术，包括多层导热仿真模型经验参数的设置、均温性测试技术，热阻网络分析及翅片优化技术等，明确了其在大功耗CPU、光模块等单个、多个局部热点的应用场景。通过掌握该新型散热器的设计方法，成功开发HWSA 80W VC散热器及40G光模块VC散热器，其中80W CPU VC散热器热阻达 $0.31^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，比相同尺寸的热管散热器热阻降低11.5%，重量减轻28.6%；40G光模块VC散热器已试制到货，正在测试验证中。

热管散热器与VC散热器在性能、可靠性、成本、重量等方面的对比。



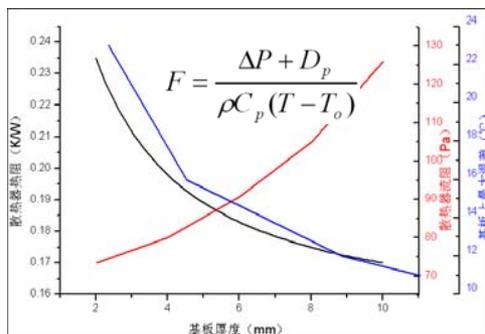
VC散热器均温特性红外成像测试



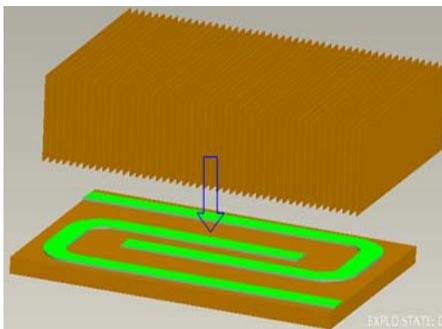
我司开发HWSA单板80W VC散热器热阻达 $0.31^{\circ}\text{C}/\text{W}$

高效散热器技术

- **散热器多维优化技术**，该技术通过开发流阻快速优化工具、矢量耦合翅片优化技术，制定散热器品质因数benchmark，实现对散热器热阻、流阻、结构尺寸、重量，基板均温性及翅片效率等多参数的快速联合优化，突破以往散热器仅优化热阻和流阻的局限。技术成果支撑光网PTN3900 PIU二极管散热器及OSN1900 X11芯片散热器的设计优化，温度改善达1.8℃和2.6℃，比友商Alcatel 1850对应散热器热阻性能提升30%；数通灵活插卡SD5401 30W芯片使用该技术优化后温度改善5℃，并支持芯片功耗比友商Cisco的灵活插卡产品提升20%；我司120W CPU散热器，优化后热阻改善9%，相比友商IBM服务器散热器，热阻性能改善15%。
- **梯度优化热管均温排布技术**，该技术针对双热管及四热管排布提出了nU的最佳排布形态，解决Low Profile应用形式的热管散热器基板均温布局难题，突破以往热管散热器设计中多凭经验和大量测试对比的局限。技术成果支撑我司CGA热管散热器、HWSA 80W热管散热器及SDNA 95W热管散热器等的设计、优化，平均热阻改善幅度达11.5%，相比友商HP Proliant D500系列高端服务器所用热管散热器，权重评价指标提升25%以上。



散热器多维参数联合优化，
120W CPU铜焊散热器热阻改善9%



梯度优化热管均温布局技术研究
针对两根热管的2U最优排布形态



80W 热管散热器，采用均温排布及翅片优化技术
热阻达0.35℃/W，并比优化前成本降低15%

提 纲

一、热设计基础知识

- 1、热量传递的三种基本方式
- 2、热阻的概念
- 3、接触热阻

二、器件热特性

- 1、认识器件热阻
- 2、典型器件封装散热特性
- 3、单板器件的散热路径

三、散热器介绍

四、导热介质介绍

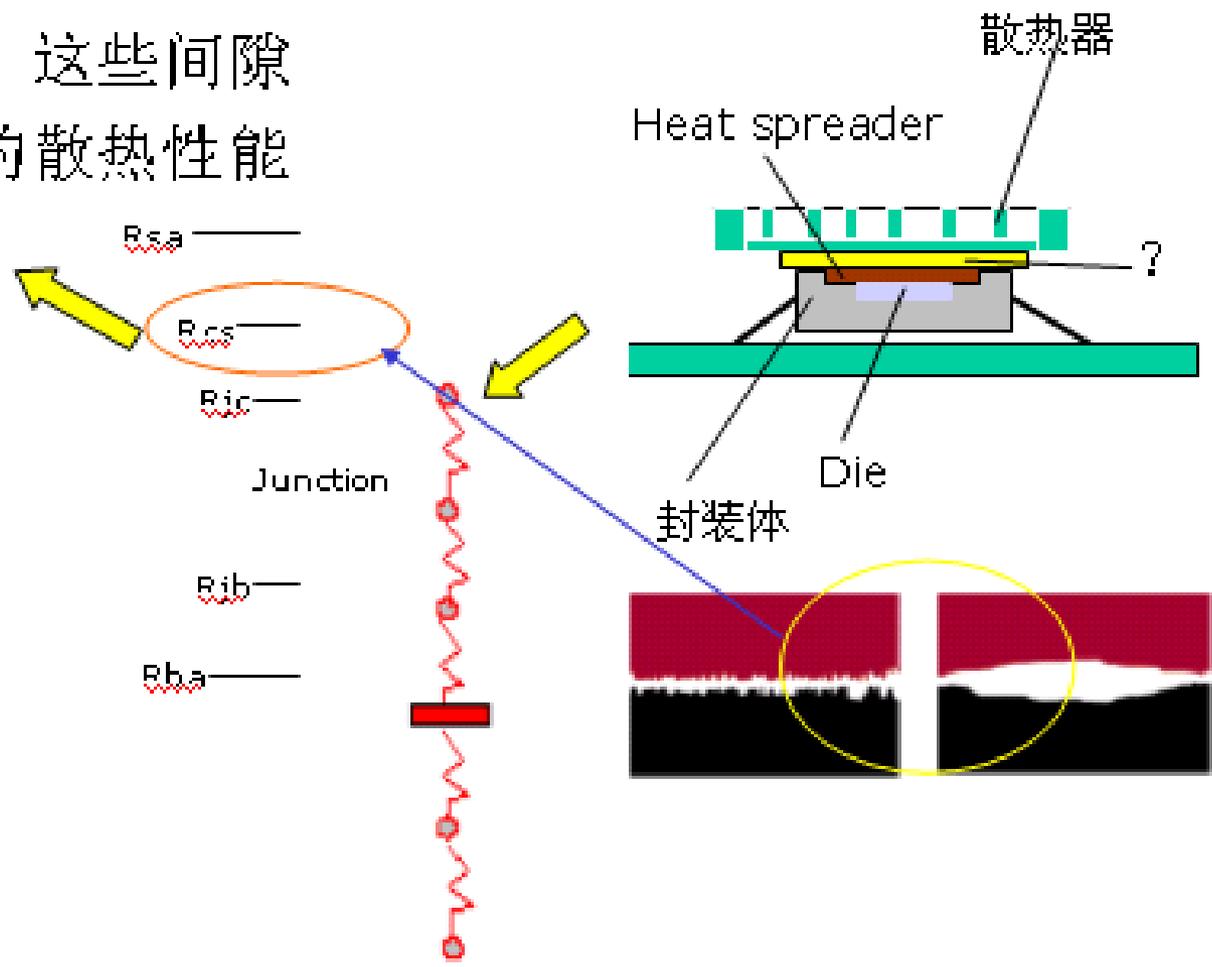
五、单板强化散热措施

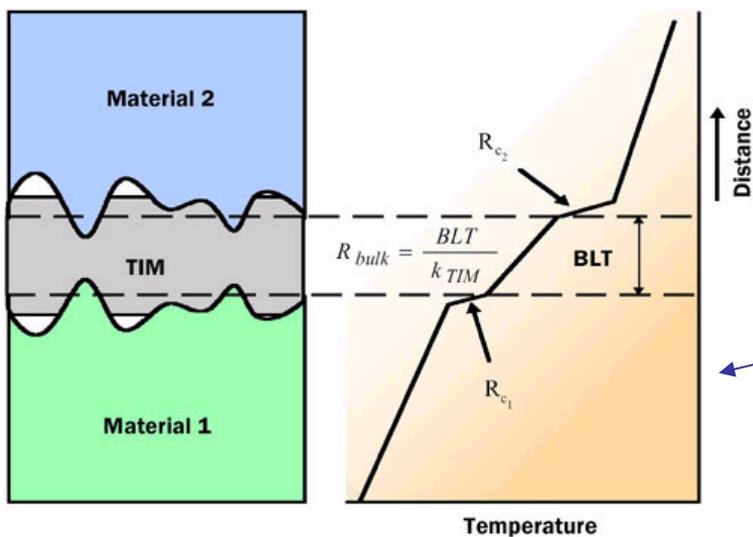
- 1、PWB热特性
- 2、PWB强化散热措施

六、单板布局原则

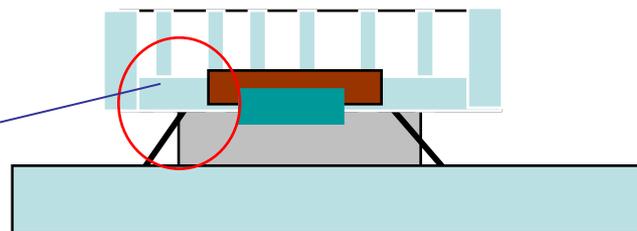
四、导热介质介绍

散热器和器件之间总存在间隙，这些间隙对于器件的散热性能影响大！



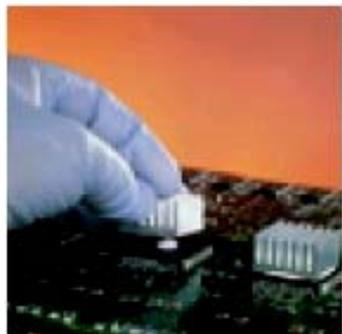


导热材料能填充界面间隙，降低界面热阻！



选择导热材料关注接触热阻（微小间隙填充能力）、材料导热性能以及实际使用条件。

导热材料分类： 为满足不同场合的散热需求目前很多导热材料厂家开发了各种各样的界面导热材料，根据界面导热材料的特点，可以大致分为以下几类：



——金属材料，如Sn/Pb焊料等

——导热（硅）脂类

——导热硅橡胶类，如导热垫等

——胶水类，如315胶等

——导热粘性模（带）类

——相变导热材料类

——混合物类（compounds）

——导热绝缘垫片（无弹性）

等等。。。

常用的界面导热材料——导热脂

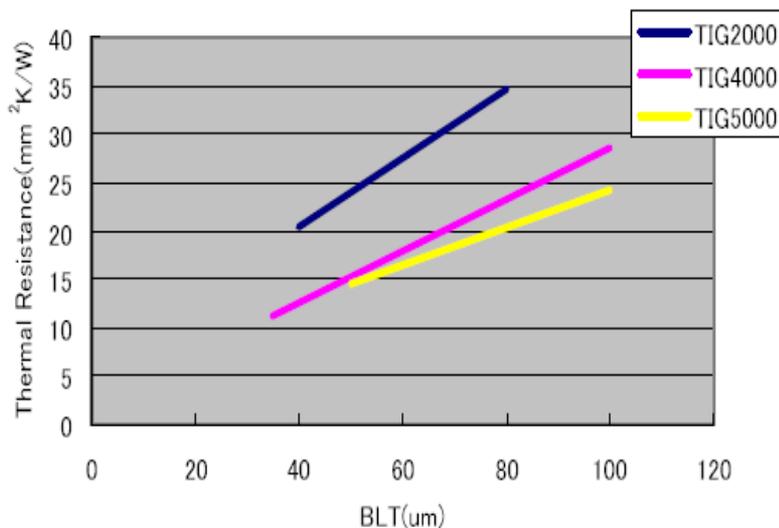
●通常由复合型导热固体填料、高温合成油（基础油如硅油），并加有稳定剂和改性添加剂调配而成的均匀膏状物质，常用的导热脂为白色，也有灰色或金色的导热脂等颜色。导热颗粒通常采用氧化锌、氧化铝、氮化硼、氧化银、银粉、铜粉等。



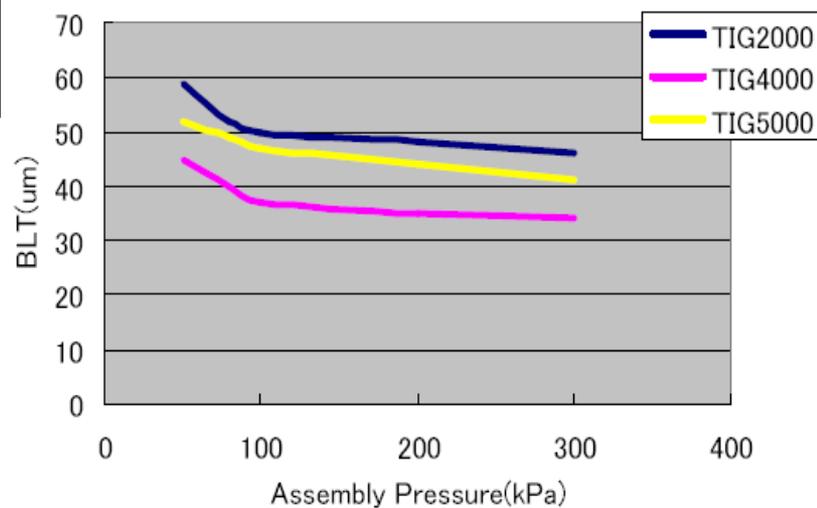
特点

- 1)为最常见的界面导热材料,常采用印刷或点涂方式进行施加。
- 2)用于散热器和器件之间,散热器采用机械固持,最主要的优点为维修方便,价格便宜。
- 3)因可以很好的润湿散热器和器件表面,减小接触热阻,所以其导热热阻很小,适合大功率器件的散热。
- 4)使用时需要印刷或点涂,操作费时,工艺控制要求较高,难度大。

导热脂厚度与性能的关系



热阻与硅脂厚度的关系图



硅脂厚度与组装压力的关系图

结论：厚度越薄，热阻越小，因此使用时要控制厚度

使用方法

- 导热硅脂使用前，需要用干净碎棉布沾酒精进行先将器件、散热器表面擦洗干净。
- 导热硅脂使用时要求采用钢片等印刷工装进行硅脂的印刷施加，如下图所示，可根据实际单板布局情况灵活选择印刷在器件或散热器上。

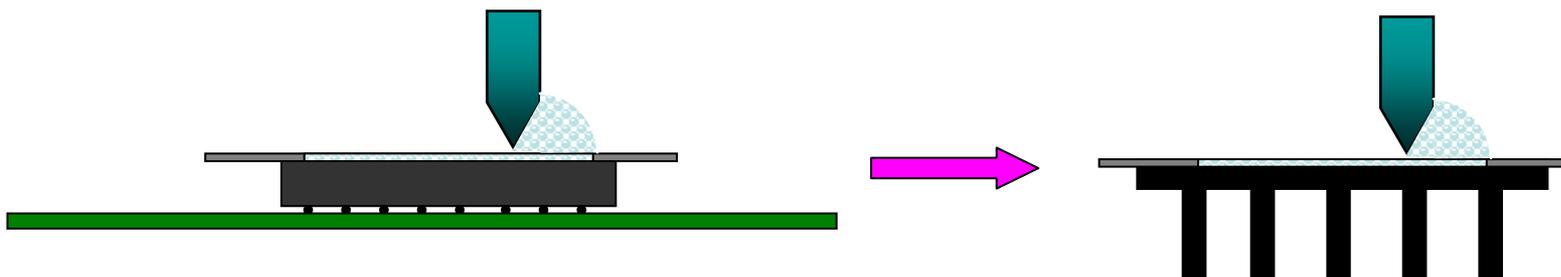


- 采用工装进行硅脂印刷时，需要对印刷面积进行控制。导热硅脂印刷涂覆面积推荐占器件与散热器总接触面积的**70%~80%**。

• 我司导热硅脂可印刷最小厚度为0.08mm，推荐印刷工装的钢网厚度采用0.08~0.12mm；对于平面度较差的装配，可适当增加钢网厚度。对于手工涂抹硅脂的器件，要求硅脂尽可能少

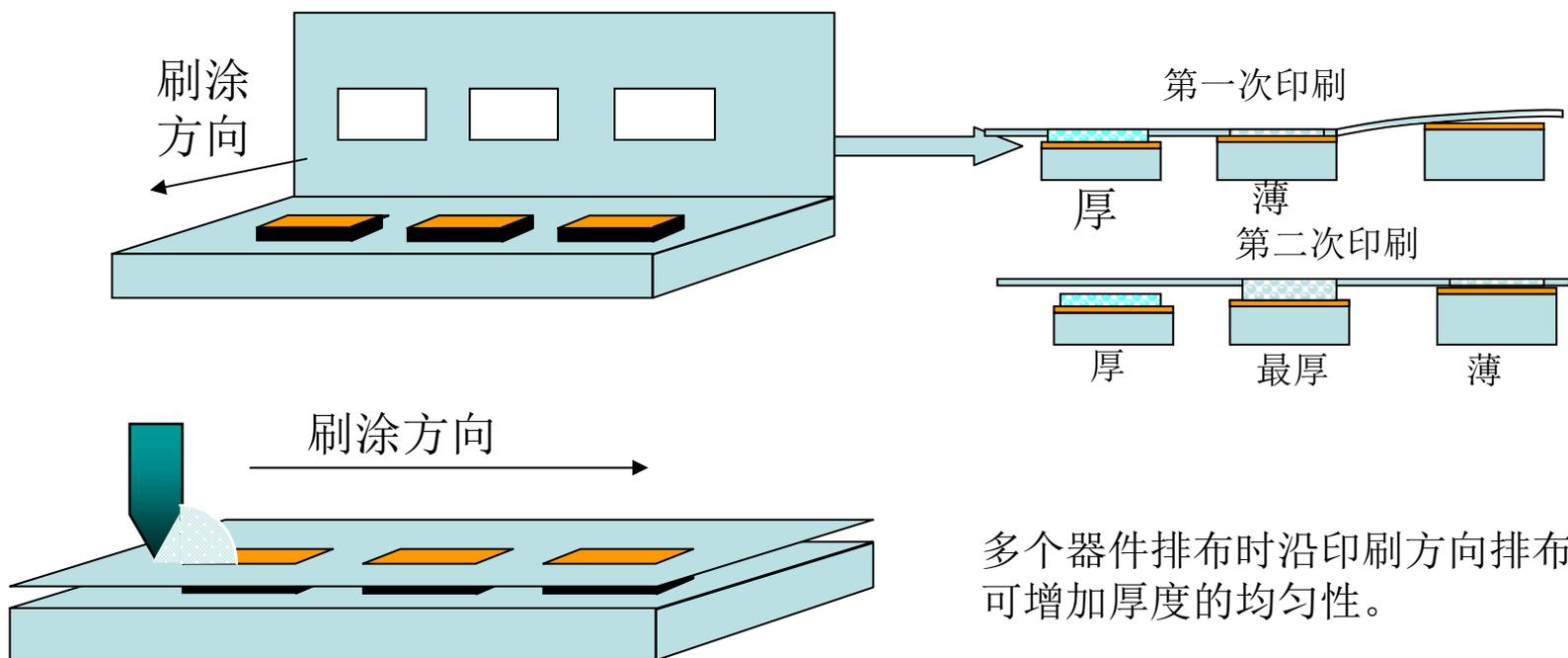
方法：钢片印刷

通过钢片厚度控制硅脂厚度



✓ 我司采用的硅脂涂覆方式，通常厚度控制在**0.05—0.15mm**

高导热系数导热硅脂应用时可通过合理设计工装，控制厚度，从而减小热阻，因此厚度控制工艺是导热硅脂应用的难点。



多个器件排布时沿印刷方向排布，可增加厚度的均匀性。

多个器件同时印刷，器件本体公差一致，造成厚薄不一样

使用注意事项

- 1) 导热硅脂本身是绝缘介质，但是由于施加的层薄，难以避免固体凸点的接触，通常需要绝缘的地方不能使用导热硅脂。
- 2) 为获得较好的接触性能，**安装时需要一定的紧固力 (>5psi)**。
- 3) 硅脂在使用时都会有硅油渗出，造成硅油污染，不适合周围有裸露触点的继电器的场合。

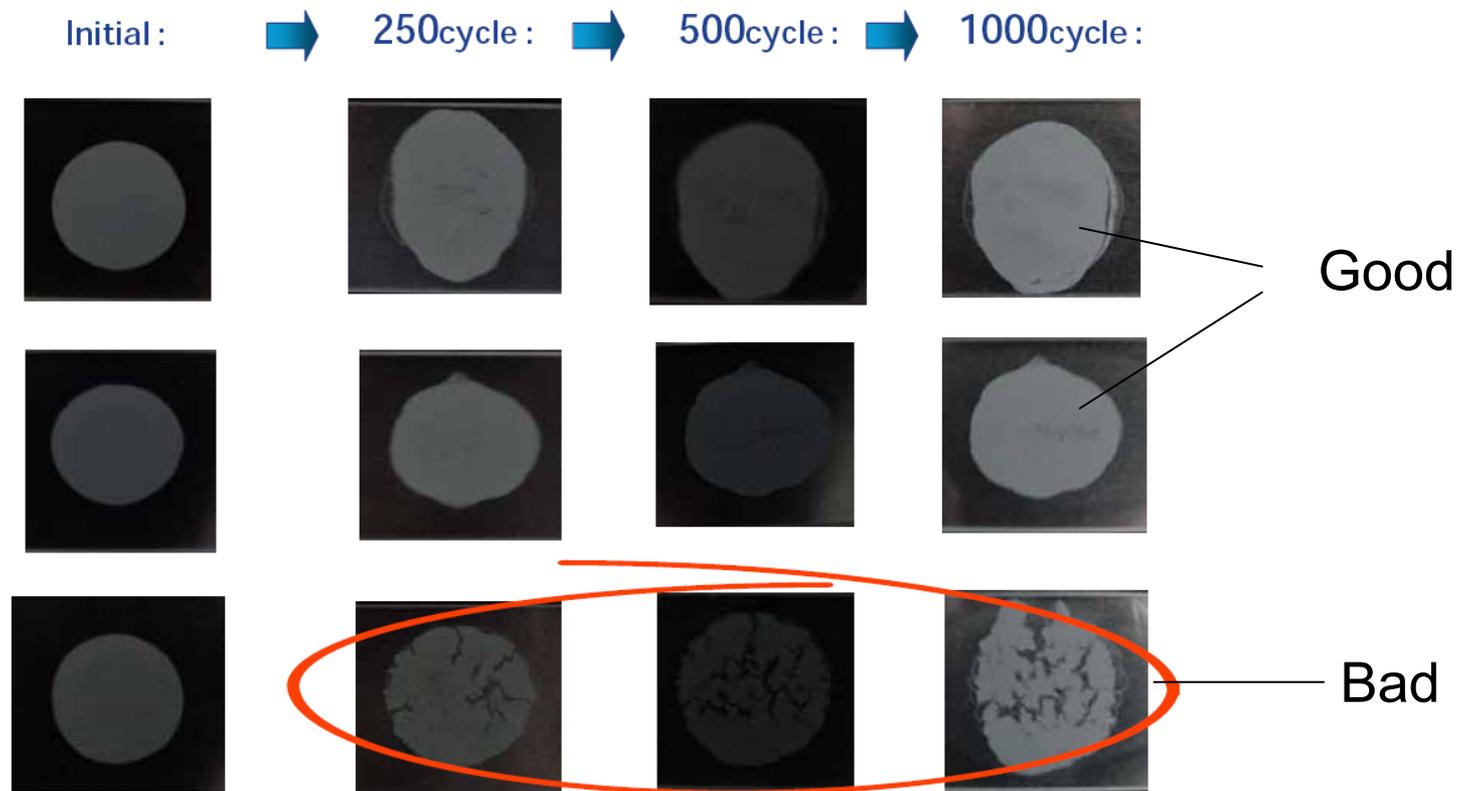
使用方法详见《结构工艺规范库》数据库中的导热材料存储与使用规范！

我司认证合格的导热脂

注：导热性能越好，成本越高。

supplier	型号	我司编号	导热系数 (W/mk)	35mm × 35mm封装材料成本估计(RMB)
DOWCORNING	DC340/KD-3	90010052	0.55-0.6	0.1
DOWCORNING	SE4490CV	90010078	1.7	0.8—1.5
GE—TOSHIBA	TIG2000	90010078	2	0.8—1.5
GE—TOSHIBA	tig4000	90010091	4	3—4
DOWCORNING	TC5021	90010090	3.3	2—3

导热硅脂的稳定性



Thermal Aging 125°C

常用的界面导热材料——导热胶

- **简介：**主要由胶粘剂与导热颗粒组成，施加前是膏状混合物，施加后在一定的时间和条件下分子交连，固化。常用的导热胶按照胶体类型来分可以分为：环氧树脂系（Epoxy based）、丙烯酸系（Acrylic based）、有机硅系（silicone based）。按照组份分单组份、双组份。

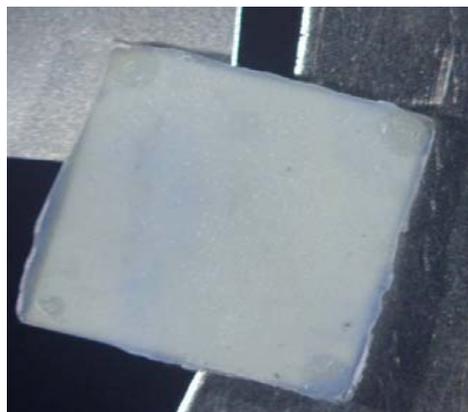
导热胶：我司目前生产采用的导热胶为丙烯酸系导热胶Loctite315

315 导热胶的特点

- ✓ 具有较好的粘结作用，不需机械固持；
- ✓ 双组分，但无需混合，一边涂胶，一边涂固化水，具有使用方便，常温固化，固化条件简单、固化速度快等优点；
- ✓ 导热系数低（约**0.8W/mk**），只适合用于小功率器件的散热；
- ✓ 导热界面层的厚度一般在**4~5mil**之间；
- ✓ 可返修；
- ✓ 对散热器表面状态敏感，表面污染的器件或散热器的结合力弱；
- ✓ 现场工艺控制严格，胶层太厚或固化水太多都会影响结合力。

我司认证合格的导热胶性能特点:

供应商	型号	我司编号	热导率 (W/m. °C)	使用温度范围 (°C)	性能特点	固化条件
LOCTITE	315	9002008 0	0.808	-40~125	双组分胶, 需要固化, 使用时厚度控制在4-5mil不需要额外的机械固定方法	用7387催化剂, 在20°C条件下5分钟初始固化, 在4-24小时完全固化



315导热胶的使用方法

- 1、首先用酒精擦拭芯片和散热器粘接面；晾干（约1min后即可）
- 2、采用0.12mm的导热胶印刷工装，涂胶方式推荐为固化水涂在散热器上，导热胶涂在芯片表面。
- 3、采用干净的毛刷在散热器上刷涂固化水，不超过2滴，使粘结面有润湿的痕迹即可。然后待固化水挥发15s—1min后（不能超过30min），组装上散热器。
- 4、采用5-10N的压力，从中间均匀挤压散热器，以使胶层均匀分布，实现良好的粘结层；
- 5、固化时，采用压块工装施加约1psi的压强，以控制胶层的厚度在0.15mm以下；
- 6、一般情况下，40min后，315胶的粘接强度可达到完全固化的80%；24h后，315胶可完全固化。

备注：

❑ 芯片表面凹凸不平的特殊情况（例如FCBGA），则芯片表面也需要先涂固化水之后再涂胶。

❑ 存在某些芯片因周围器件干涉，无法使用手持式刷胶工装将315胶涂在芯片上，可使用翻盖工装，将315胶涂在散热器上。禁止手工刷胶。

——315胶的详细使用事项参见《导热胶存储与使用规范》

我司对导热胶的性能要求

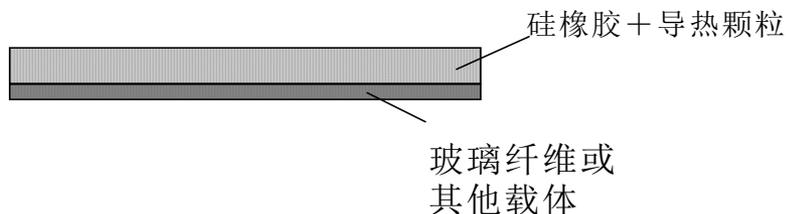
- ✓施工性能：容易涂布，与我司现有印刷工艺兼容
- ✓绝缘性能：导热胶必须绝缘
- ✓固化特性：在供应商所给的条件能完全固化，固化条件和时间要方便操作。
- ✓剪切强度：剪切强度高，使用时无需额外的机械固持。（Min 200psi）
- ✓抗振动：通过标准的震动试验（以满足在运输过程中，散热器不掉件）
- ✓耐温性：在使用温度下仍具有一定的强度，保持散热器不掉落。
- ✓返修要求：可返修
- ✓环境适应性：满足GR3108环境可靠性要求

常用的界面导热材料——导热垫

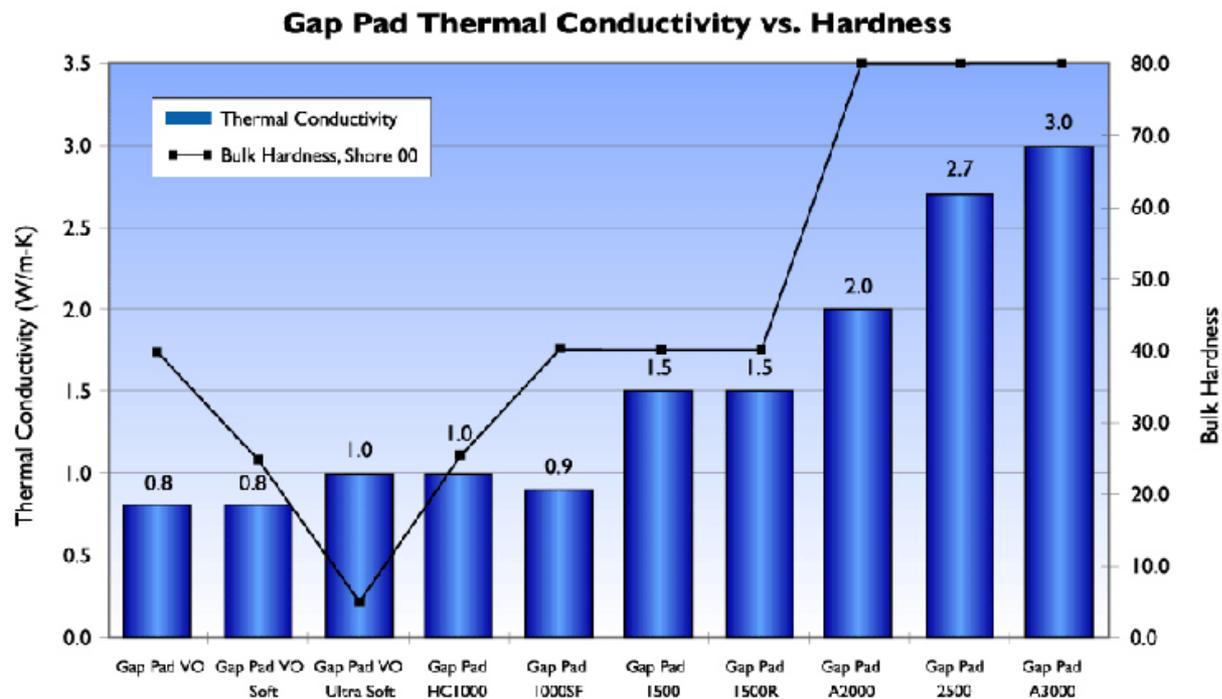
- **主要应用及特点：**
 - ✓ 主要用于当半导体器件与散热表面之间有较大间隙需要填充，
 - ✓ 或几个芯片要同时要共用散热器或散热底盘时，但间隙不一样的场合，
 - ✓ 或加工公差加大的场合，表面粗糙度较大的场合。
 - ✓ 同时由于导热垫的弹性，使导热垫能减振，防止冲击，且便于安装和拆卸。



弹性导热垫



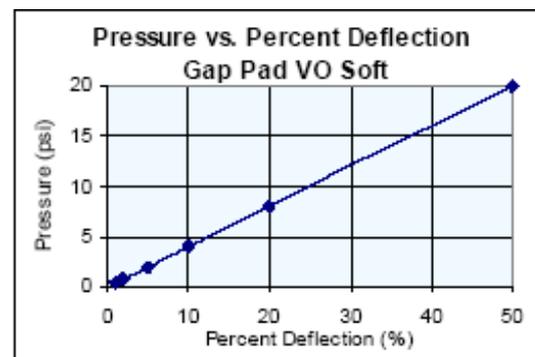
导热垫(Thermal conductive Gap pad)



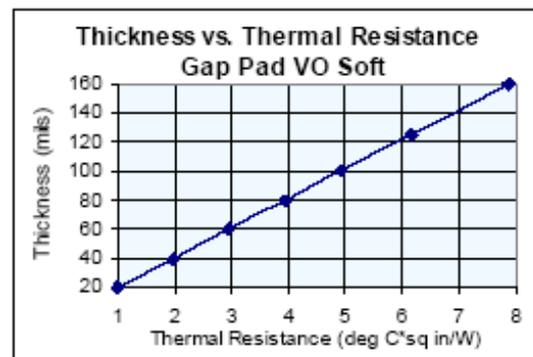
常见导热垫的导热系数与硬度

- 通常情况下，对于相同导热系数的材料，硬度越低的导热垫，对应的界面热阻也就越低。

导热垫使用时需要一定的安装力，选用时需要考虑芯片的承受能力



压缩量越大，热阻越小



压缩量越大，最终厚度越小，热阻越小

我们公司认证的导热垫一般用在芯片与结构件进行直接接触导热，或光电转换模块上用到的激光驱动器与结构件及屏蔽罩进行直接接触导热。

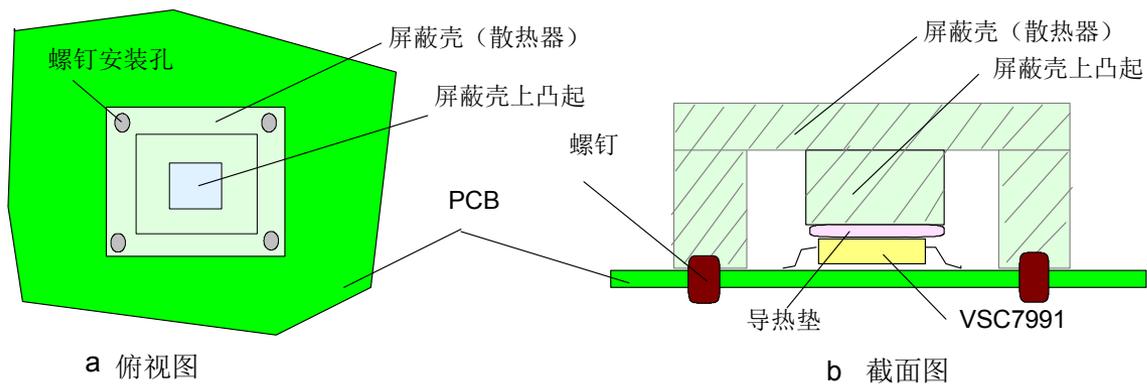
Gap pad 3000s比Gap pad vo soft贵，一般情况下，导热系数越高，成本越高。

供应商	型号	我司编号	导热系数 (W/mk)	性能特点
Bergquist	Gap pad vo soft	90010076— 90010085	0.8	需要机械固持，可压缩到50%， 推荐压缩量不要超过30%
Bergquist	Gap pad 3000S30 厚度 0.5mm,2.5,0.25	90010086— 88	3	需要机械固持，可压缩到50%， 推荐压缩量不要超过30%

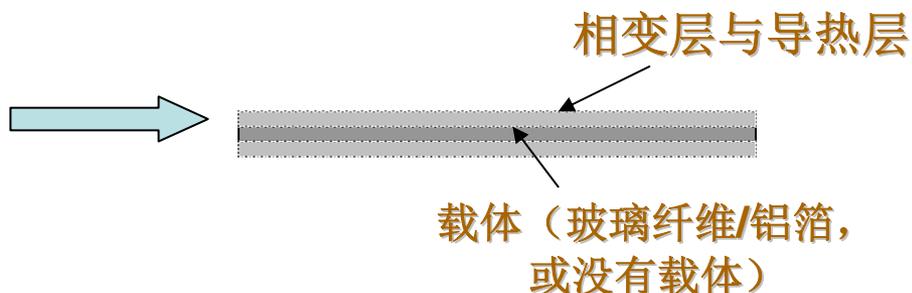
我司对导热垫的性能要求和主要检测项目：

- 1) 导热系数和热阻：热性能满足要求
- 2) 硬度：优先选用硬度较低的材料
- 3) 绝缘性能：要求耐压满足产品需求（一般3KV）
- 4) 阻燃：要求材料阻燃级别达到V1及以上
- 5) 油离度和出气量：满足Bellcore标准要求，越低越好

●应用案例



常用的界面导热材料—相变导热膜



功能特点:

- 1) 具有一定的相变温度：一般在40—70度之间，
- 2) 使用时需要机械固定，一般需实现5~20psi的界面压力，
- 3) 热阻最低可以达到 $0.01^{\circ}\text{C}\cdot\text{In}^2/\text{W}$ ，适合用于大功率器件的界面导热，
- 4) 材料厚度一般在3—5mil之间，
- 5) 可分为绝缘型和非绝缘型两大类，绝缘型的可以使用于需要绝缘的场所。

- **相变导热膜的优点：**

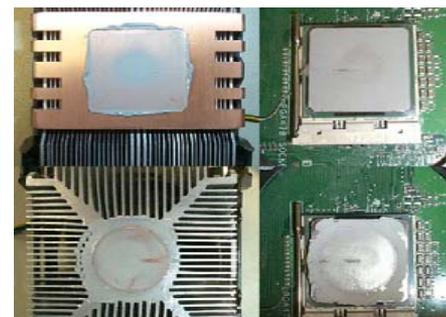
- 可根据安装环境，制备成合适的尺寸，便于安装，效率和利用率高，组装成本较低；
- 多为石蜡及其改性材料，环保无污染，满足环保要求；
- 具有较低的热阻、相变特性、触变性、优良的润湿性；绝缘特性，可以适合于有绝缘要求的界面。
- 厚度一定，热阻可控性好。

- **相变导热膜的缺点：**

- 无粘结作用、需机械固持；
- 使用过程中需发生相变，方可很好的润湿界面。

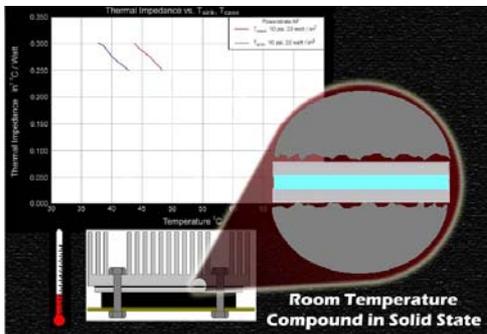


样品示例

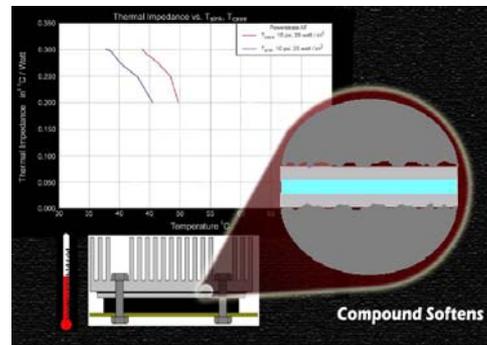


使用示例

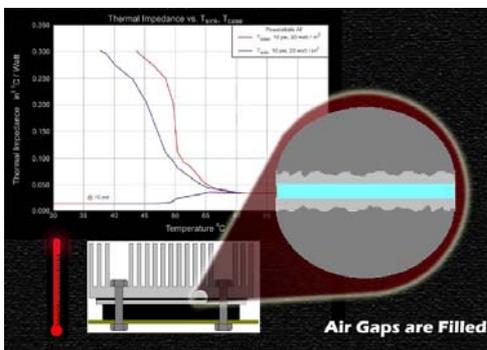
相变膜发生相变过程



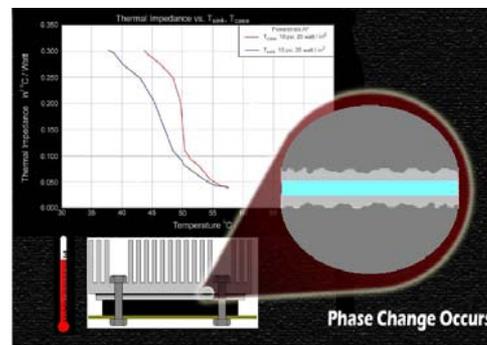
Process1: 刚组装上相变膜时，接触界面有较大的空隙存在；



Process2: 随着相变材料的逐渐软化，界面的空隙逐渐被相变材料填充；



Process4: 相变完全后，界面的空隙被填充，界面的热量传输通道增加，热阻降低。



Process3: 随着界面温度达到相变点，相变发生，界面形成良好润湿；

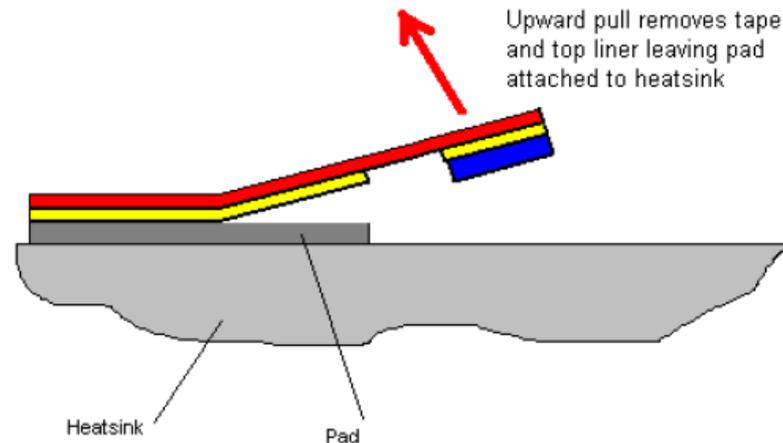
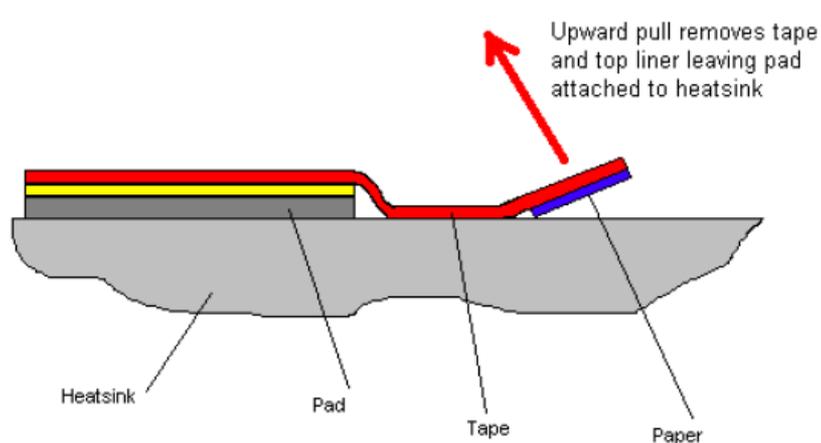
绝缘型相变膜的关键性能特点

产品型号	厂家	相变温度 (°C)	材料热阻 (°Cinch ² /W)	合适安装压 力(psi)	阻燃性	绝缘强度
HF625	Bergquist	65	0.71	10~20psi	V0	5000 Vac
HF300P	Bergquist	55	0.13	10~20psi	V0	4000 Vac
Tgon-k52	Larid	52	0.15	10~20psi	V0	7800Vac

非绝缘型相变膜的关键性能特点

产品型号	厂家	相变温度 (°C)	材料热阻 (°Cinch ² /W)	阻燃性	合适安装压力
HF-225U	Bergquist	55	0.08	V0	5~20psi
Tgon-A152	Larid	52	0.03	V0	5~20psi
Tpcm-905c	Larid	50-70	0.048	V0	10~20psi
T557	Chomerics	43/65	0.010	V0	10~20psi

相变导热膜应用方法示例



Step1: 将相变膜贴在散热器或器件上;

Step2: 垂直力撕去离心纸;

Step3: 组装好器件，拧紧螺钉，完成组装即可。

- 对于中间有载体，不需离心纸保护的相变膜，根据预先制定好的形状，直接将相变膜置放在器件或散热器的指定部位，安装好螺钉即可。

我司对导热相变导热膜的要求

- ✓ 绝缘性能：绝缘型相变膜要求绝缘耐压满足产品要求
- ✓ 相变温度：易于操作，等于或低于我司一器件的壳温
- ✓ 材料本身容易操作，方便组装
- ✓ 可拆卸、返修
- ✓ 热阻低，满足不同功率器件的界面传热需求
- ✓ 热阻稳定性：高温或温度循环条件下要求热阻稳定，

供应商	型号	导热系数 (W/mk)	厚度	35mm × 35mm器件成本估计 (RMB)
Chormerics	T557/T558	0.010 °Cinch ² /W	0.125mm	11.00/8.00
其它几种类型		0.03- 0.7°Cinch ² /W	0.125mm	1.5

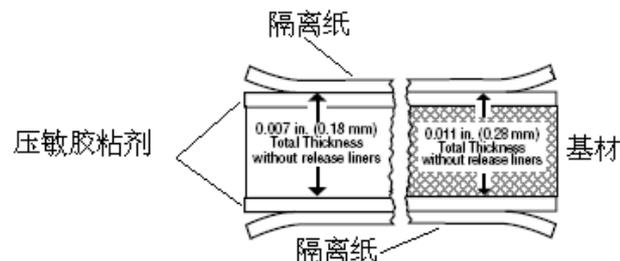
常用的界面导热材料——导热双面胶带

定义：胶带是胶粘剂中特殊类型，将添加有导热填料的胶液涂于基材上，形成双面胶带状的界面导热材料。双面胶带可分为溶剂活化型、加热型和压敏型。导热双面胶带绝大部分属于压敏胶粘带。

组成：压敏胶粘剂、基材、底层处理剂、背面处理剂和隔离纸

主要特点：

- 1、可根据界面形状灵活制备各种形状
- 2、具有较好的粘结力，某些场合下可以取代螺钉固定
- 3、导热系数一般较低，多用于小功率器件
- 4、操作方便简单



业界应用情况:

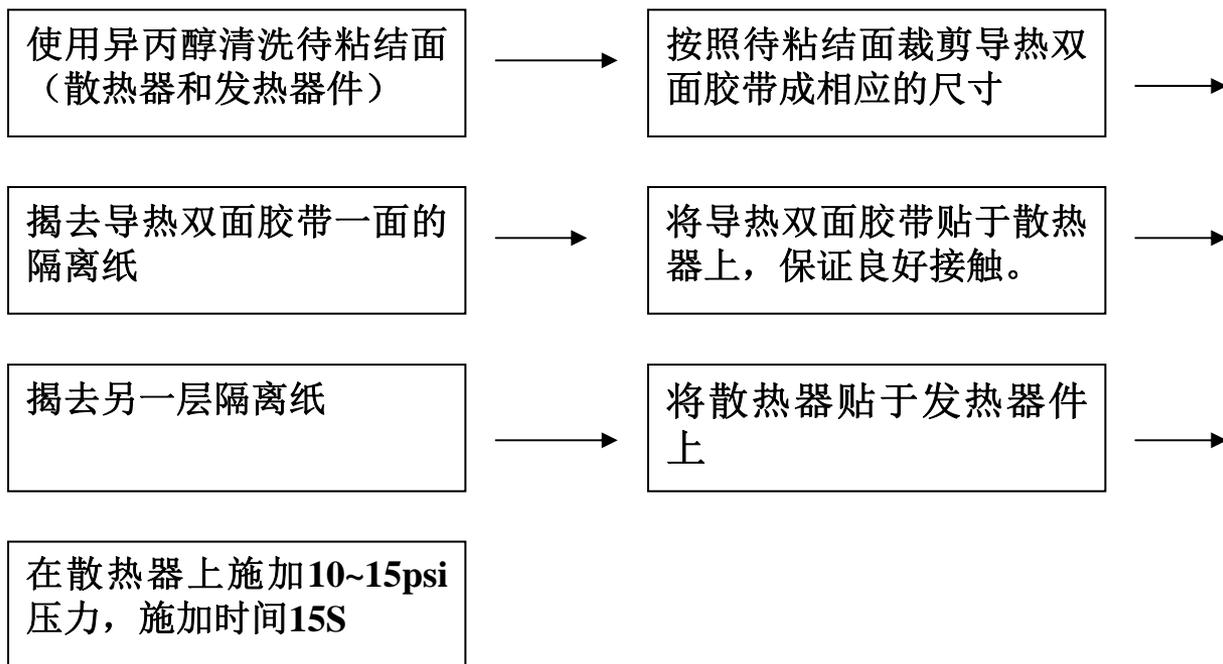
Case1: Alcatel T7324上采用导热双面胶带作为界面导热材料, 在散热器两边对角点硅胶加固。

Case2: HPDL380G3系列服务器所有散热器皆用导热双面胶带作为界面导热材料, 散热器上有一些小螺钉, 如下图所示:



HPDL380G3系列服务器 使用导热双面胶带

- 导热双面胶带的应用流程和要求：



应用要求：

- 1、待粘结的表面必须很平整，平整度小于0.025mm/mm。
- 2、为提高粘结的可靠性，需增加其他简易辅助固定措施。

提 纲

一、热设计基础知识

- 1、热量传递的三种基本方式
- 2、热阻的概念
- 3、接触热阻

二、器件热特性

- 1、认识器件热阻
- 2、典型器件封装散热特性
- 3、单板器件的散热路径

三、散热器介绍

四、导热介质介绍

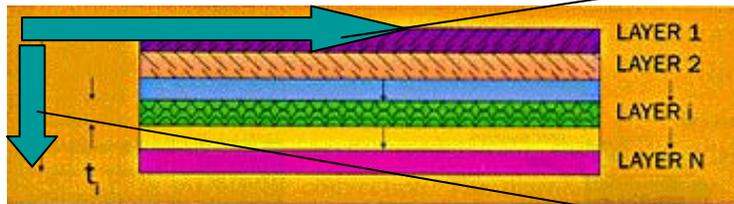
五、单板强化散热措施

- 1、PWB热特性
- 2、PWB强化散热措施

六、单板布局原则

1、PWB热特性

- 1) FR4导热系数 $0.3W/(m*K)$,铜导热系数 $380W/(m*K)$ 。
- 2) PWB是FR4和铜组成的分层复合结构，由于Cu与基材导热性能的差异，多层PCB基板导热特性为各向异性，整体的导热系数是各向异性的，相似的材料如石墨、木材。
- 3) 在PWB平面方向导热系数高，一般范围在 $10\sim 45W/(m*K)$
- 4) 在PWB法线方向导热系数很低， $0.3W/(m*K)$ 附近。



$$\kappa_{In-plane} = \frac{\sum_{i=1}^N \kappa_i t_i}{\sum_{i=1}^N t_i}$$
$$\kappa_{Through} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{\sum_{i=1}^N t_i / \kappa_i}$$

2、PWB强化散热措施

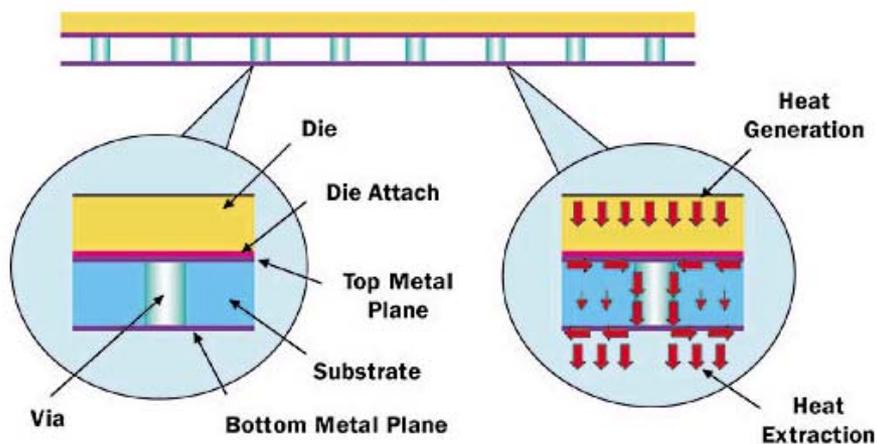
针对PWB的特点，PWB强化散热的核心思路为：

- 1、把器件的热量传递到PWB内部，减少器件向PWB的传热热阻，可采取的强化散热措施是：
 - 在单板上打过孔
 - 在单板表面铺铜皮
- 2、把PWB一点积聚的热量（从器件传入的）扩散到整体PWB的表面，再通过对流和辐射传递到外界环境中，可采取的板级强化散热措施是：
 - 增加单板含铜量，降低热量在单板平面方向传递的扩展热阻。

1) 散热过孔设计

散热过孔主要作用是层与层之间的热连接以及增加法向上的导热能力。

单考虑过孔是没有意义的，因为热量必须从四周汇集到过孔的位置，因此必须考虑过孔区域整体的传热情况。



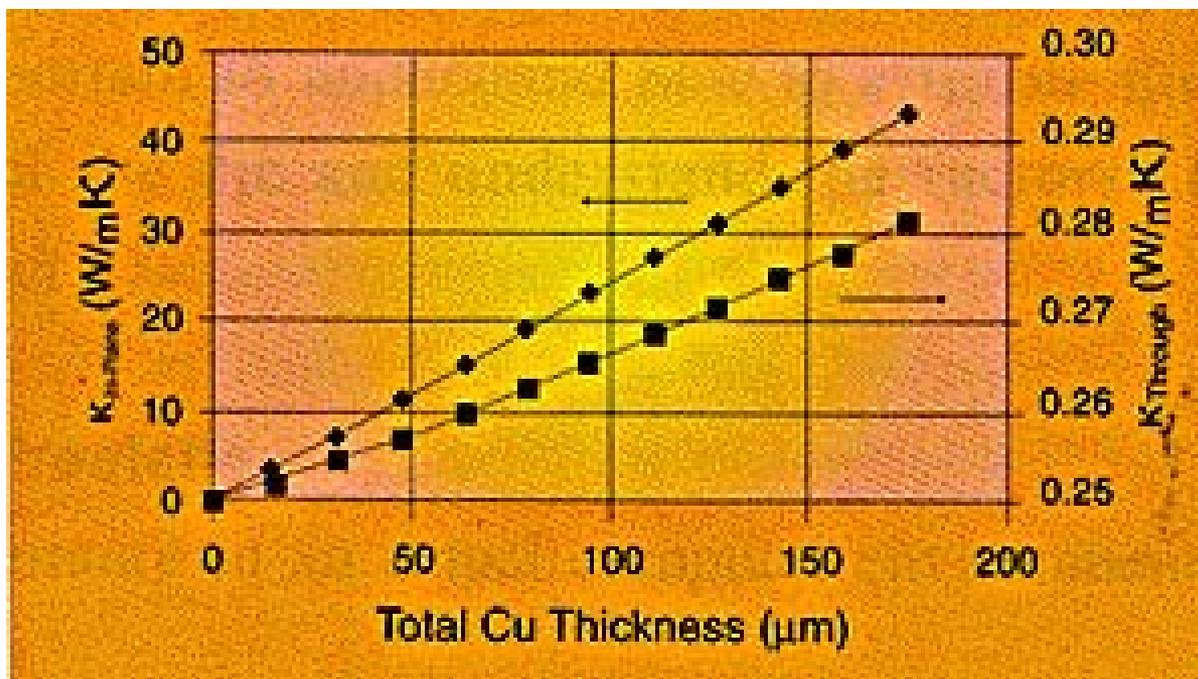
- 单纯从导热系数的分析看，是否塞孔对导热系数影响很小。
- 不塞孔容易产生漏锡，焊接面有空穴。焊锡漏到背面影响平整度。
- 从实际的热测试对比看，三种处理方式的散热效果排序为：
- 塞焊锡>塞阻焊>不塞孔

PWB上设计有大量的过孔，但对于热设计来说，真正起到散热作用的只有器件PAD底部的过孔和器件接地管脚旁边的几个过孔，这部分过孔的设计就非常重要。过孔的作用是把器件的热量传递到器件正下方的PWB内，并不能实现热量在PWB内的扩散。增加过孔的数量可以降低器件与PWB的传热热阻，但是过孔达到一定量后对散热的改进幅度会降低，另外过孔设计也收到单板工艺能力的限制，可以通过热分析优化确定过孔的数量。

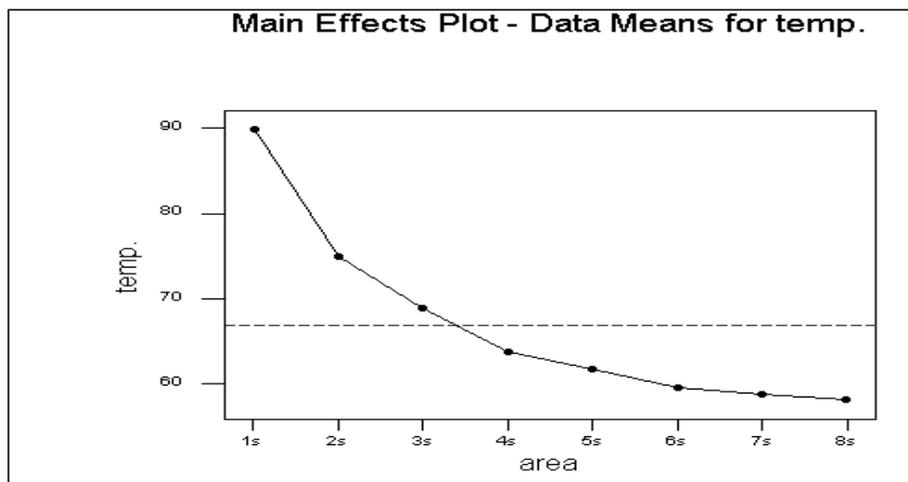
测试和分析研究表明，散热最优的过孔设计方案为：孔径10~12mil，孔中心间距30~40mil，也可以根据器件的热耗水平和温度控制要求对过孔数量进行优化

PWB铜皮的作用是把局部传入PWB的热量扩展到更大的范围内，因此增加铜皮的厚度可以增强传热效果。PWB内铜皮只有连续的铜皮才能起到传递热量的作用，因此需要注意铜皮的分割。

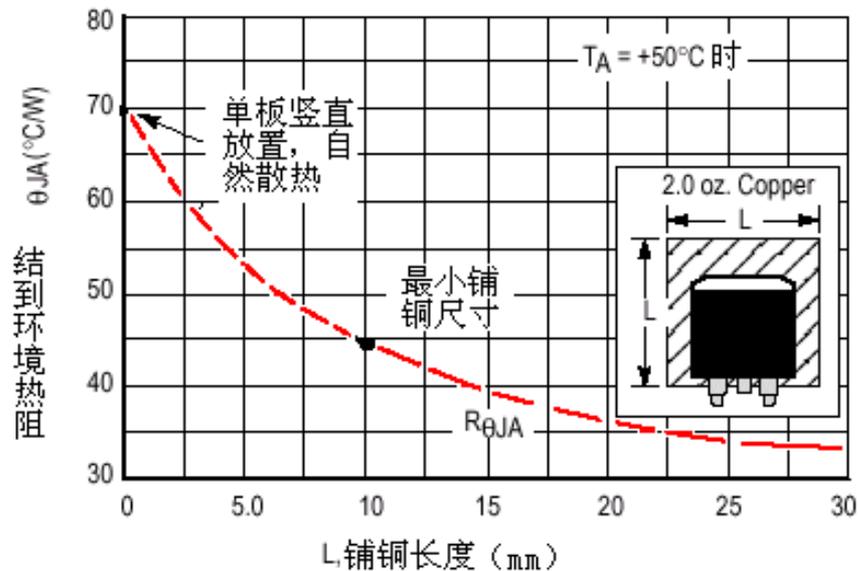
2) 增加散热铜箔的层数、铜箔厚度对于平面方向的导热性能改善高于法向方向上导热性能的改善。



增加散热铜皮面积，对底部
散热型器件的散热能力增强。



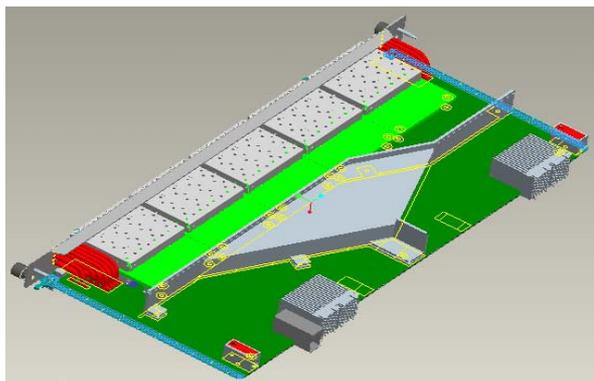
D2PAK封装热阻与PCB铺铜长度的关系



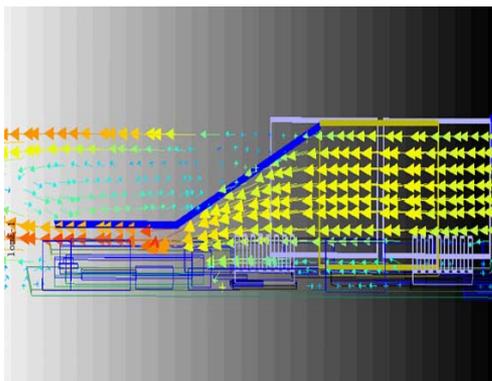
面积增加对器件散热能力改善有效性有范围。

板级流量管理技术

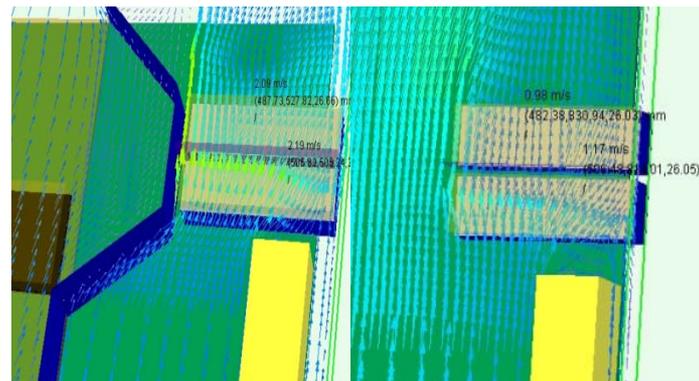
- **局部交叉风道技术**，通过二次引入冷却气流强化后端级联器件散热，实现流量按需分配，降低单板上器件的级联效应50%。该技术解决了UTP 40个双层级联光模块的散热难题，比原系统支持光模块数量增加28个，友商尺寸规格单板目前只支持24个光模块的级联使用。目前该项技术在数通NE40应用，可以达到CISCO的出线阵列数量的最高水平。光网6800高密排布单板中准备应用该技术。
- **旁流抑制技术**（Bypass Control Technology, BCT），通过开发漏斗形进风口、导流板等气流管理模块，实现对特定器件区域的局部强化，以利用气流的冲刷效应达成改善HOTSPOT器件散热的目的。该技术在满足同等系统功耗条件下，可降低风量需求15%。该技术在光网6040系统LOM单板上应用，使电源模块温度降低达25℃，解决瓶颈散热问题；数通NE40E-4系统Lanswitch单板采用该技术后光模块壳温对比降低达10℃，支撑数通单槽位450W散热能力；



局部交叉风道技术，支持UTP平台40个双层级联光模块散热，比原系统支撑能力提升230%



光网络6040系统LOM单板采用旁流抑制技术改善电源模块温度20℃



数通NE40E-4 Lanswitch 单板使用旁通抑制技术后光模块区域气流流速增加110%，壳温降低10℃

提 纲

一、热设计基础知识

- 1、热量传递的三种基本方式
- 2、热阻的概念
- 3、接触热阻

二、器件热特性

- 1、认识器件热阻
- 2、典型器件封装散热特性
- 3、单板器件的散热路径

三、散热器介绍

四、导热介质介绍

五、单板强化散热措施

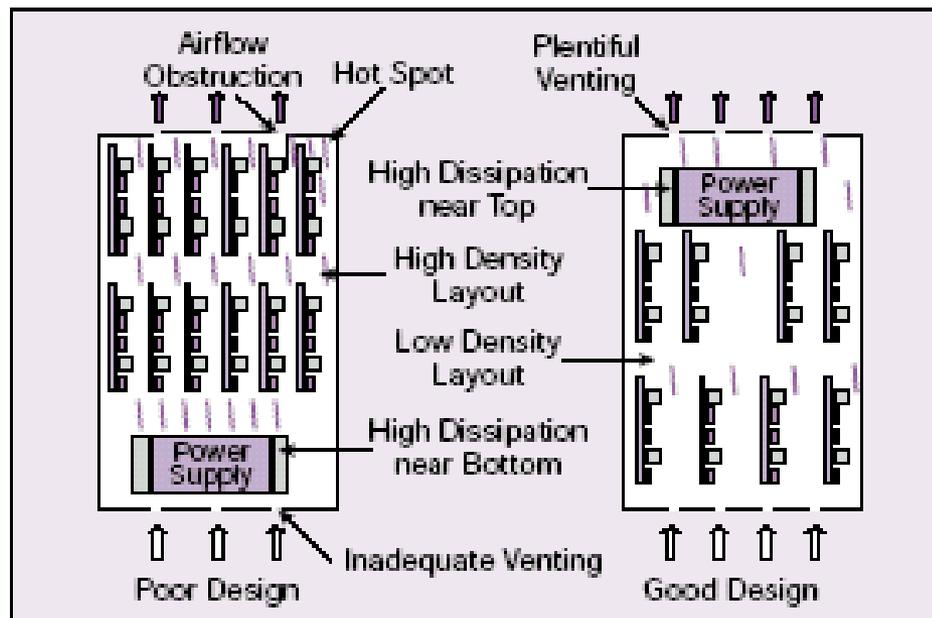
- 1、PWB热特性
- 2、PWB强化散热措施

六、单板布局原则

六、器件布局原则

1、基本原则

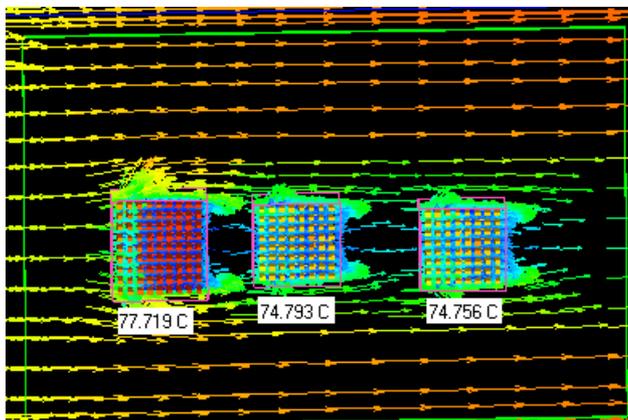
- 1) 发热器件应尽可能分散布置，使得单板表面热耗均匀，有利于散热。
- 2) 不要使热敏感器件或功耗大的器件彼此靠近放置，使得热敏感器件远离高温发热器件，常见的热敏感的器件包括晶振、内存、CPU等。
- 3) 要把热敏感元器件安排在最冷区域。对自然对流冷却设备，如果外壳密封，要把热敏感器件置于底部，其它元器件置于上部；如果外壳不密封，要把热敏感器件置于冷空气的入口处。对强迫对流冷却设备，可以把热敏感元器件置于气流入口处。



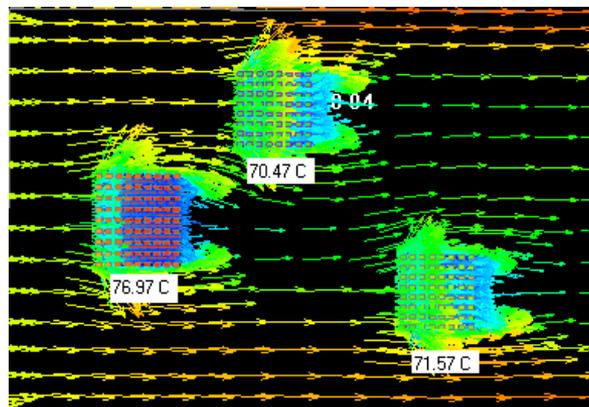
2、强迫风冷的器件布局原则

- 1) 参考板内流速分布特点进行器件布局设计，在特定风道内面积较大的单板表面流速不可避免存在不均匀问题，流速大的区域有利于散热，充分考虑这一因素进行布局设计将会使单板获得较优良的散热设计。
- 2) 对于通过PWB散热的器件，由于依靠的是PWB的整体面积来散热，因此即使器件处于局部风速低的区域内，也并不一定会有散热问题，在进行充分热分析验证的基础上，没有必要片面要求单板表面风速均匀。

- 3) 当沿着气流来流方向布置的一系列器件都需要加散热器时，器件尽量沿着气流方向错列布置，可以降低上下游器件相互间的影响。如无法交错排列，也需要避免将高大的元器件（结构件等）放在高发热元器件的上方。



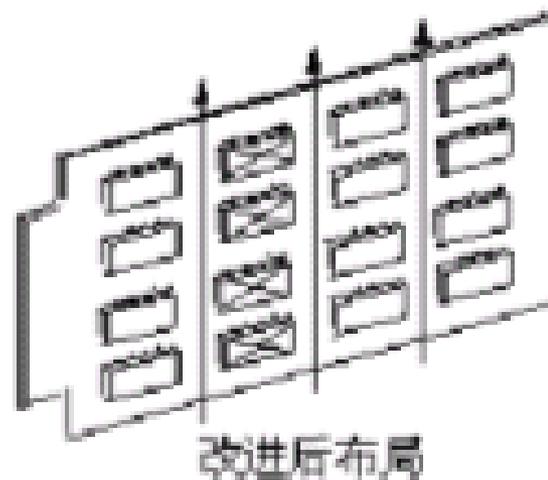
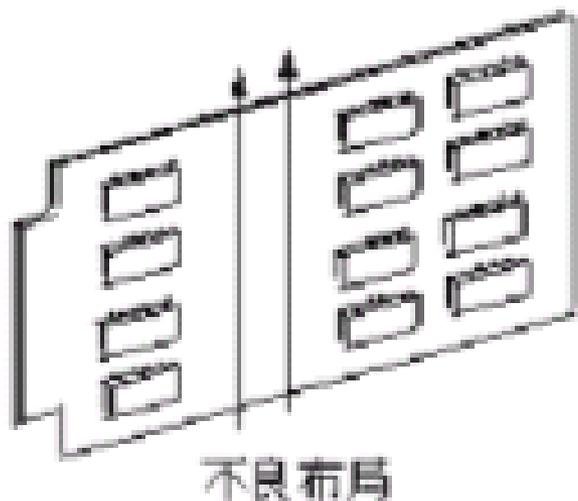
优化前布局



优化后布局

4) 对于安装散热器的器件，空气流经该器件时会产生绕流，对该器件两侧的器件会起到换热系数强化作用；对该器件下游的器件，换热系数可能会加强，也可能会减弱，因此对于被散热器遮挡的器件需要给出特别关注。

5) 注意单板风阻均匀化的问题：单板上器件尽量分散均匀布置，避免沿风道方向留有较大的空域，从而影响单板元器件的整体散热效果。



单板改良布局案例（一）

1. 网络产品单板

硬盘和CPU是散热关键瓶颈

单板槽间距2.4inch，Ta: 45°C/55°C

CPU: 35W，Tc: 70.8°C/85°C

硬盘: 6W，Tc: 50°C/60°C

仿真分析（Ta: 45°C）：

早期布局（硬盘在下游）：

CPU: 65°C，硬盘: 61°C

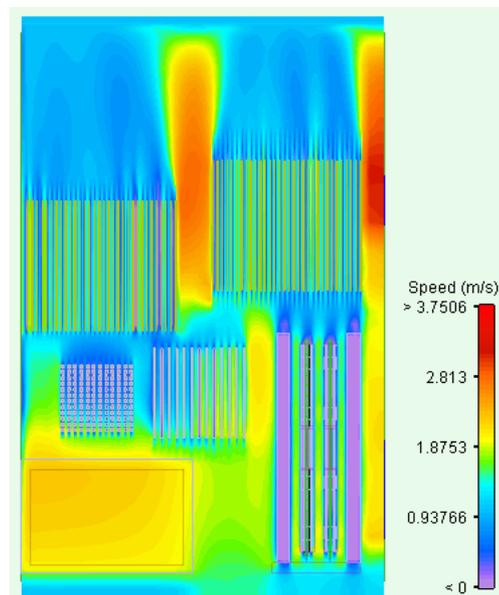
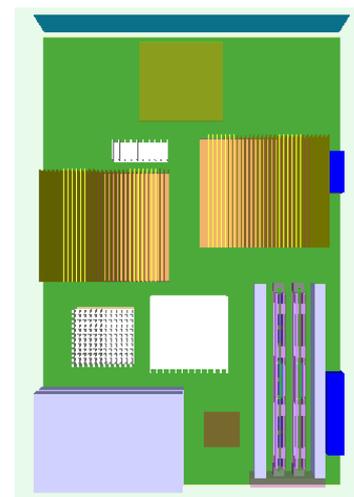
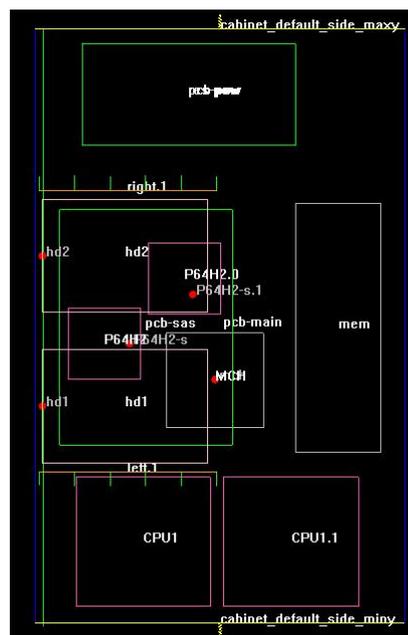
调整后布局（硬盘在进风口处，叠加）：

CPU: 69°C，硬盘: 53°C

实测：Ta: 45°C，CPU: 65°C，硬盘49°C（按典型业务）

案例要点：

布局时考虑温度敏感器件、大功耗器件、高大器件的权衡。



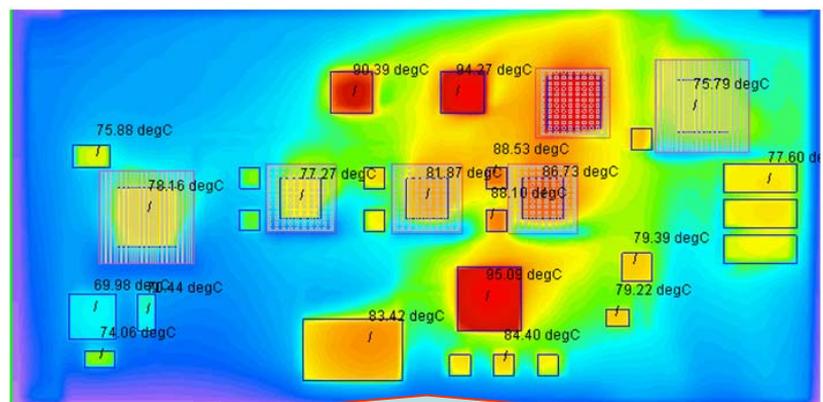
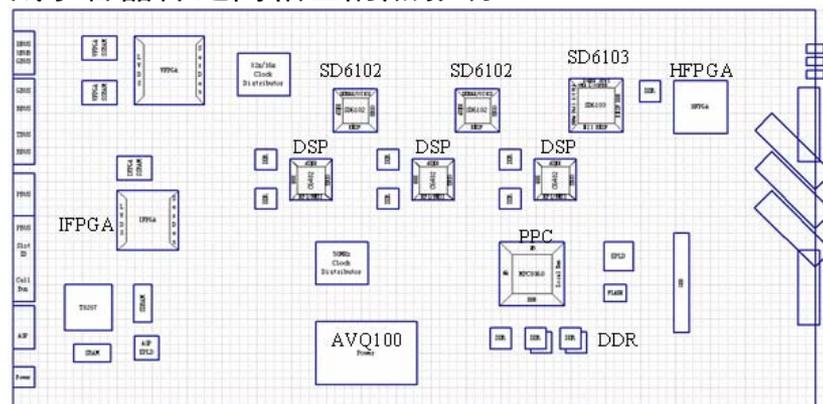
单板改良布局案例（二）

2、无线BTS3812E EBBI基带单板

EBBI单板尺寸为233.35mm×460mm，总热耗72.2W。使用1个电源模块供电，电源模块热耗7.23W；单板上DSP、FPGA和SD6103加装散热器。

系统散热风道是从下到上，器件按垂直风道方式排列，以减小各器件之间相互的热影响。

芯片名称	单个芯片功耗 (W)	许可温度(°C)	仿真温度(°C)
DSP	3.8	90	max 87
SD6102	3.6	100	max 96.1
SD6103	6.56	100	96
PPC 8360	5.6	100	95.6
IFPGA	6.72	84	78.3
HFPGA	3	79	76
DDR2	0.5	85	max 88
EPLD	0.5	130	79.5
FLASH	0.35	85	79.3
T8207	1	85	70.2
AVQ100	7.2	95	83.4
PCB	均布11.38W		74

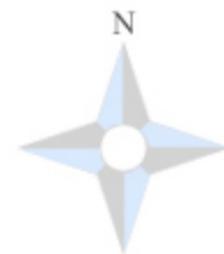


散热通风

Thank You

www.huawei.com

- 1号线
- 4号线
- 8号线
- 13号线
- 机场专线
- 2号线
- 5号线
- 10号线
- 八通线



图上站点、线路均可点击
并且链接到站点详细页面 >>

