

功率器件

PCB Layout 热设计指导

在电源电路的设计中热设计是重要的,是和 PCB 设计同样重要的要素。设计完成以后发生了问题将花费很多时间和成本进行整改。因此,在 PCB 设计的初级阶段开始做好热设计的准备是必要的。在这篇应用笔记中,记载了 PCB 设计时降低热阻的关键点。

从现在开始改变 PCB 的关键参数,查看热阻的变化。以 JEDEC STANDARD JESD51 作为基准,记载了 1 层、2 层、4 层各个实测热阻值。然后,确认上述实测值和仿真值的一致性,记载不符合 JEDEC 基准的 PCB 热阻的仿真值。

PCB 材料、布局、器件放置、封装形状、周围环境的影响热阻值的变化,导致测量值与真实值不一致。因此,不要看数值的绝对值,请参考热阻值的变化趋势。

铜箔面积

Figure 1 是单层 PCB 铜箔面积变化时的热阻曲线。

如同 Figure 2 一样通过 PCB 布局改变铜箔的面积。随着散热的铜箔面积增大,热阻值降低。铜箔面积达到某种程度即使再增大,也不能获得与面积相应的散热效果。Figure 3 是等高线图,可以看出随着与热源距离的增加,相同温度区域增加,散热效果降低。

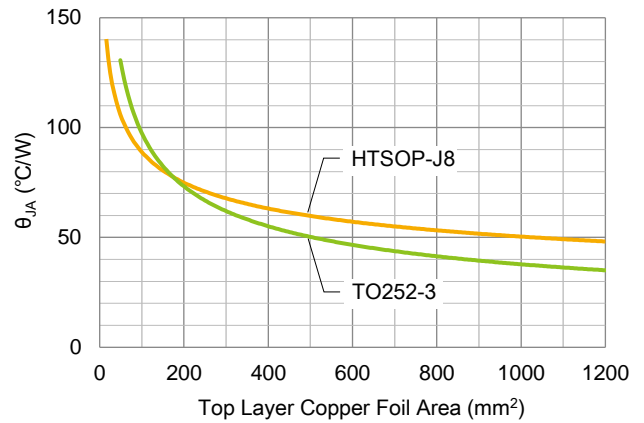


Figure 1. 单层 PCB 铜箔面积变化时的热阻曲线

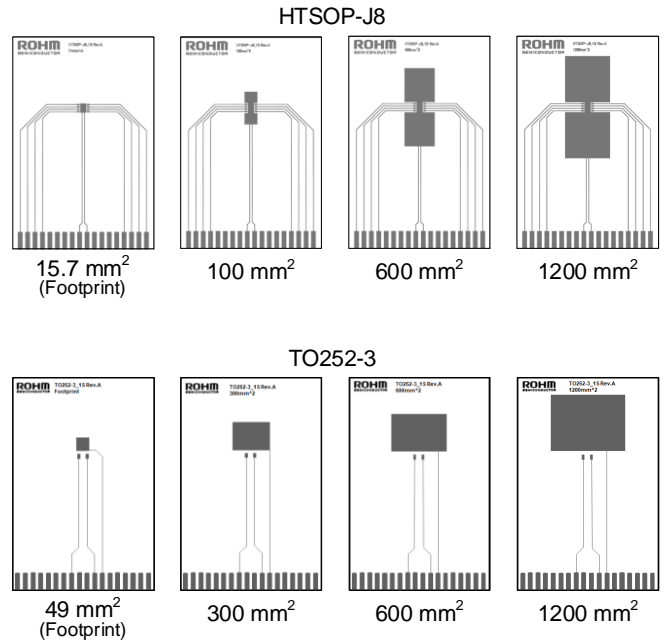
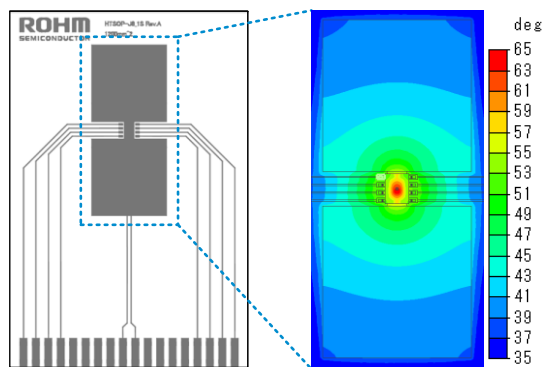


Figure 2. 单层 PCB Layout

HTSOP-J8



TO252-3

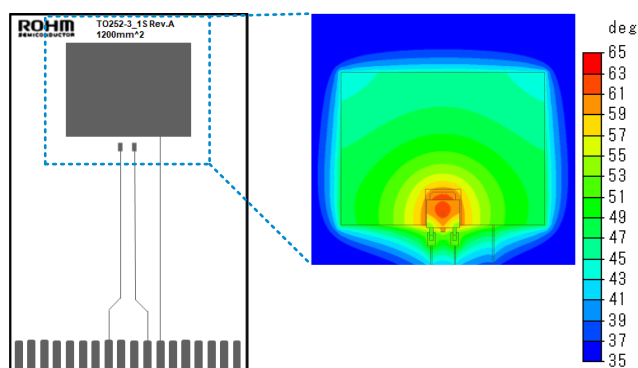


Figure 3. 单层 PCB 等高线图

接着，我们来看一看多层板热阻的变化。Figure 4 是改变铜箔面积时的热阻曲线。Figure 5 作为 Layout 代表的例子，展示的 2 层板和 4 层板。6 层板和 8 层板以 4 层板作为标准。纵向构造如 Figure 6 所示。通过散热孔把 PCB 从 Top layer 到 Bottom layer 贯通。中间层和散热孔是否连接取决于层数，因此请参阅每个图。

多层板的热阻变化和单层板相同。随着散热用的铜箔面积的增大，热阻降低。可是增大到某种程度以上，也不能获得和面积相应的效果。

2 层板和 4 层板之间的热阻差异很大。由于过孔是纵向结构 (Figure 6), 相对于 2 层板从热源开始通过 1.6mm 的过孔向 Bottom layer 传输热量，4 层板从热源开始，通过短距离的过孔向 Middle layer 1 传输大量的热量。总之，从热源开始到最近的散热铜箔之间，距离近的过孔的长度变短，热阻变低。由于 6 层板和 8 层板的距离更短，热阻也相应的更低。

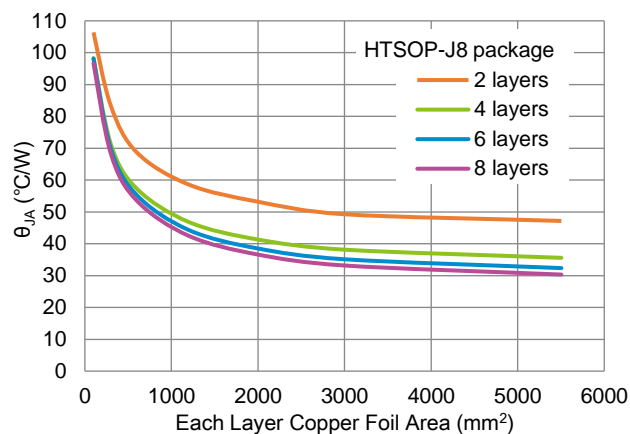
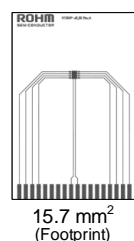


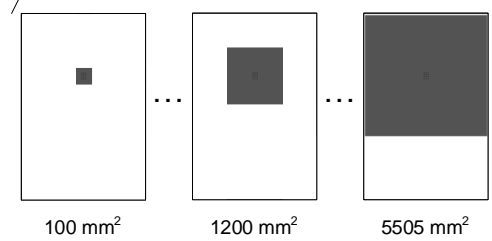
Figure 4. 多层 PCB 除顶层以外的铜箔面积变化时的热阻曲线

2 层 PCB

Top layer

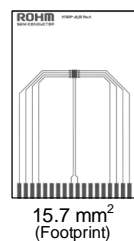


Bottom layer

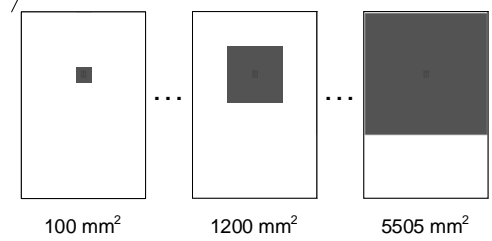


4 层 PCB

Top layer



Middle layer 和 Bottom layer 连接到过孔



和 Middle layer 分离的过孔

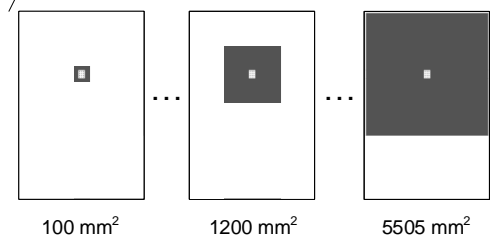
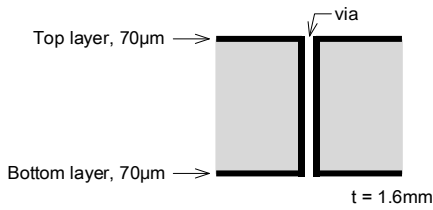
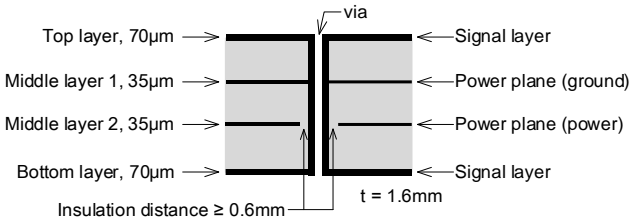


Figure 5. 多层 PCB Layout

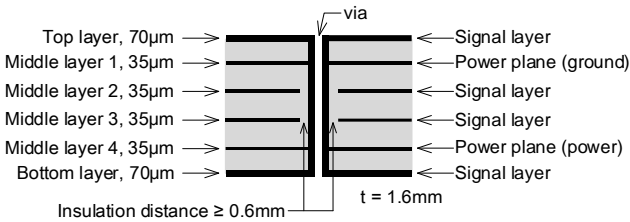
2 层板



4 层板



6 层板



8 层板

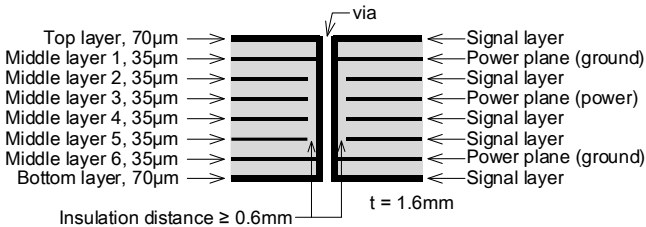


Figure 6. 多层 PCB 纵向构造

那么，让我们看一看热源向最近的散热铜箔传递大量热量的情况。如图 Figure 7、用 4 层板，Middle layer 1 和 2 只进行 5505mm² 的大面积铜箔 Layout。但是、Middle layer 2 没有和过孔连接。在这种情况下，改变 Bottom layer 铜箔面积时热阻的变化如 Figure 8 所示。这样、可以判断离热源近的层能充分散热、离热源远的层即使确保铜箔面积散热效果也是不明显的。

综上所述，通过优先增加靠近热源层的铜箔面积，可以有效降低热阻。

4 层板

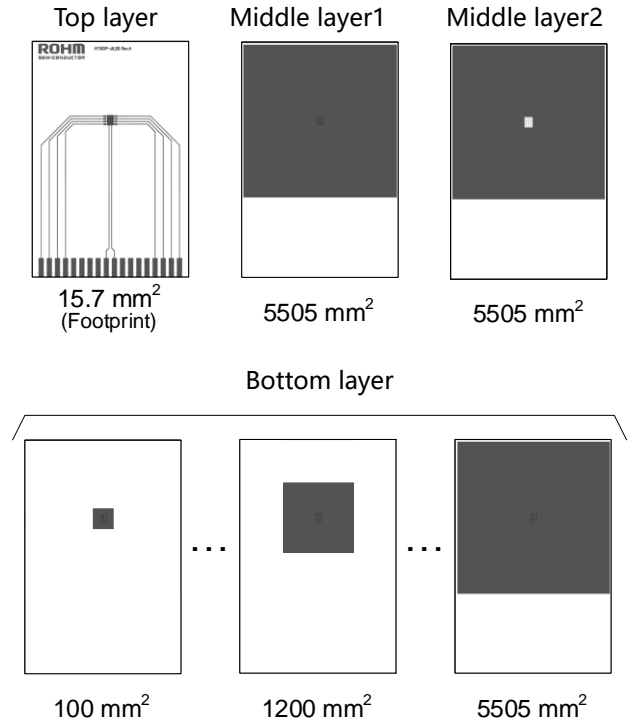


Figure 7. 只是 Bottom layer 铜箔面积可变的 4 层 PCB Layout

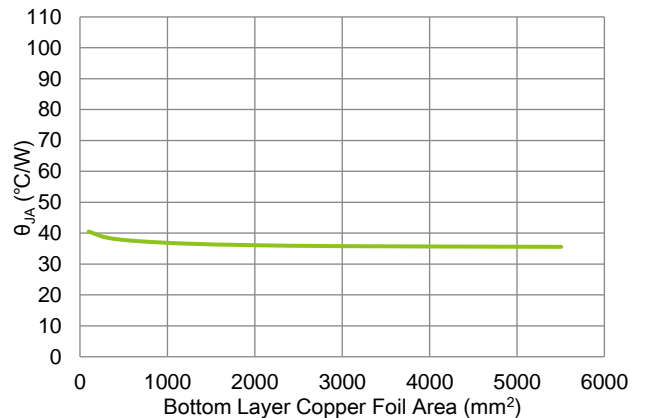


Figure 8. 4 层板中离热源近的层可以充分散热的条件下，只是改变 Bottom layer 铜箔面积时的热阻曲线。

板厚

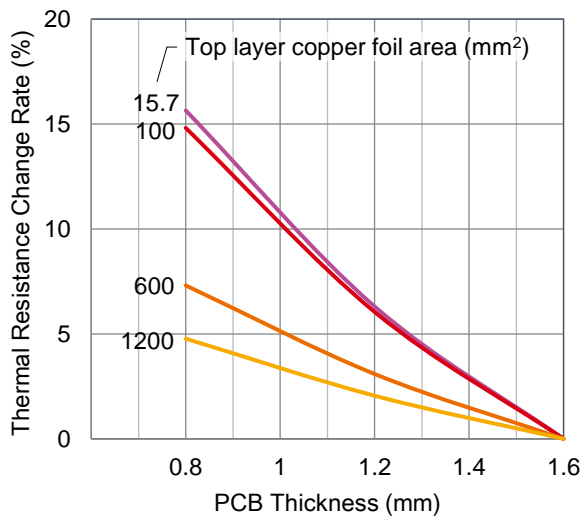
Figure 9 是 1 层板、改变板厚时的热阻曲线 (PCB 参考 Figure 2)。纵轴是以板厚为 1.6mm 时的热阻作为基准(0)表示变化率。

板子越厚，热阻就越低。单层板即使纵向热传导，因为下面是传导率小的空气，导致散热困难，所以横向热传导占优势。板子厚度变厚，横向的热阻抗变低。

Figure 10 是改变板厚时的热传导状态、可以看出板子越厚、热量传导越远。

在 Figure 9 中增大 Top layer 的铜箔面积时、相对于板厚热阻的变化变小。这是因为随着铜箔面积的增加，铜箔的热传导优势会增加，板厚对热阻的影响比率减小。

HTSOP-J8



TO252-3

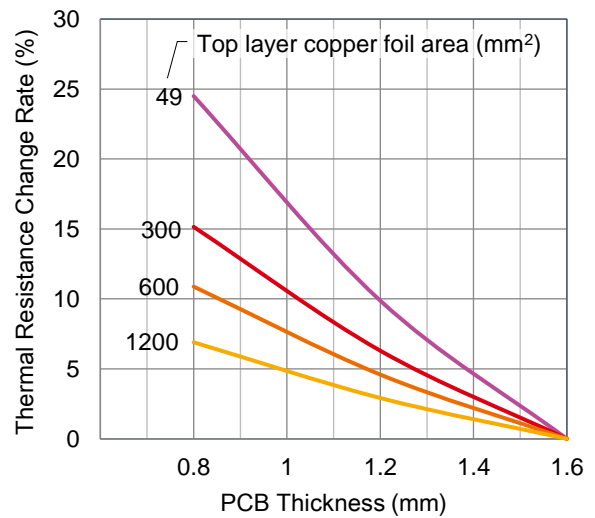


Figure 9. 1 层板板厚变化时的热阻曲线

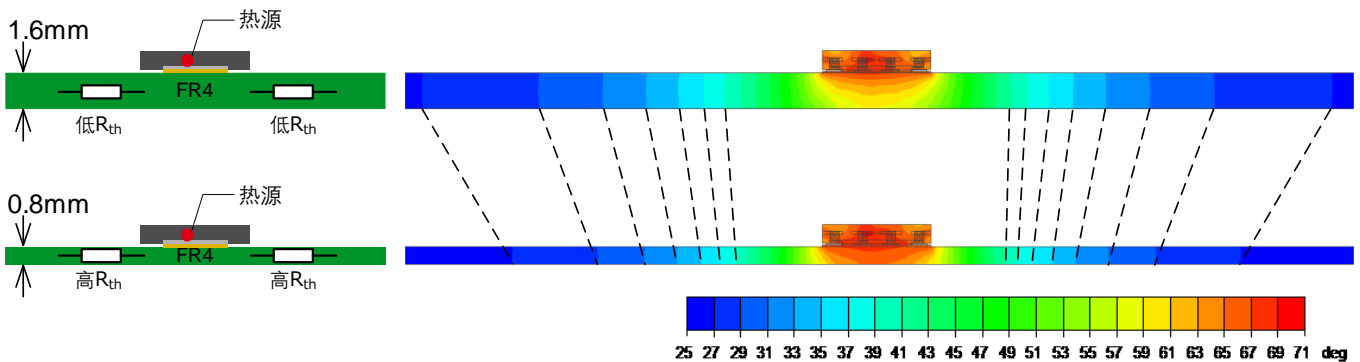


Figure 10. 1 层板改变板厚时的热传导状态
(HTSOP-J8、Top layer 铜箔面积 15.7mm²、双方的热源温度相同时)

Figure 11 是在 2 层板经过散热孔向 Bottom layer 铜箔连接的 Layout 中, 改变板厚时的热阻曲线 (参考 Figure 5 和 6 的 PCB)。纵轴是以板厚为 1.6mm 时的热阻作为基准表示变化率。

铜箔面积小的场合, 和单层板一样: 为了面向基板的热传导率高, 基板的厚度越厚, 越来越倾向于热阻变低。

随着铜箔面积增大, 因为经过过孔向铜箔的热传导比率增加, 过孔的长度变短 (过孔的热阻变低)。总之基板的厚度越薄, 热

阻越低。

铜箔面积小横向热传导有优势, 铜箔面积大纵向热传导有优势。这个界限是根据 PCB 的条件变化的。

在 Figure 12 表示基板厚度变化时的热传导的状态。在 Bottom layer 有充分散热用铜箔的条件下, 可以判断厚度薄的基板能纵向高效地进行热传导。

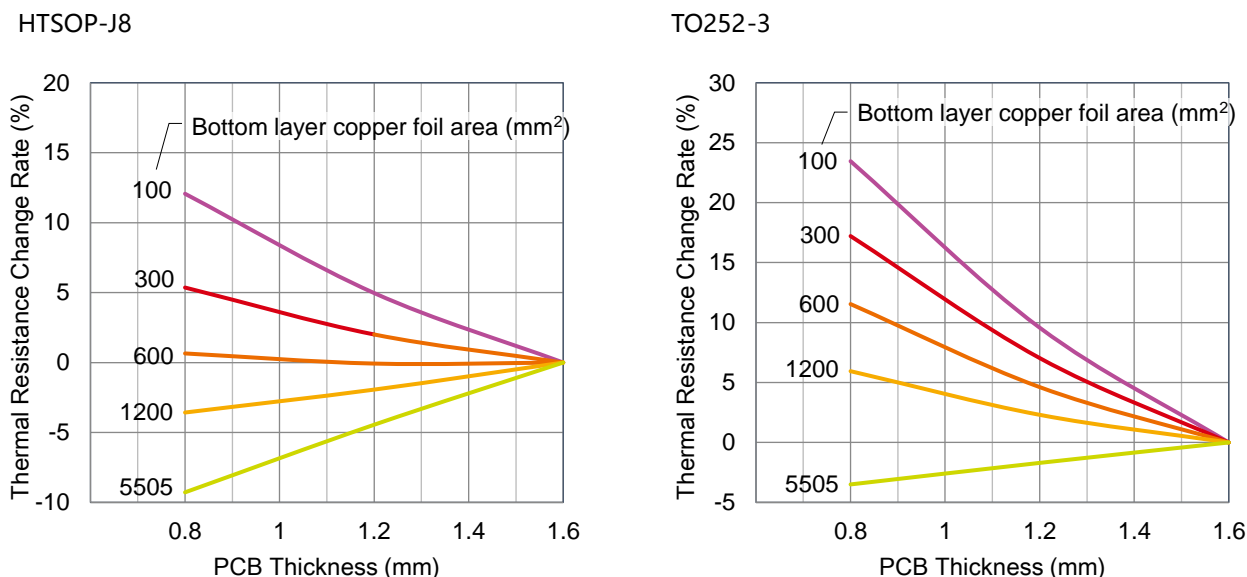


Figure 11.在 2 层板中改变板厚时的热阻曲线

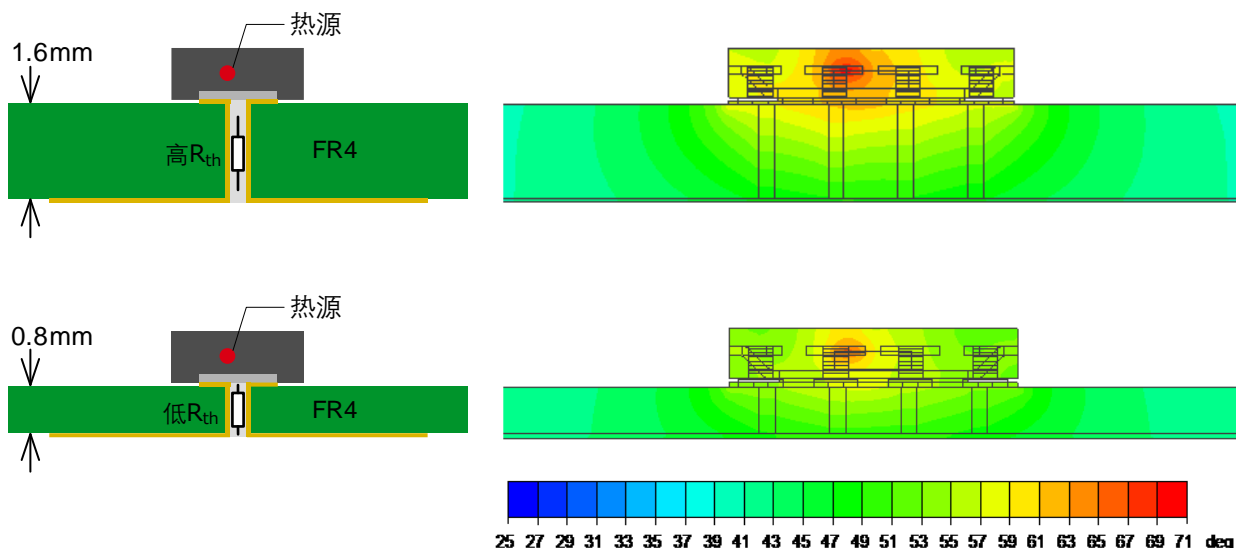


Figure 12. 在 2 层板中改变板厚时的热传导状态 (HTSOP-J8、Bottom layer 铜箔面积 5505mm²、双方的热源功率损耗相同时)

层数

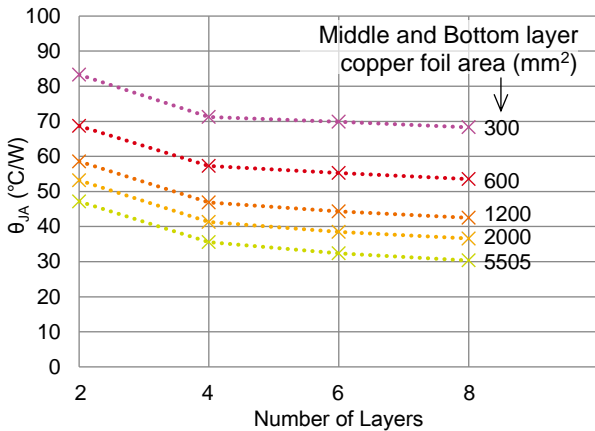
Figure 13 是改变层数时的热阻抗曲线 (参考 Figure 5 和 6 的 PCB)。随着层数的增加热阻越来越低。这是因为可以导热的铜箔面积增加了, 在“铜箔面积”一项中有说明。从纵向结构 (Figure 6) 来看, 在板厚相同的情况下, 层数越增加, 热源到最近的内层铜箔(平面)的距离越近, 热阻越低。

代表性的层分配如 Table 1 所示。一般情况下从 EMI 的观点出发, 与所有的布线层相邻放置的是低电阻的铜箔层(地或者电源)。这样的放置在热设计中也是非常有效、Top layer (在这里是 L1) 的热源能垂直向内层平面 L2 高效地进行热传导。

Table 1. 代表性的层分配

层	层分配			
	2 层 PCB	4 层 PCB	6 层 PCB	8 层 PCB
L1 (Top)	布线	布线	布线	布线
L2	布线	地铜箔层	地铜箔层	地铜箔层
L3		电源铜箔层	布线	布线
L4		布线	布线	电源铜箔层
L5			电源铜箔层	布线
L6			布线	布线
L7				地铜箔层
L8				配线

HTSOP-J8



TO252-3

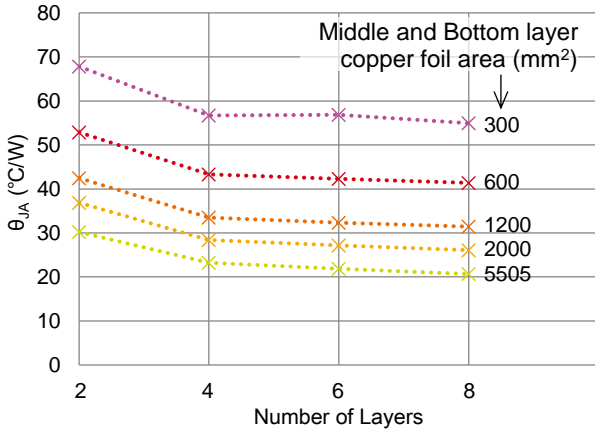


Figure 13. 改变层数时的热阻抗曲线

例如使用 8 层板、Top layer 的热源没有通过过孔向内层连接。由于纵向过孔的热阻增加, 即使在 Bottom layer (这里是 L8) 配置大面积的铜箔、不能说是最合适的热传导。在这样的条件下, 增加 Bottom layer 的铜箔厚度, 使其达到某种程度能降低热阻。

在多层基板中, 在和热源相同的层或者相邻的层铺设大面积的散热用的铜箔, 能有效降低热阻。

Figure 14 是只在 8 层板特定的层铺设散热铜箔时的热阻曲线。可以判断随着远离 L1 热源热阻逐渐增大。

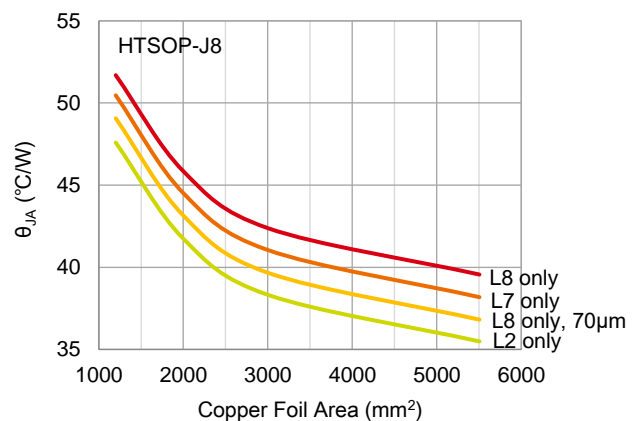


Figure 14. 只在 8 层板特定的层铺设散热铜箔时的热阻曲线。(未指定铜箔厚度是 35µm)

铜箔厚度

Figure 15 是改变铜箔厚度时热阻的变化曲线。铜箔厚度越厚，热阻越低。这是因为作为热传导的路径铜箔本身的热阻很低。

在曲线图中，以铜箔厚度为 70 μm 时的热阻作为基准表示热阻的变化率。使 Top layer 和 Bottom layer 的铜箔厚度变化，Middle layer 固定在 35 μm 。根据 PCB 的层数的不同、热阻的变化率不同。这是因为铜箔面积等 PCB 的构成不同，所以请作为一个例子来看。

这个曲线图的 PCB Layout 是 Figure 2、5、6，Top layer 的铜箔面积只是 Footprint，Middle layer 和 Bottom layer 分别是 5505 mm^2 。

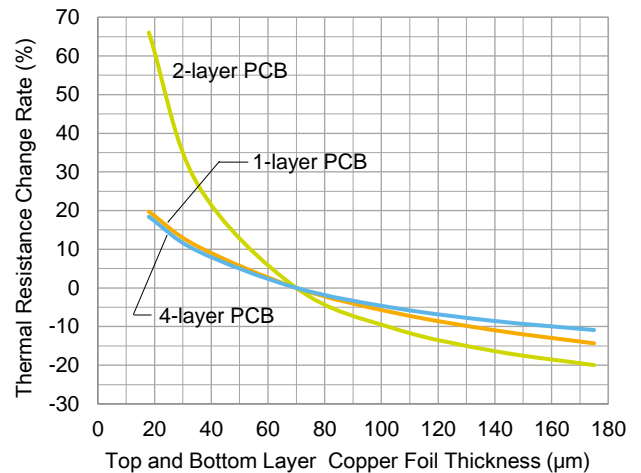
由于 1 层 PCB 的铜箔面积只在 Footprint 部分，可以看到铜箔厚度的影响很小。在 Figure 16 中，表示将铜箔面积扩大到 1200 mm^2 时的结果。可以看出，向铜箔的热传导增强了，铜箔厚度的影响比率变大。

2 层 PCB 的热阻变化率变大了，这主要时因为热传导路径是 Bottom layer 的铜箔，铜箔厚度的影响比率变大了。

由于 4 层 PCB 向 Middle layer 传输很多的热量，Bottom layer 的铜箔厚度的影响比率比较小。

无论如何、铜箔的厚度越厚，热阻越低。

HTSOP-J8



TO252-3

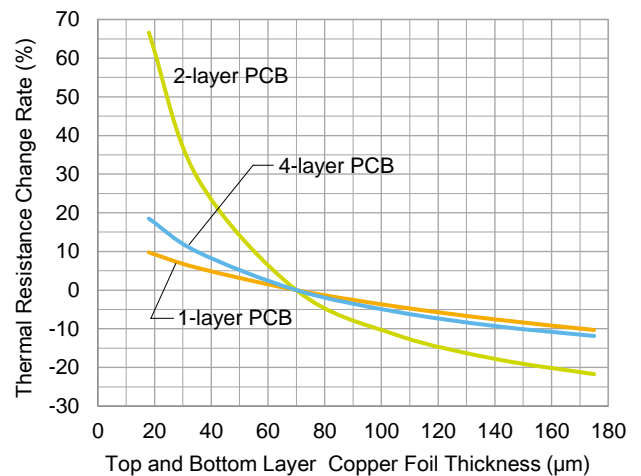
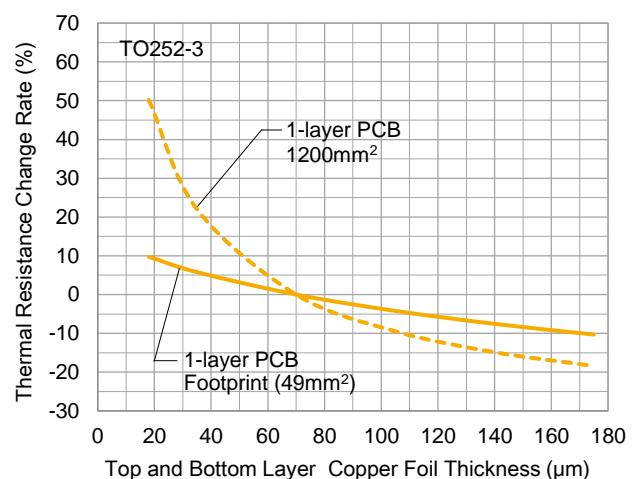


Figure 15. 改变铜箔厚度时的热阻曲线

Figure 16.在 TO252-31 层 PCB 中，铜箔面积是 1200 mm^2 时的热阻变化率

散热过孔

Figure 17 表示在安装了 HTSOP-J8 封装的 PCB 中，根据散热过孔个数的不同，热阻的变化。过孔的个数越多，热阻越低。可以看出，仅仅一个过孔、散热效果也很明显。

如果在裸露焊盘的正下方放置过孔，可能会在回流焊工序中吸走焊料，并且降低融合率。为了回避这问题，设计了避开过孔的漏字板(网板)，或者在周围布置过孔的方法避开裸露焊盘。

Figure 18 表示了各种方法的热阻变化。漏字板的方式(I)热阻稍稍变差。可是向周围布置过孔的方式(J)，热量一旦经过铜箔传递到过孔，使铜箔的热阻被增加。因此，随着散热过孔的效果与热源的距离增加而变小，尽可能放置过孔在热源的正下方。

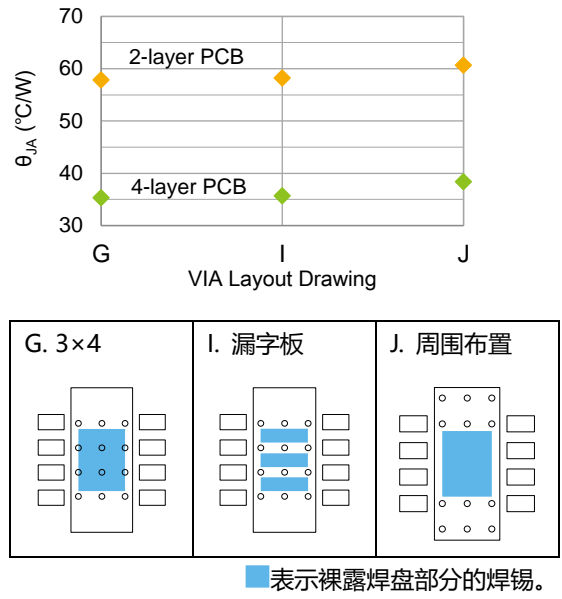


Figure 18. 采取措施防止过孔吸收焊锡时的热阻变化

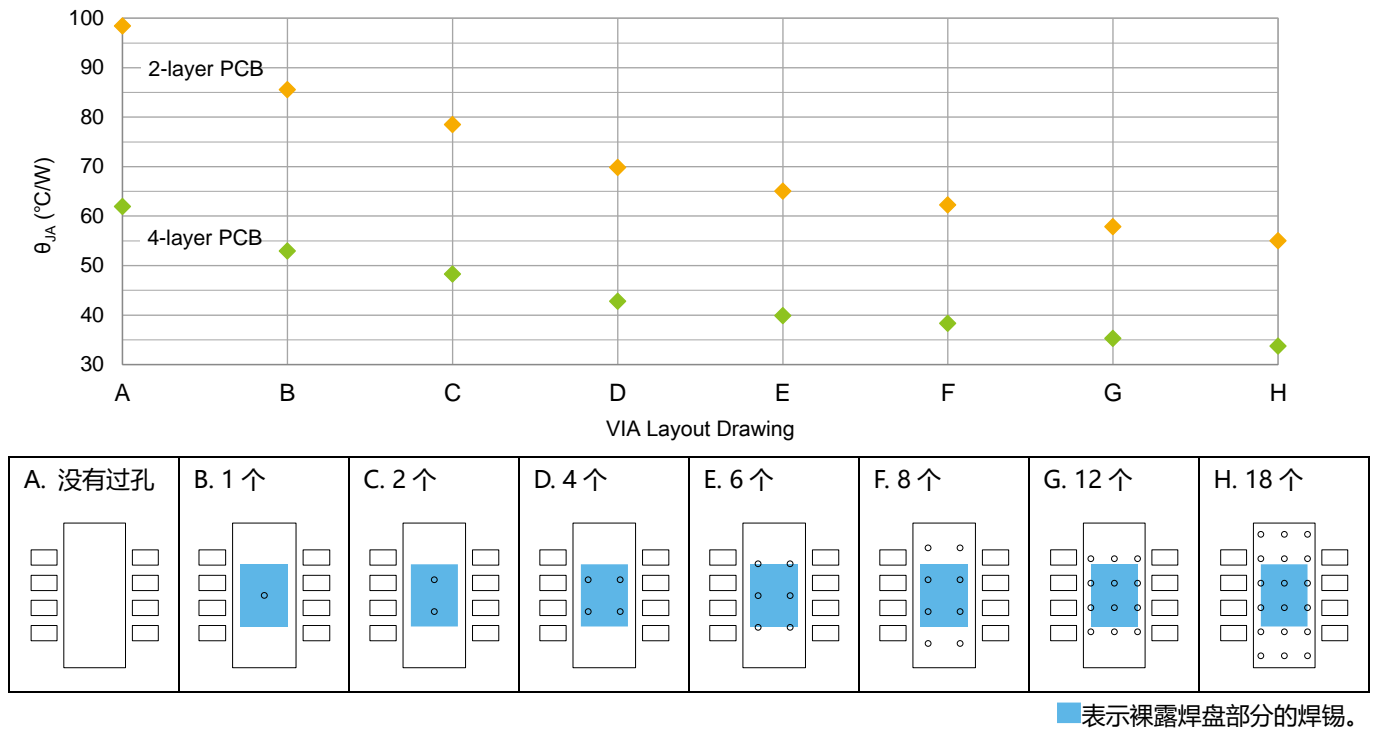


Figure 17. 由于过孔个数变化，热阻的变化
HTSOP-J8 封装、过孔直径 0.3mm

Figure 19 显示的是变化孔径时的热阻。孔径越大热阻越。这是因为作为热传导路径的孔本身的热阻降低。

在这个例子中,为了看孔径的影响全部在同一位置配置孔。实际上,由于孔径越小能在较窄 pitch 上配置,所以 0.3mm、0.5mm 的热阻比这个例子低。Layout K (0.3mm) 相当于前一页的 Layout J。

当将孔配置在裸露焊盘或 FIN 正下方焊锡部分的情况下,为了防止焊锡吸入推荐 0.3mm 以下的尺寸。

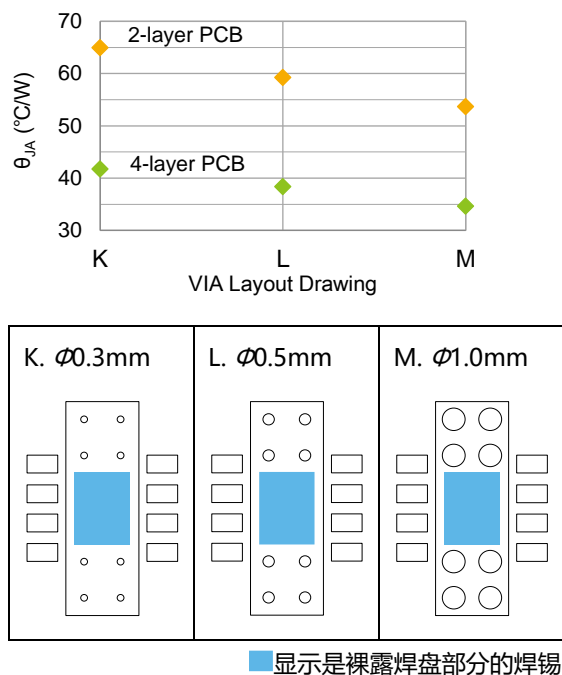


Figure 19. 变化孔径时的热阻

热源的位置

Figure 20 是根据基板上热源位置的不同热阻的变化。A 将热源配置在基板的中央, 因为是向全方向热传导, 所以热阻最低。B 在基板边缘配置的状态下, 由于能够热传导的体积变少, 热阻变高。C 是作为主要热传导目的地的铜箔表面被狭缝分割的情况。为了防止电磁干扰和噪声, 可以考虑在 ground plain 上

开一条缝, 将按功能区分开。这种情况下主要导热处的铜箔面积虽然减少了, 但是因为有机基板(FR4)等其他散热路径, 所以与放在边缘相比热阻上升变少。

由于实机中存在多个元件, 所以很难确保一个热源的中心, 尽可能确保铜箔面积 360°均等, 这样的 Layout 非常重要。

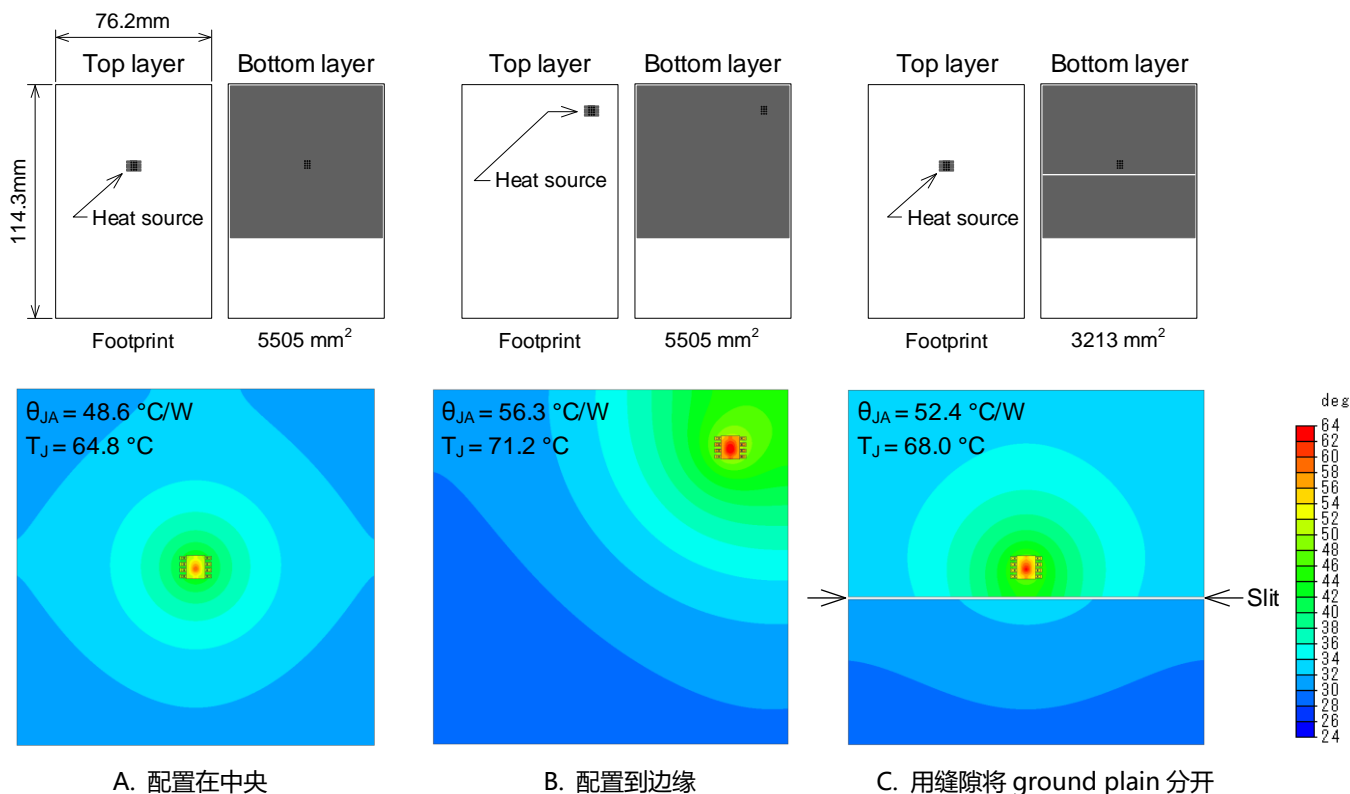


Figure 20. 不同热源位置的热阻变化
在双层底板上, 从上面看 Bottom layer 铜箔的 contour 图
热源功率损耗相同

接近热源的情况下

Figure 21 是接近热源时的热阻变化。在这个例子中，B 和 C 接近 3 个功率损耗相同的热源，但与只有 A 一个热源时相比，热阻更高。这是因为各个器件都受到了热干扰，导致器件的周围温度上升。热源之间的距离越短，受影响越大。

像这样一个一个进行热设计时，即使设计目标值中有温度上升，但如果三个同时工作，每个都受到热的影响，就必须考虑热干扰的现象进行热设计。多通道输出的电源、LED 驱动器、马达驱动器等，都有这样的情况。

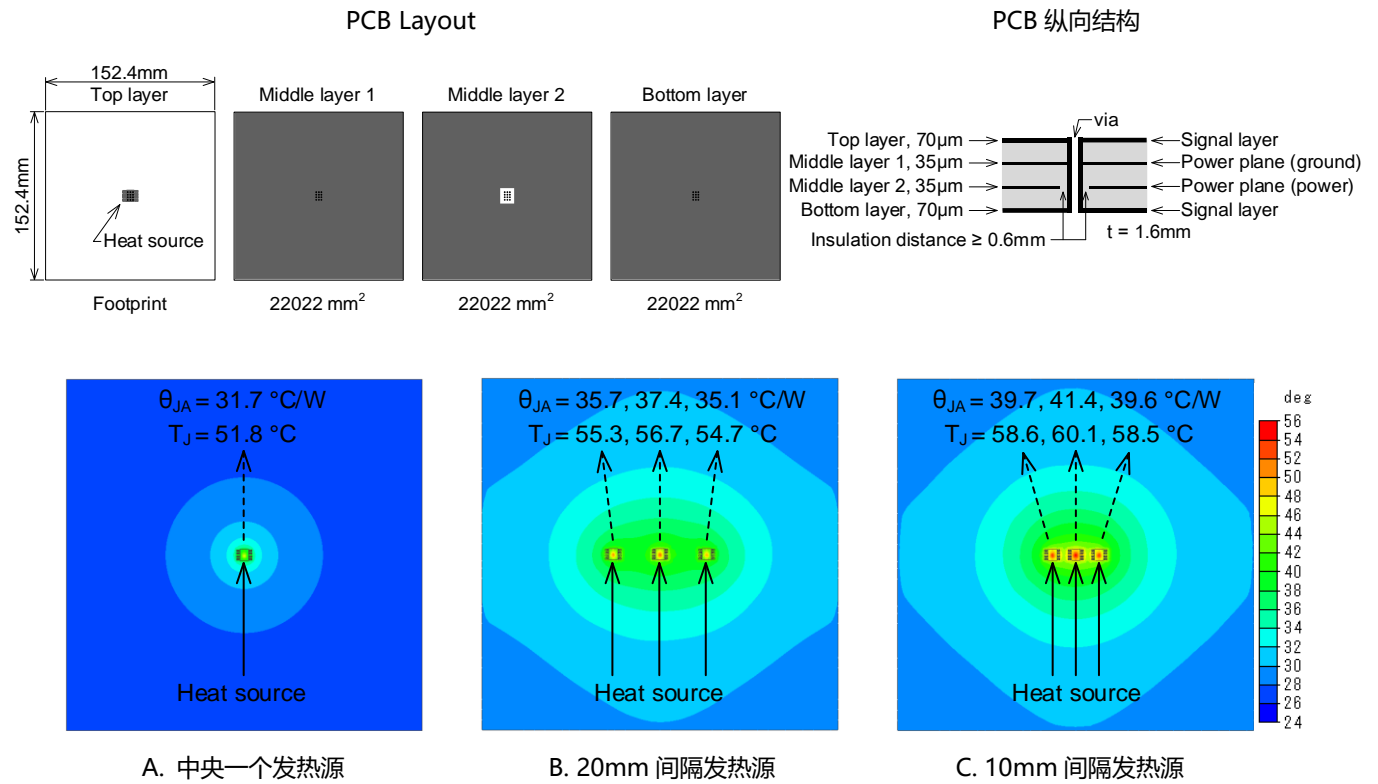


Figure 21. 接近热源时的热阻变化
 从上面看 4 层基板的 contour 图
 每个热源功率损耗相同

热源的分散

Figure 22 是分散热源时的热阻变化。A 是一个器件发生了功率损耗的情况，接合温度是 107.4°C。B 是将 A 的功率损耗平均分散到 3 个器件上的情况。虽然器件之间发生了热干扰，但

是分散热源可以减轻温度上升。这个是热传导面积增加导致热阻降低。

像这样，分散热源(功率损耗)是降低一个器件温度的有效手段。这个例子以 IC 封装为例，电阻器等被动元件也有同样的效果。

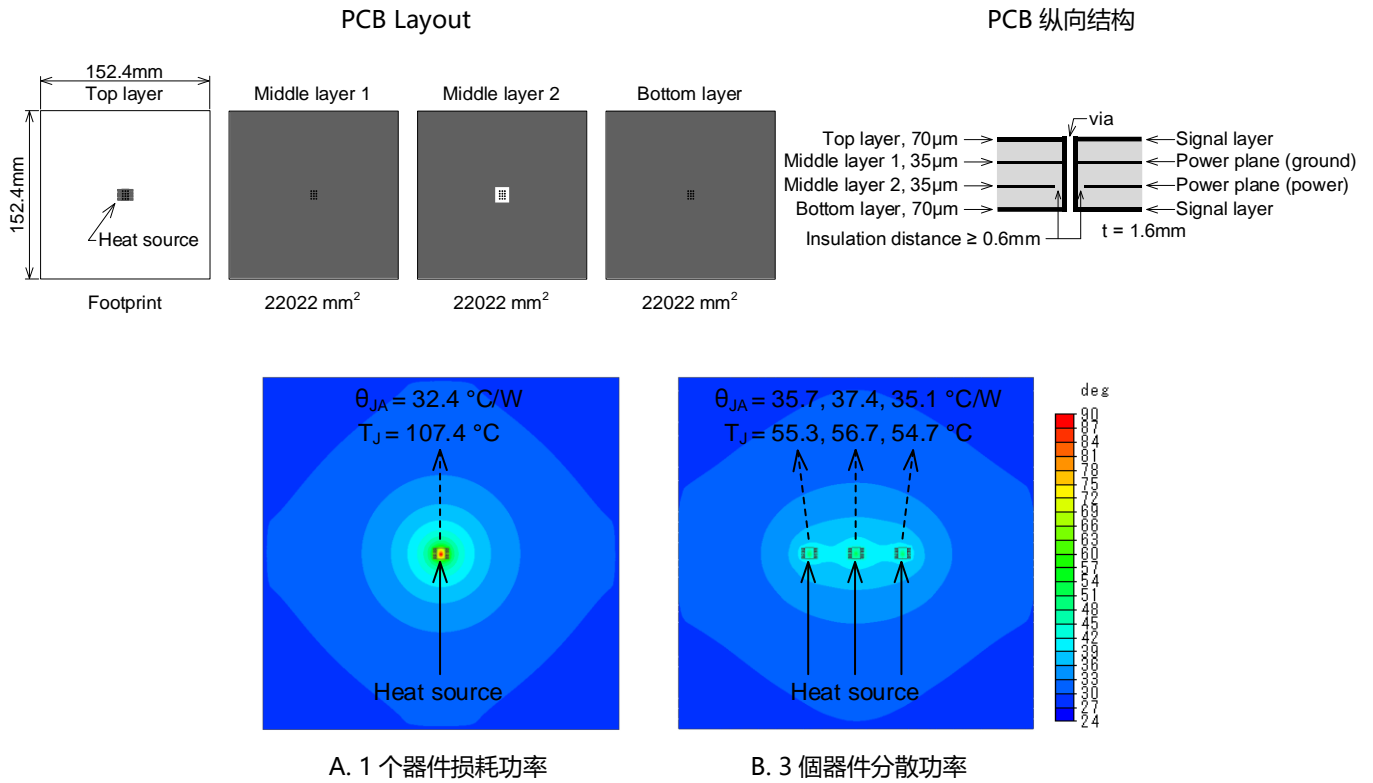


Figure 22. 分散热源时的热阻变化
 从上面看 4 层基板的 contour 图
 基板上热源的总功率损耗是相同的

考虑耐高温的被动元件

众所周知，电解电容器的温度越高，电解液就越容易蒸发，寿命也就越短，为了延长耐高温元器件的寿命，就需要降低过高的温度。被动元件从热源接受的路径有热传导、对流(热传递)、热辐射三种。对流(热传递)是通过换气降低箱体内温度。热辐射要远离热源，或者用遮热板做好隔热措施。因为热传导主要是经由铜布线传热的，所以要远离热源，或者采取措施使铜布线的宽度降到最低。

作为例子，在 Figure23 中示出 LDO 的电路，为了获得电气特性，有时必须在热源装置附近配置电解电容器。在 3 引脚 LDO 中，像 TO252 封装那样同时使用散热用 FIN 和接地引脚配置很多，在器件附近配置电解电容器 C1、C2 的话就会变成像

Figure 24 一样的 Layout 因为共用放热区域的铜箔和地布线 Figure 25 那样从放热 FIN 的热通过宽的铜箔向电容器传导。电容器引脚部的温度是 57°C。

作为对策，热源和电容器之间的距离是相同的，像 Figure 26 那样，把布线宽度设定为电流容量能容许的最小尺寸，使热传导最小，然后在那里配置电容器。Figure 27 是结果，电容器引脚部的温度降到 44°C。

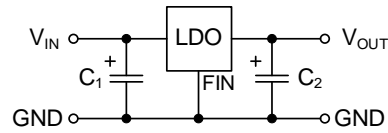


Figure 23. LDO 的电路图

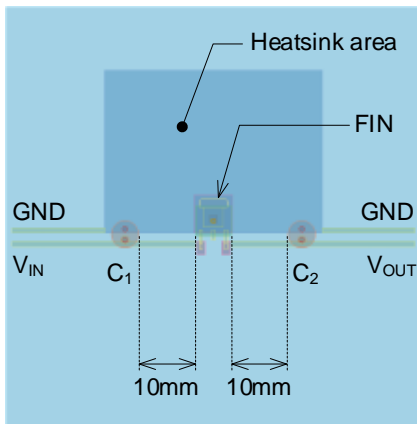


Figure 24. 在散热区域配置电容器的 PCB Layout

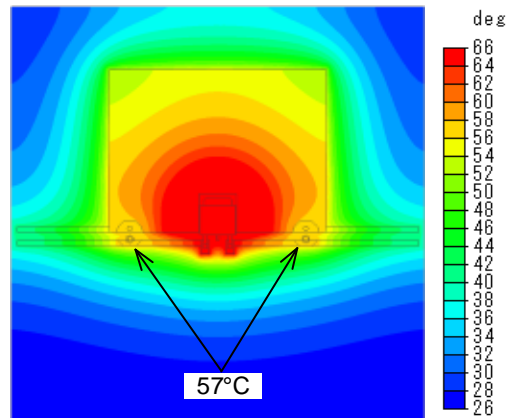


Figure 25. 在散热区域配置电容器时的 Contour 图

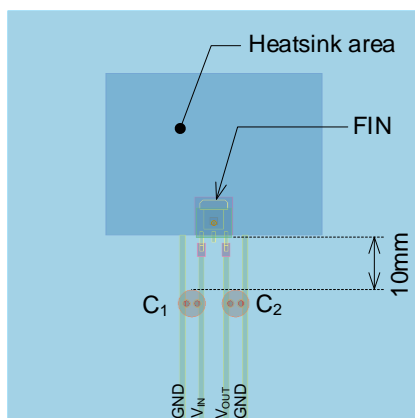


Figure 26. 将电容器与散热区分开布置的 PCB Layout

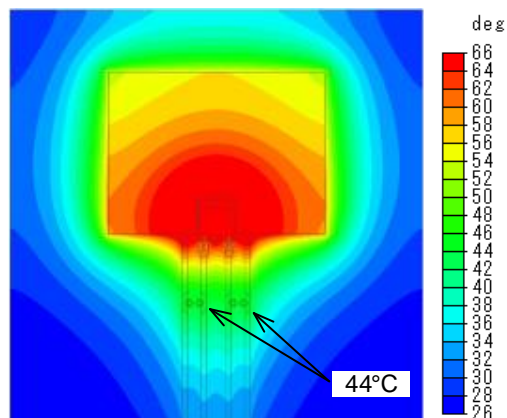


Figure 27. 将电容器从散热区分开配置时的 Contour 图

这是因为与铜箔相比，基板(FR4)的热阻高，在相同的距离下也很难导热。

综上所述，如果只着眼于电气特性进行 Layout，可能会产生热的问题，因此需要考虑热源器件和耐高温器件之间的位置关系。

AC-DC 转换器等，用电解电容器平滑 AC 的纹波电压，不过，由于大的纹波电流和电容器的内阻产生损耗功率，电容器自发热。这种情况与前面提到的 Layout 相反，要加大布线面积，将热量传导到布线上。

铜箔布线的温度上升

在大电流流过的导体(铜箔布线)中，最小宽度和厚度必须根据所需的电流容量和最大允许导体温度上升来决定。如果不注意这个，就会引起因温度上升引起的 PCB 的劣化和周围温度的上升。

最小导体宽度和厚度请参考下面的图表。这些图表是根据《IPC-2221A, Generic Standard on Printed Board Design》中登载的近似公式和图表，将单位换算成米制的。

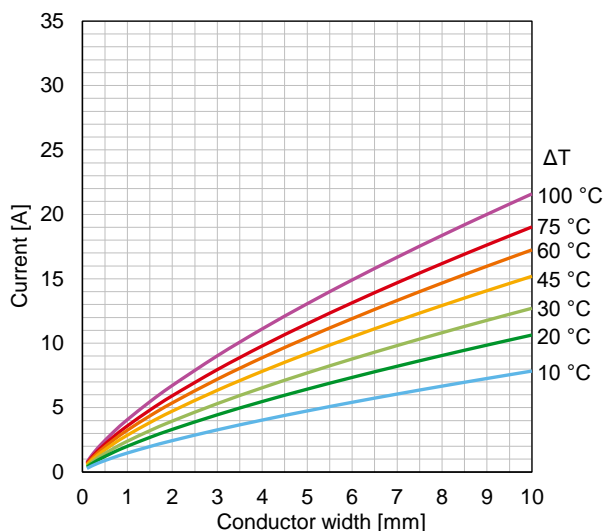


Figure 28. 导体宽度和电流引起的温度上升
1层、2层 PCB 及多层 PCB 的外层
导体厚 18µm

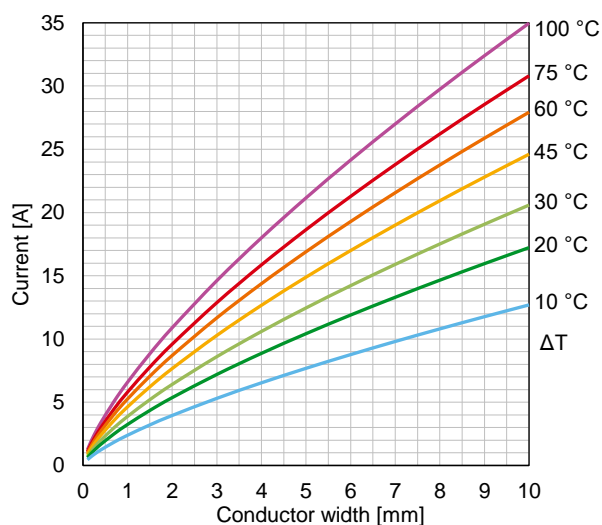


Figure 29. 导体宽度和电流引起的温度上升
1层、2层 PCB 及多层 PCB 的外层
导体厚 35µm

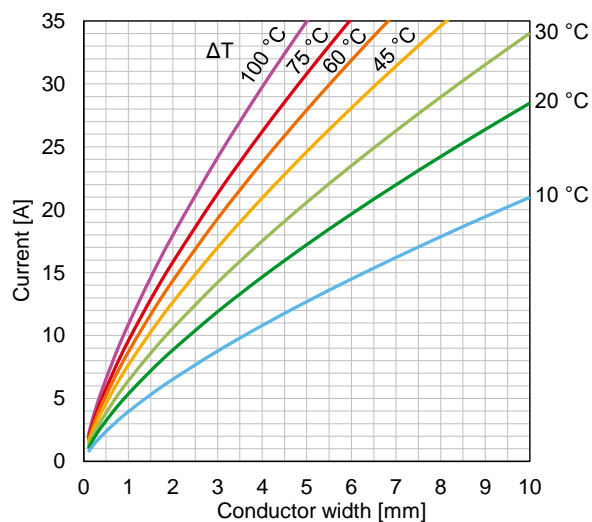


Figure 30. 导体宽度和电流引起的温度上升
1层、2层 PCB 及多层 PCB 的外层
导体厚 70µm

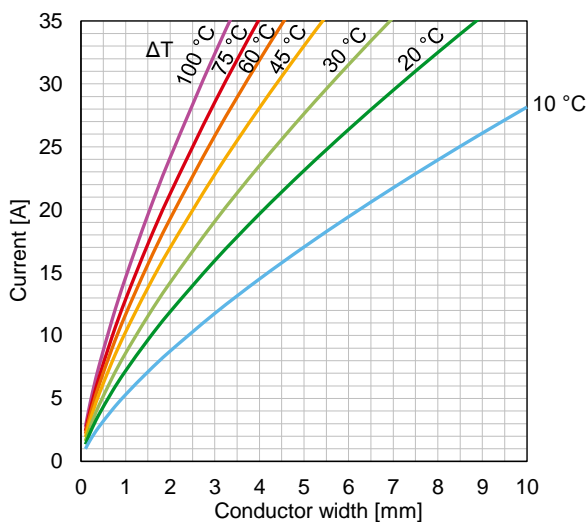


Figure 31. 导体宽度和电流引起的温度上升
1层、2层 PCB 及多层 PCB 的外层
导体厚 105µm

Figure 28 到 31, 在 1 层, 2 层 PCB 和多层 PCB 的外层被适当的温度上升, 显示每导体厚度。同样 Figure 32 到 35 是适应于多层 PCB 的内层的升温。

铜布线的温度上升和半导体封装的热阻一样, 由于 PCB 材料、Layout、元件配置、外壳形状、周围环境等的影响, 其值也会变化, 所以请作为参考使用。

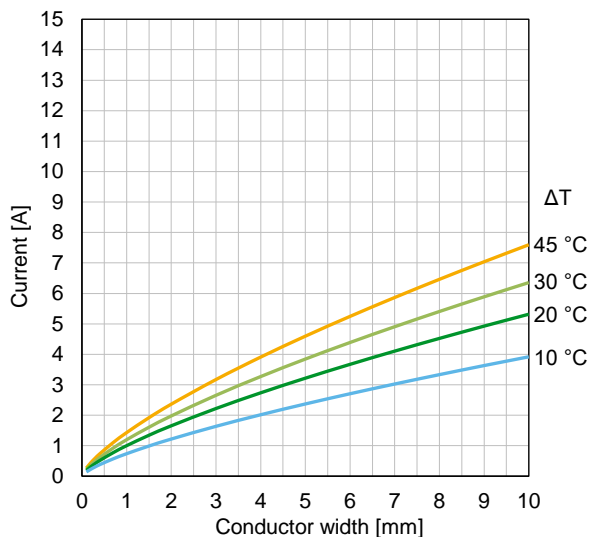


Figure 32. 导体宽度和电流引起的温度上升
多层 PCB 的内层
导体厚 18µm

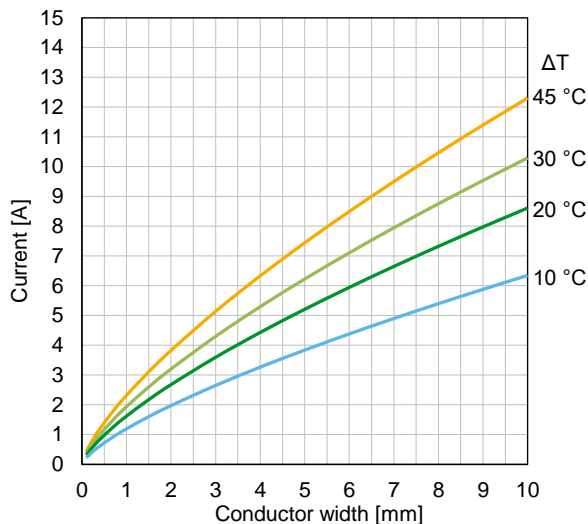


Figure 33. 导体宽度和电流引起的温度上升
多层 PCB 的内层
导体厚 35µm

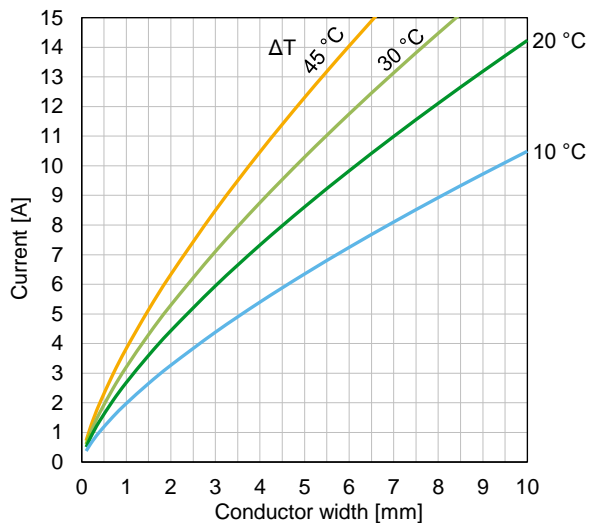


Figure 34. 导体宽度和电流引起的温度上升
多层 PCB 的内层
导体厚 70µm

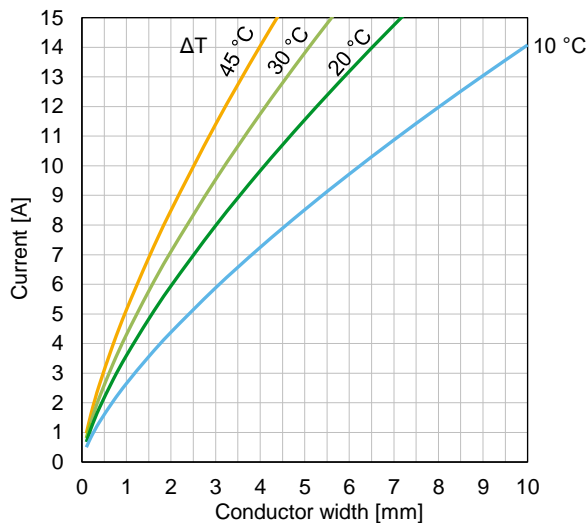


Figure 35. 导体宽度和电流引起的温度上升
多层 PCB 的内层
导体厚 105µm

总结降低热阻的关键

铜箔面积

- 随着铜箔面积的增大，热阻也随之降低。
- 即使将铜箔面积增大到必要的程度，离热源越远，热传导效率就会越差，就不能达到与面积相符的效果，因此铜箔面积应采用适当的尺寸。
- 在多层基板中，通过优先增大靠近热源层的铜箔面积，可以有效地降低热阻。

板厚

- 由于在 1 层底板上横向热传导占优势，所以如果增加板厚，热阻就会降低。
- 在多层基板中，散热用铜箔面积小的情况下，由于横向热传导占优势，所以加厚板厚就会降低热阻。当铜箔面积大时，由于纵向热传导占优势，所以板厚越薄，热阻就越低。两者的边界线根据 PCB 的条件而改变。

层数

- 随着层数的增加，热阻趋于降低，但在多层基板中，在与热源相同或相邻的层上布置较大的散热铜箔面积，可以有效地降低热阻。

铜箔厚

- 铜箔越厚，热阻越低。铜箔面积越大，其效果越好。

散热孔

- 孔数越多，热阻就越低，但离热源越远，热阻就越低，所以要靠近热源。
- 孔径越大热阻越低，但如果超过 0.3mm，在回流工艺中发生焊锡吸入问题的可能性就越大，因此要注意。

热源的位置

- 由于存在多个部件，所以很难确保一个热源的铜箔面积大，但要注意以热源为中心尽可能确保铜箔面积 360° 均等的 Layout。

热源接近的情况下

- 在多个热源接近的情况下，设计时要考虑所有热源同时工作的热干扰现象。

热源的分散

- 分散热源(功率损耗)作为降低一个器件的温度的方法是有效的方法。

考虑耐高温的被动元件

- 如果只关注于电气特性进行 Layout，有时会发生热的问题。
- 需要考虑作为热源的不耐高温的器件和耐高温的器件之间的位置关系。
- 当热源装置位于附近时，布线宽度应达到所需的最低限度，以防止热传导穿过低热阻的铜布线。

铜布线的温度上升

- 在大电流流动的导体(铜箔布线)中，导体的最小宽度和厚度需要根据所需的电流容量和最大允许导体温度上升来确定。如果不注意这个，就会引起因温度上升引起的 PCB 的劣化和周围温度的上升。

課題

功率电路有各种各样的形式, 线性稳压器(LDO)等功率不会频繁变化的安静电路, 可以只关注散热性能来考虑 PCB Layout。

另一方面, 开关稳压器等功率高速变化的电路除了散热之外, 还需要考虑 EMI。能够兼顾散热和 EMI 的 Layout 很少, 大部分情况下需要找到两者的妥协点进行 Layout。

热设计中要求变大铜箔面积, 根据 EMI 的对策频率区域, 利用层间容量, 或确保返回电流的路线, 也有其它很多对策, 进一步 Case by Case(尝试)也很多, 针对所有 PCB 的指引现状很困难。针对个别 PCB 有指引的情况下请另行参考。

参考資料

- [1] JESD51-3:1996, *Low Effective Thermal Conductivity Test Board for Leaded Surface Mount Packages*, JEDEC Solid State Technology Association
- [2] JESD51-5:1999, *Extension of Thermal Test Board Standards for Packages with Direct Thermal Attachment Mechanisms*, JEDEC Solid State Technology Association
- [3] JESD51-7:1999, *High Effective Thermal Conductivity Test Board for Leaded Surface Mount Packages*, JEDEC Solid State Technology Association
- [4] IPC-2221A: May 2003, *Generic Standard on Printed Board Design*, IPC - Association Connecting Electronics Industries

相关应用手册

- [1] [TO252 封装热阻情报](#)
- [2] [HTSOP-J8 封装热阻情报 \(A\)](#)
- [3] [HTSOP-J8 封装热阻情报 \(S\)](#) 注意对应的产品编号

Notes

- 1) The information contained herein is subject to change without notice.
- 2) Before you use our Products, please contact our sales representative and verify the latest specifications :
- 3) Although ROHM is continuously working to improve product reliability and quality, semiconductors can break down and malfunction due to various factors.
Therefore, in order to prevent personal injury or fire arising from failure, please take safety measures such as complying with the derating characteristics, implementing redundant and fire prevention designs, and utilizing backups and fail-safe procedures. ROHM shall have no responsibility for any damages arising out of the use of our Products beyond the rating specified by ROHM.
- 4) Examples of application circuits, circuit constants and any other information contained herein are provided only to illustrate the standard usage and operations of the Products. The peripheral conditions must be taken into account when designing circuits for mass production.
- 5) The technical information specified herein is intended only to show the typical functions of and examples of application circuits for the Products. ROHM does not grant you, explicitly or implicitly, any license to use or exercise intellectual property or other rights held by ROHM or any other parties. ROHM shall have no responsibility whatsoever for any dispute arising out of the use of such technical information.
- 6) The Products specified in this document are not designed to be radiation tolerant.
- 7) For use of our Products in applications requiring a high degree of reliability (as exemplified below), please contact and consult with a ROHM representative : transportation equipment (i.e. cars, ships, trains), primary communication equipment, traffic lights, fire/crime prevention, safety equipment, medical systems, servers, solar cells, and power transmission systems.
- 8) Do not use our Products in applications requiring extremely high reliability, such as aerospace equipment, nuclear power control systems, and submarine repeaters.
- 9) ROHM shall have no responsibility for any damages or injury arising from non-compliance with the recommended usage conditions and specifications contained herein.
- 10) ROHM has used reasonable care to ensure the accuracy of the information contained in this document. However, ROHM does not warrants that such information is error-free, and ROHM shall have no responsibility for any damages arising from any inaccuracy or misprint of such information.
- 11) Please use the Products in accordance with any applicable environmental laws and regulations, such as the RoHS Directive. For more details, including RoHS compatibility, please contact a ROHM sales office. ROHM shall have no responsibility for any damages or losses resulting non-compliance with any applicable laws or regulations.
- 12) When providing our Products and technologies contained in this document to other countries, you must abide by the procedures and provisions stipulated in all applicable export laws and regulations, including without limitation the US Export Administration Regulations and the Foreign Exchange and Foreign Trade Act.
- 13) This document, in part or in whole, may not be reprinted or reproduced without prior consent of ROHM.



Thank you for your accessing to ROHM product informations.
More detail product informations and catalogs are available, please contact us.

ROHM Customer Support System

<https://www.rohm.com.cn/contactus>