电路板上 D2PAK 的热测量

SMD 封装的散热设计建议和指南

关于本文档

范围和目的

本应用笔记分析了采用 TO-263 封装的 1700 V CoolSiC™ MOSFET 的热性能。这些 MOSFET 焊接在下列印刷电路板(PCB)板上： 含 1 盎司铜的 2 层板、含 2 盎司铜的 2 层板、含 1 盎司铜的 4 层板和含 2 盎司铜的 4 层板。在每个设计中，通孔矩阵的设计、通孔的直径以及散热器的装配都有所不同。通过这种方式，我们对 SiC MOSFET 的温度上升进行了测试。此项研究旨在确定 MOSFET 在 PCB 上的最佳排列方式，以维持封装内的低温；同时 PCB 的尺寸和费用也在考虑之列。通过本应用笔记，客户和工程师可以利用实验数据中提供的精确散热特性，有效地设计自己的系统。

目标读者

从事 PCB 或其他系统设计的电子工程师。

目录

关于本文档 1

目录 1

1 简介 3

1.1 目标 3

1.2 独立变量 3

1.2.1 PCB 层数 3

1.2.2 铜质厚度 3

1.2.3 通孔尺寸 4

1.2.4 通孔数量 4

1.2.5 散热器 4

2 热测量的设置 6

2.1 测量功率消耗 6

2.2 测量 温度上升 6

2.3 温度测量点 7

3 测量参数 8

简介

3.1 PCB 层数 和铜厚度 8
3.2 通孔技术(THT)通孔 直径 8
3.3 通孔矩阵 大小 8
3.4 散热器 10
3.5 阻焊层的存在 10
3.6 电流 11
4 测试结果和解读 12
4.1 不同类型 PCB 的影响 12
4.2 不同电流的影响 14
4.3 阻焊层的影响 15
4.4 THT 通孔插装式过孔直径的影响 17
4.4.1 在 0.3A 下对 2L1OZ / 2L2OZ 进行测试 17
4.4.2 在 0.3A 下对 4L1OZ / 4L2OZ 进行测试 18
4.5 散热器的影响 20
4.6 是否需要使用散热器 21
5 结论 23
6 参考文献 24
附录: PCB 24
修订历史 25

1 简介

散热是电路设计的一个重要方面，尤其是在印刷电路板(PCB)布局中。晶体管、封装和 PCB 之间的相互作用必须经过精心设计，以优化散热。 采用表面贴装器件 (SMD) TO-263 封装的 1700 V CoolSiC™ MOSFET 不需要散热器，这降低了 PCB 设计中的系统复杂性和冷却工作量。因此，使用 1700 V CoolSiC™ MOSFET 将节省空间并降低 PCB 成本。

一般情况下,SMD 散热的能力比通孔器件(插件器件)弱，所以客户可能会担心该产品的热传导性能。因此，本应用笔记对其热性能进行了研究和评估。

1.1 目标

在下面的实验中，通过研究 PCB 散热的不同情况，来测量 TO-263 封装的 1700 V SiC MOSFET 的温升根据测试数据，我们分析了铜厚度、MOSEFT 电流、通孔直径、通孔矩阵尺寸以及是否存在阻焊层和散热器的影响。研究旨在为客户和工程师确定在不同限制条件下最合适的散热方法。

1.2 独立变量

本节介绍影响 MOSFET 热性能的重要因素。

1.2.1 PCB 层数

增加 PCB 层可以提高散热能力，这是因为增加了电路板上的铜的总量在 PCB 设计中，层数是需要考虑的一个重要参数。使用更多的层数还有助于最大限度地减少层与层之间的电磁干扰。因此，信号之间的干扰会减少，PCB 的使用寿命也会延长。此外，多层 PCB 降低了复杂电路的布局难度。另一方面，建造更多的层将增加生产成本。

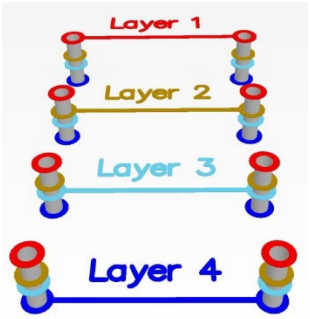


图 1. PCB 层中的通孔

1.2.2 铜质厚度

铜的厚度也会影响热传导。它使用单位盎司（oz.）测量。盎司（oz.）是一个重量单位，可以按如下方式换算成克（g）：1 盎司≈28.35 克

简介

在 PCB 行业，1 盎司代表铜均匀分布在 1 平方英尺（FT^2）的面积上的厚度它是单位面积的重量，代表铜箔的平均厚度。

$$1\mathrm{FT}^2 = 0.09290304m^2;\ \rho_{Cu} = 8.9\ \frac{g}{cm^3}$$

$$\mathrm{thickness(t)} = \frac{mass(m)}{area(S)\cdot\ density(\rho)} = \frac{28.35g}{0.09290304m^2 \cdot 8.9\ \frac{g}{cm^3}} \approx 35\mu\mathrm{m}$$

因此，1 盎司代表 35 µm 的铜厚度，2 盎司代表 70 µm 的铜厚度。

1.2.3 通孔尺寸

此外，另一个关键系数是电路板上通孔的直径。随着通孔尺寸的增大，散热效果会变得更加显著。但是，当直径过大时，回流焊接过程中可能会出现爬焊问题。

如 图 2 所示，测试中有两组通孔： 焊盘下方的通孔（器件焊点）和焊盘周围的通孔（器件焊点）。

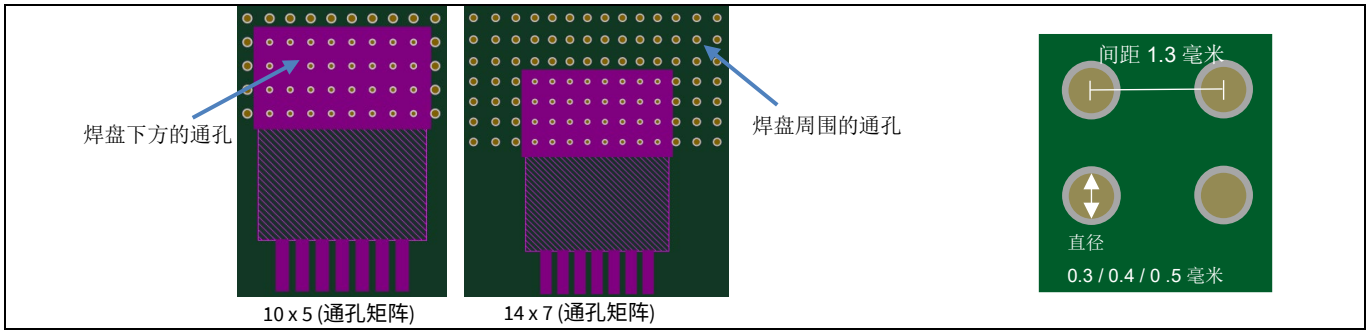


图 2. 通孔矩阵编号

1.2.4 通孔数量

此外，由于通孔有助于热量传递，增加通孔数量将提高性能。在所有测量设置中，焊盘下方的通孔矩阵保持不变，而外围通孔的数量则各不相同。图 2 显示两种不同排列的示例。两种情况下的通孔间距均为 1.3 毫米。显然，右侧的通孔矩阵占据了更大的面积。随着通孔矩阵的增大，焊盘周围的铜面积也会增大，从而导致漏极的总铜尺寸增大。 如果焊盘下的铜面积用 S 表示（67.45 mm^2），则 10x5 通孔矩阵的漏极铜总尺寸为 1.6 S（112.52 mm^2）。相比之下，14 x 7 通孔矩阵使用 3.4 S（229.35 mm^2）的面积。

1.2.5 散热器

散热器是一种将电器中易发热电子元件的热量传递到另一种介质（如空气）的器件。它可以用铝合金、黄铜或青铜制成板材、片材等。

简介

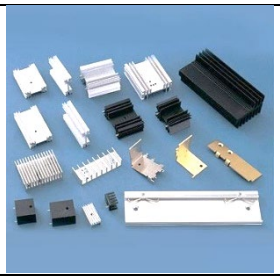


图 3. 市场上的各种散热器

散热器的效率取决于材料的导热系数 k。它测量材料的导通热量的能力。表 1 列出了一系列材料的导热系数 。虽然银具有相对较高的导热系数，散热速度快，但使用银散热器会比较昂贵。因此，铜因其价格合理，通常是最佳选择。当对散热要求不高时，也可使用铝，因为铝的导热系数比铜低得多。

表 1. 常见材料的导热系数

材料	k [W/(m·K)]	材料	k [W/(m·K)]	材料	k [W/(m·K)]
Si	150	铜	401	锡	64
SiO2	1.6	黄铜	70-183	铅	35
碳化硅	490	青铜	32-153	ABS	0.25
砷化镓	46	铝	237	玻璃	0.5-1.0
金	317	氧化铝	45	FR4(PCB)	0.2
银	429	氮化铝	150	酚醛环氧树脂	0.2
镍	90	铁	80	空气	0.01-0.04

2 热测量的设置

2.1 测量功率消耗

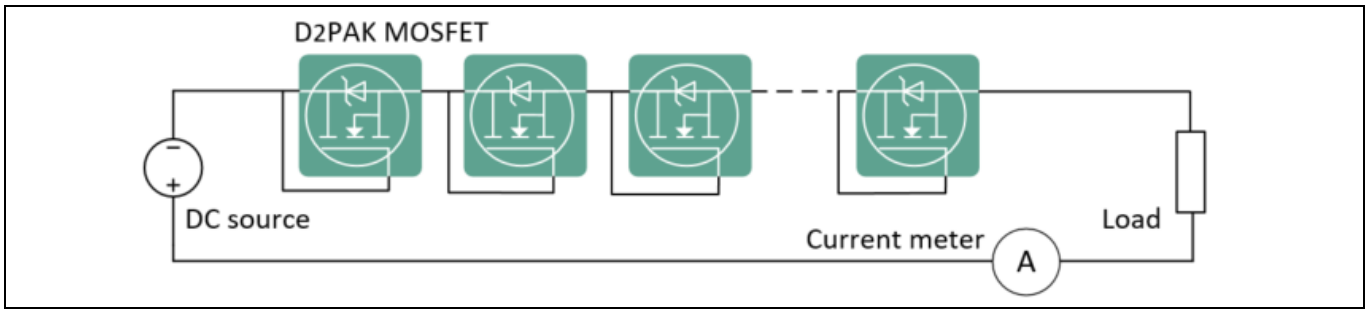


图 4. 测量示意图

用于热测量的电路如图 4 所示。在测试中，使用了以下仪器：

- 直流电源 TPR3005-2DF
- 直流负载 Chroma 63110A
- 安捷伦数据记录器 34970A
- 数字万用表 34450A

通过使用电子负载，电路中的电流保持恒定。音量二极管的压降由电压表测量。因此，功率耗散可以从电压和电流的乘积得出。

2.2 测量 温度上升

使用热电偶和数据采集仪器测量温升。图 5 展示了温度测量的实验设置。

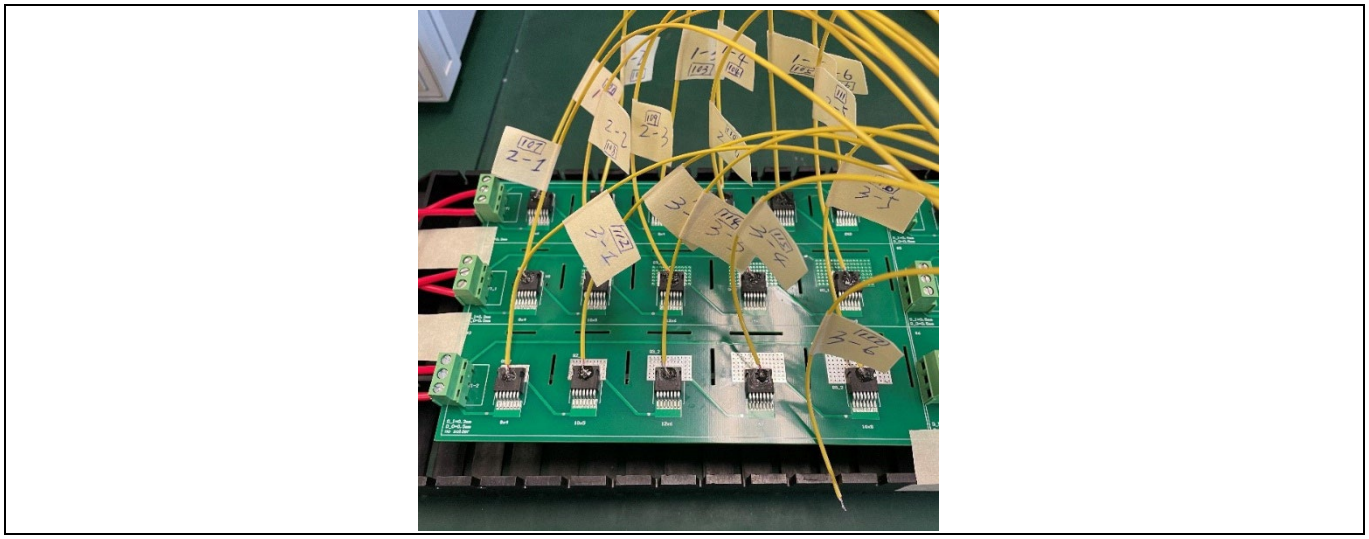


图 5. 温度测量设置

热测量的设置

使用的 J 型热电偶具有高灵敏度，线性度和稳定性。J 型热电偶的覆盖测量温度范围为 -200 ~ 1200°C，但通常使用 0 ~ 750°C。公差约为 2°C。

首先，我们测量了开路温度 T_A。 然后，电路闭合，温度开始上升。30 分钟后，当散热稳定时，温度 T_c 再次被记录。温度上升来自：

$$\Delta T_{c-a} = T_c - T_a.$$

气流降低了测量数据的准确性，因此测试平台配备了防风纸箱，以消除这种影响。

2.3 温度测量点

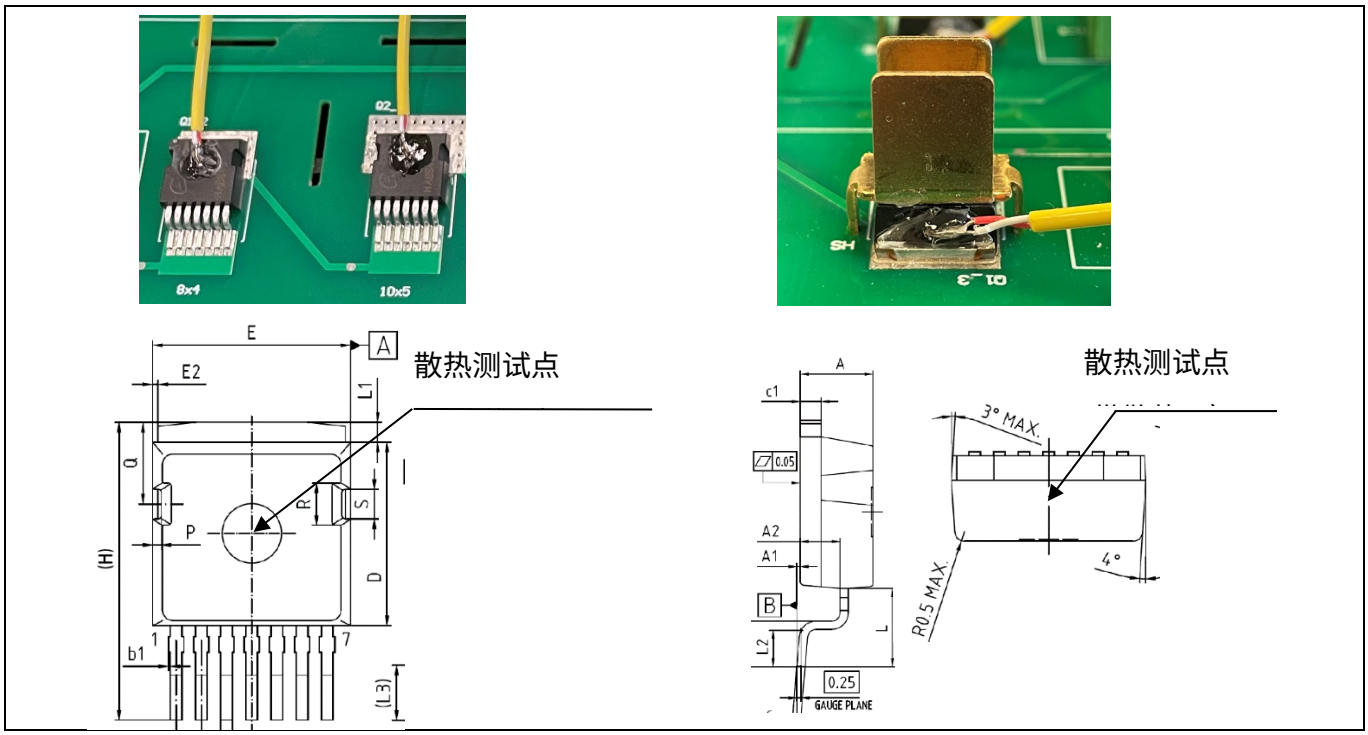


图 6. 两种条件下的温度测量点

如图 6 所示，两种情况下的测量点不同。温度是从未连接散热器的封装顶部测量的。连接散热器时，测量点位于封装的侧面。

3 测量参数

3.1 PCB 层数 和铜厚度

测量中使用的四种 PCB 之间的差异如下所示：

- 2 层，含 1 盎司铜(2L1OZ)
- 2 层，含 2 盎司铜(2L2OZ)
- 4 层，含 1 盎司铜(4L1OZ)
- 4 层，含 2 盎司铜(4L2OZ)

3.2 通孔技术(THT)通孔 直径

实验中使用的通孔直径分别为 0.3 mm，0.4 mm 和 0.5 mm。

3.3 通孔矩阵 大小

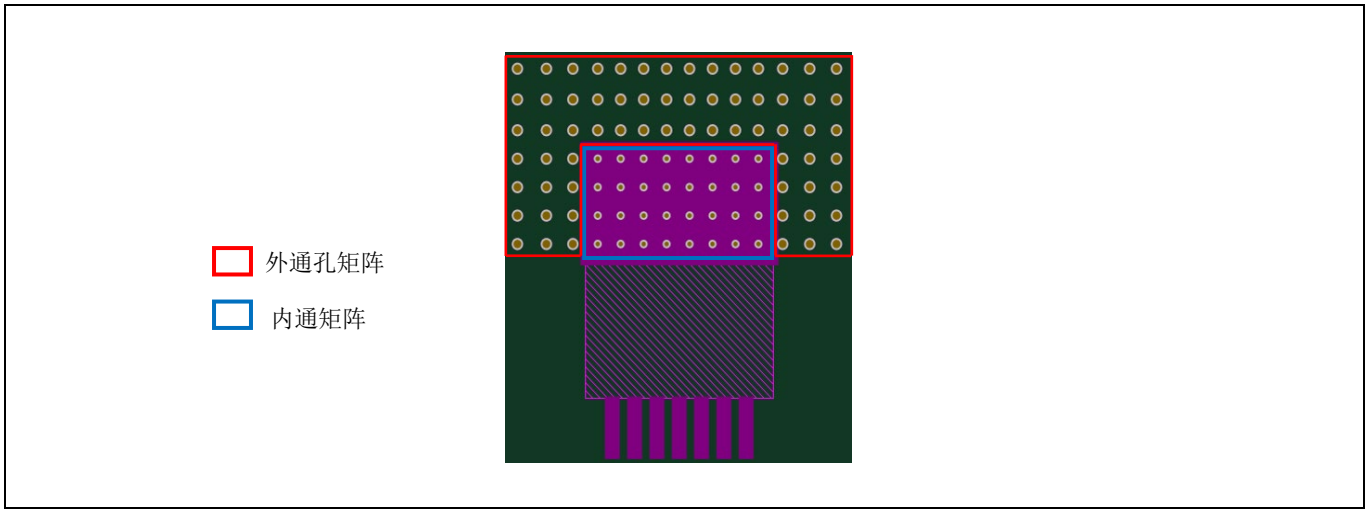


图 7. 外通孔和内通孔矩阵

图 7 显示内通孔矩阵和外通孔矩阵之间的边界。为了检查通孔的布置和直径对温度变化的影响，我们对不同尺寸的外通孔和不同直径的内通孔的组合进行了相应的测试。测试条件见 表 2、 表 3 和 表 4。

测量参数

表 2. 通孔矩阵 1（焊盘下 0.3 毫米的通孔）

通孔变体	1	2	3	4	5
内通孔矩阵	8x4	8x4	8x4	8x4	8x4
内径	0.3 毫米	0.3 毫米	0.3 毫米	0.3 毫米	0.3 毫米
总通孔矩阵	8x4	10x5	12x6	14x7	16x8
外径	不适用	0.5 毫米	0.5 毫米	0.5 毫米	0.5 毫米
通孔间距	1.3 毫米	1.3 毫米	1.3 毫米	1.3 毫米	1.3 毫米
总漏极铜尺寸	67.45 平方毫米	112.52 平方毫米	163.94 平方毫米	229.35 平方毫米	309.92 平方毫米
相关比例	S	1.67 S	2.43 S	3.4 S	4.6 S

表 3. 通孔矩阵 2（焊盘下 0.4 毫米的通孔）

通孔变体	1	2	3	4
内通孔矩阵	8x4	8x4	8x4	8x4
内径	0.4 毫米	0.4 毫米	0.4 毫米	0.4 毫米
总通孔矩阵	8x4	12x6	14x7	16x8
外径	不适用	0.5 毫米	0.5 毫米	0.5 毫米
通孔间距	1.3 毫米	1.3 毫米	1.3 毫米	1.3 毫米
总漏极铜尺寸	67.45 平方毫米	163.94 平方毫米	229.35 平方毫米	309.92 平方毫米
相关比例	S	2.43 S	3.4 S	4.6 S

表 4. 通孔矩阵 3（焊盘下 0.5 毫米的通孔）

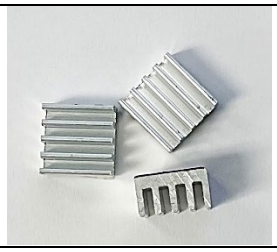
通孔变体	1	2	3	4
内通孔矩阵	8x4	8x4	8x4	8x4
内径	0.5 毫米	0.5 毫米	0.5 毫米	0.5 毫米
总通孔矩阵	8x4	12x6	14x7	16x8
外径	不适用	0.5 毫米	0.5 毫米	0.5 毫米
通孔间距	1.3 毫米	1.3 毫米	1.3 毫米	1.3 毫米
总漏极铜尺寸	67.45 平方毫米	163.94 平方毫米	229.35 平方毫米	309.92 平方毫米
相关比例	S	2.43 S	3.4 S	4.6 S

测量参数

3.4 散热器

我们测试了两种散热器，如表 5 所示 。

表 5. 两种散热器

散热器	HS1	HS2
		
材料	铜	铝
尺寸（毫米）	17 x 14.5 x 10 x 0.8	8.8 x 8.8 x 5
URL 链接	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a230r.1.14.33.5a7c54dap97EQn&id=543677256194&ns=1&abbucket=20#detail	https://item.taobao.com/item.htm?spm=a1z10.3-c.w4002-21214618245.49.36155473n100vU&id=581976481584

3.5 阻焊层的存在

根据表 1，阻焊层的导热率约为 0.2 。由于阻焊层的厚度仅为 20 微米，因此无法确定阻焊层对热耗散的影响程度。因此，必须通过 图 8.中所示的配置来检查其热影响。

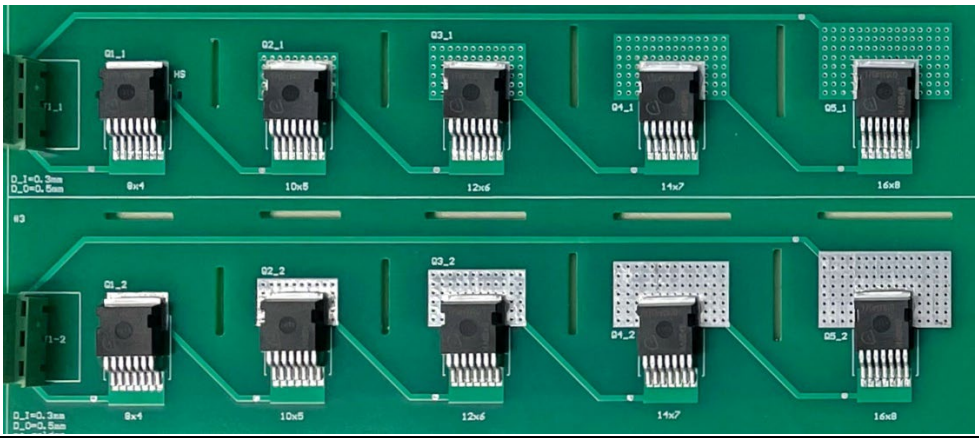


图 8. 带和不带阻焊层的导热铜

内通孔直径为 0.3 毫米，外通孔直径为 0.5 毫米。

测量参数

表 6. 内通孔和外通孔参数

通孔变体	1	2	3	4	5
内通孔矩阵	8x4	8x4	8x4	8x4	8x4
内径	0.3 毫米	0.3 毫米	0.3 毫米	0.3 毫米	0.3 毫米
总通孔矩阵	8x4	10x5	12x6	14x7	16x8
外径	不适用	0.5 毫米	0.5 毫米	0.5 毫米	0.5 毫米
通孔间距	1.3 毫米	1.3 毫米	1.3 毫米	1.3 毫米	1.3 毫米
总漏极铜尺寸	67.45 平方毫米	112.52 平方毫米	163.94 平方毫米	229.35 平方毫米	309.92 平方毫米
相关比例	S	1.67 S	2.43 S	3.4 S	4.6 S

3.6 电流

通过 MOSFET 体二极管的电流设置为以下值：

- 0.1A
- 0.2A
- 0.3A
- 0.4A
- 0.5A

4 测试结果和解读

本章将根据前一章所述的测量计划，通过图表展示测量结果。然后从测试数据中得出结论。

4.1 不同类型 PCB 的影响

首次测试测量了不同通孔矩阵和电流下 PCB 板的温升情况。不同电流的温度上升趋势相同，因此我们选择了 0.3 A 电流得出的数据进行分析。内通孔直径为 0.3 毫米，外通孔直径为 0.5 毫米。

表 7. 0.3A 时不同层的 PCB 板、通孔矩阵的温升 ΔT

电流为 0.3 A	通孔矩阵				
PCB 变体	8X4	10X5	12X6	14X7	16X8
2L1OZ	46.84°C	42.06°C	36.71°C	35.03°C	29.37°C
2L2OZ	43.63°C	39.23°C	34.92°C	32.54°C	29.09°C
4L1OZ	40.25°C	35.46°C	33.09°C	30.70°C	28.78°C
4L2OZ	37.23°C	32.89°C	31.26°C	29.55°C	28.56°C

从表 7 中可以看出，在不同的通孔矩阵中，ΔT 呈上升趋势：2L1OZ > 2L2OZ > 4L1OZ > 4L2OZ 随着通孔矩阵尺寸的增大，4 块 PCB 板之间的 ΔT 差距也随之缩小。在通孔矩阵为 8 x 4 的情况下，4L2OZ 的温升比 2L1OZ 约低 10°C。在通孔矩阵为 16x8 的情况下，4 块 PCB 板的温升几乎相同。

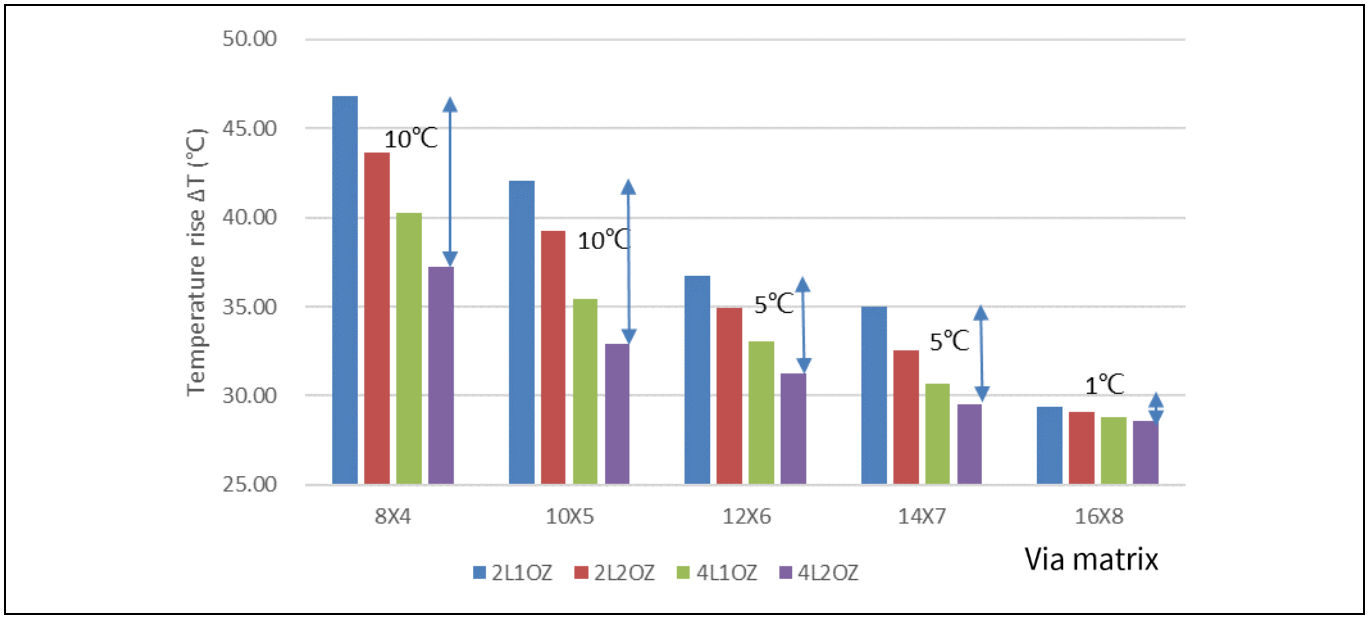


图 9. 在 0.3 A 电流条件下、具有不同通孔矩阵的不同 PCB 板的温升情况

原因是铜的厚度随着层数增加而增加。 PCB 中使用的铜越多，散热率也会相应增加。当通孔较少时，铜是主要的散热通道。由于通孔矩阵尺寸的增大，通孔成为主要的散热途径。

测试结果和解读

因此，当通孔矩阵较小时，可以通过选择层数更多或铜厚度更大的 PCB 来增加散热量。但当通孔矩阵较大时，增加 PCB 层数和铜厚度不再产生明显效果。

结论 1： PCB 层、铜厚度和通孔数量

- 当漏极总铜尺寸小于 3S（202.35 mm^2）时，增加 PCB 层数和铜厚度将显著改善热性能。另外，增加 PCB 层数比增加铜厚度更有效。
- 否则，当漏极总铜尺寸大于 3S （202.35 mm^2）时，PCB 层和铜厚度的影响就会减弱。1 盎司和 2 层足够可以冷却。

因此，表层非常重要。当铜的尺寸足够大时，大部分热量都由顶层传导。否则，我们就必须增加 PCB 层数和铜厚度。

4.2 不同电流的影响

该测试测量了不同 通孔矩阵在 0.1 A 至 0.5 A 电流下的温升。由于趋势相同，这里选择 4L1OZ PCB 的结果进行分析。内通孔直径为 0.3 毫米，外通孔直径为 0.5 毫米。 表 8 中记录的数据显示在图 10 中。

表 8. 2L1OZ PCB 上不同通孔矩阵在 0.1A 至 0.5A 电流下的温升情况

PCB 为 2L1OZ	通孔矩阵 (°C)				
电流	8X4	10X5	12X6	14X7	16X8
0.1A	14.64	13.08	11.67	10.68	9.47
0.2A	29.62	26.83	24.33	22.65	19.49
0.3A	46.84	42.06	36.71	35.03	29.37
0.4A	59.67	52.24	46.31	43.24	37.82
0.5A	73.14	65.88	59.96	56.68	50.69

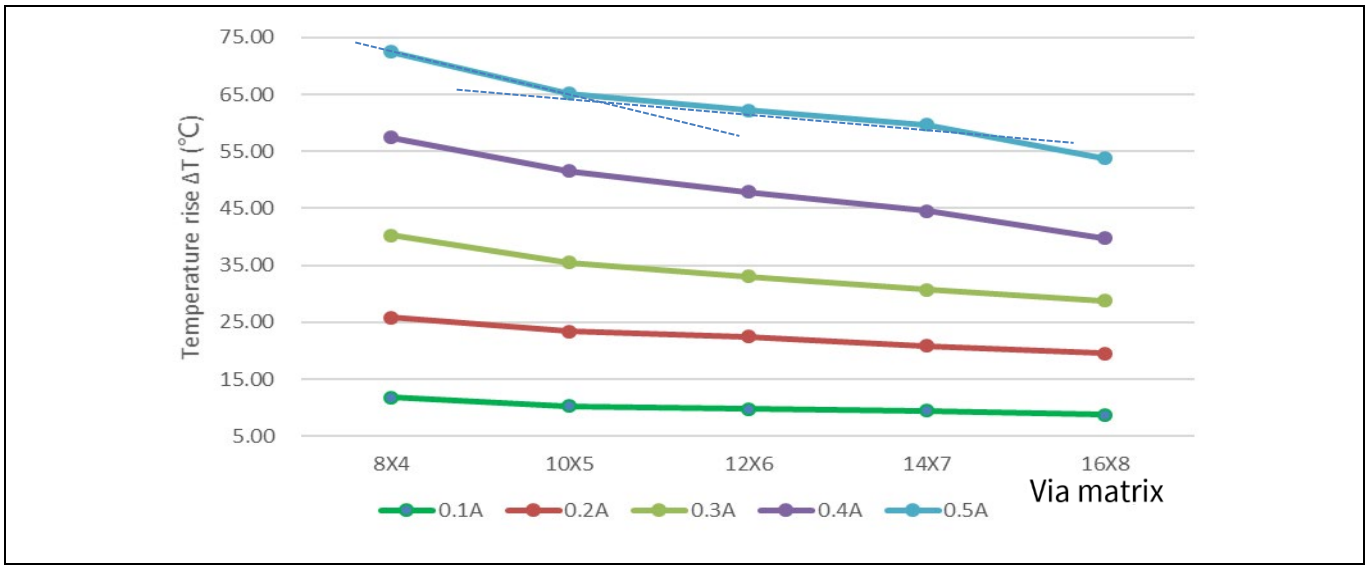


图 10. 2L1OZ PCB 上不同通孔矩阵在 0.1A 至 0.5A 电流下的温升情况

从图中可以看出，如果电流增大（意味着功率增大），ΔT 也会增大。当电流较小时，不同通孔矩阵的温升差异可以忽略不计。电流大时，差值也大。

对于 2L1OZ PCB，在 0.1 A 电流条件下，这 5 个通孔矩阵的温升在 12 +/- 3°C 范围内。但在 0.5 A 时，8x4 通孔矩阵的温度变化比 16x8 高约 23°C。换句话说，2L1OZ PCB 的 ΔT 受到电流的影响更大，因为斜率更陡。

因此，当电流较小时，通孔插装式过孔的数量对温升的影响很小。当电流增大时，通孔插装式过孔的数量对温升的影响更大。从图 10 中还可以看出，在不同电流下，温升随着通孔矩阵的增长而降低。

结论 2：电流/功率对温度上升的影响

一般来说，功率/电流的变化不会影响总热阻抗，因为通常 ΔT 随电流线性增加。

4.3 阻焊层的影响

在某些情况下，阻焊会影响散热。该测试测量并比较了 4 种 PCB（带/不带阻焊层）上不同通孔矩阵的温升。内通孔直径为 0.3 毫米，外通孔直径为 0.5 毫米。 电流设置为 0.3 A。

表 9. 在 0.3 A 电流条件下、带/不带阻焊层的 2L1OZ/2OZ PCB 板的温升

	2L1OZ				2L2OZ			
通孔矩阵	**10X5**	**12X6**	**14X7**	**16X8**	**10X5**	**12X6**	**14X7**	**16X8**
带阻焊 (℃)	42.06	36.71	35.03	29.37	39.23	34.92	32.54	29.09
无阻焊 (℃)	39.16	33.61	32.63	26.41	35.46	31.15	28.66	26.24
温差 (℃)	2.90	3.10	2.40	2.96	3.77	3.77	3.88	2.85

可将表 9 中的数据转换成图 11 中所示。平均温度改善约为 3 ~4℃。

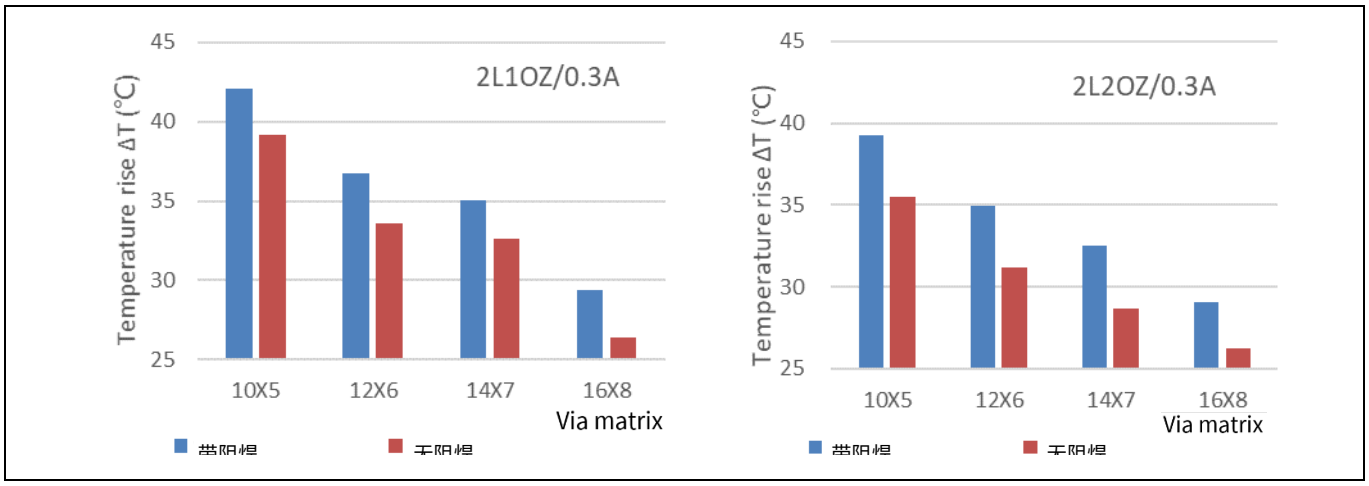


图 11. 带/不带阻焊层的 2L1OZ/2OZ PCB 板的温升

4L1OZ/4L2OZ PCB 的测试结果见表 10 。

表 10. 在 0.3 A 电流条件下、带/不带阻焊层的 4L1OZ/2OZ PCB 板的温升

	4L1OZ				4L2OZ			
通孔矩阵	**10X5**	**12X6**	**14X7**	**16X8**	**10X5**	**12X6**	**14X7**	**16X8**
带阻焊 (°C)	35.46	33.09	30.70	28.78	32.89	31.26	29.55	28.56
无阻焊 (°C)	32.71	30.41	27.64	25.25	29.82	27.34	26.25	24.53
温差 (°C)	2.75	2.68	3.06	3.53	3.07	3.92	3.30	4.03

测试结果和解读

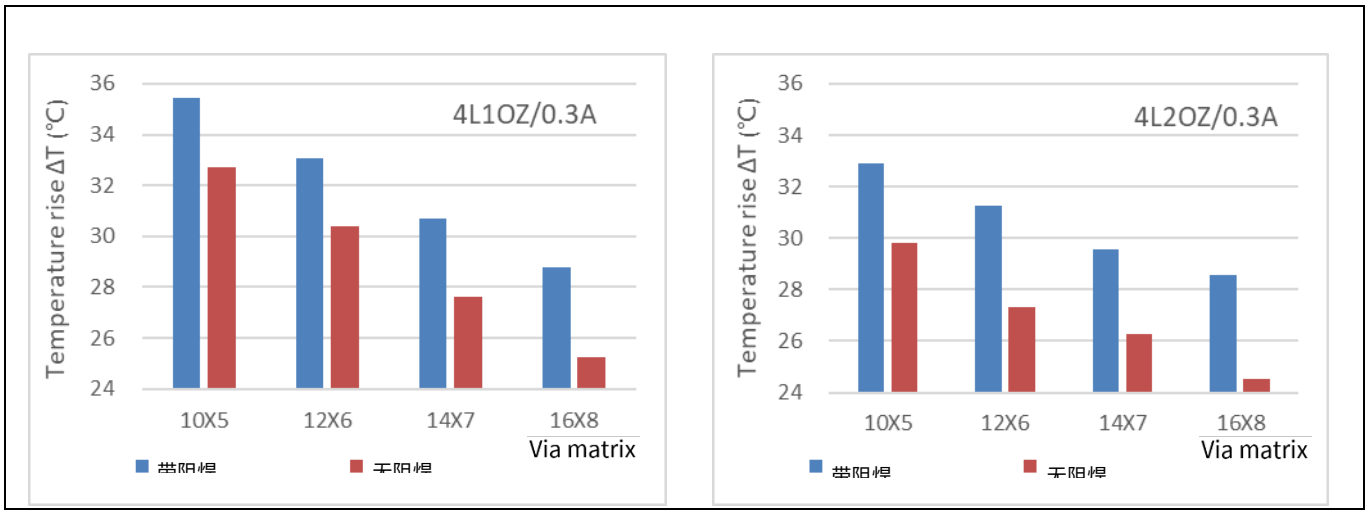


图 12. 带/不带阻焊层的 4L1OZ/2OZ PCB 板的温升

上述图表显示，阻焊层会影响温升。没有阻焊层时的温升约低 3-4°C 。

表 11. 在 不同电流条件下、带/不带阻焊层的 4L1OZ PCB 板的温升

PCB 类型为 4L1OZ	0.1A				0.3A				0.5A			
	10X5	12X6	14X7	16X8	10X5	12X6	14X7	16X8	10X5	12X6	14X7	16X8
带阻焊 (°C)	10.22	9.79	9.40	9.17	35.46	33.09	30.70	28.78	65.18	62.20	60.65	53.76
无阻焊 (°C)	9.13	9.02	7.88	7.78	32.71	30.41	27.64	25.25	60.30	57.47	54.81	48.45
温差 (°C)	1.09	0.77	1.52	1.39	2.75	2.68	3.06	3.53	4.88	4.55	5.84	5.31
平均 (°C)	1.2				3				5.1			

表 11 显示，有阻焊和无阻焊时的温升差异最小约为 1°C。最大差异约为 5°C。

假设正向电压为 V_f=2.5 V，0.3 A 时的总功率为 $P = V_f \times I_f = 2.5\ V \times 0.3\ A = 0.75\ W$。温度差为 $\Delta T = 3°C$，热阻抗差为 $\Delta Rth_{ja} = \Delta T/P = 3°C/0.75\ W = 4\ °C/W$.

结论 3: 有无阻焊层

如果去除 D2PAK 器件周围铜上的阻焊层，总热阻 Rth_{ja} 将减小 4 °C/W 。

4.4 THT 通孔插装式过孔直径的影响

该部分测试并分析了不同直径的 THT 通孔插装式过孔在不同类型 PCB 和不同电流下的温升。

内通孔直径分别为 0.3 毫米、0.4 毫米和 0.5 毫米，外通孔直径为 0.5 毫米。电流范围为 0.1 A 至 0.5 A。

首先，分析了 0.3 A 电流下不同直径 THT 通孔插装式过孔的温升。

4.4.1 在 0.3A 下对 2L1OZ / 2L2OZ 进行测试

表 12. 不同内通孔直径的 2L1OZ/2L2OZ PCB 在 0.3 A 电流条件下的温升情况

电流为 0.3 A	2L1OZ （单位：℃）				2L2OZ （单位：℃）			
通孔矩阵	**8x4**	**12X6**	**14X7**	**16X8**	**8x4**	**12X6**	**14X7**	**16X8**
内通孔直径 0.3 毫米	46.84	36.71	35.03	29.37	43.63	34.92	32.54	29.09
内通孔直径 0.4 毫米	42.59	35.97	32.35	30.51	43.43	39.18	31.29	25.27
内通孔直径 0.5 毫米	44.85	39.76	37.44	31.04	40.98	38.53	34.66	29.95

可将 表 12 中的测试结果转换成 图 13 中所示。

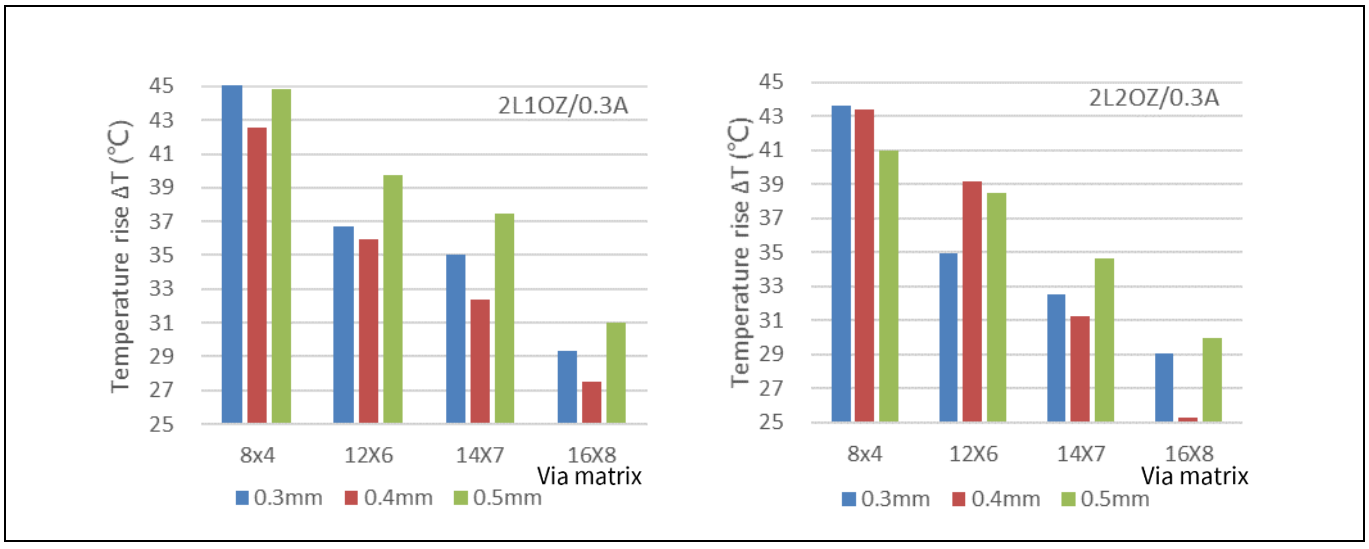


图 13. 0.3 A 时 2L1OZ/2L2OZ PCB 的温升

4.4.2 在 0.3A 下对 4L1OZ / 4L2OZ 进行测试

对 4l1OZ 和 4L2OZ 也进行了类似的热测试，以检查其性能。数据记录在 表 13 中。

表 13. 0.3 A 时 4L1OZ/2OZ PCB 的温升

电流为 0.3 A	4L1OZ （单位：℃）				4L2OZ （单位：℃）			
通孔阵列	8x4	12X6	14X7	16X8	8x4	12X6	14X7	16X8
内通孔直径 0.3 毫米	40.25	33.09	30.70	28.78	37.23	31.26	29.55	28.56
内通孔直径 0.4 毫米	34.90	32.08	27.40	25.79	37.15	33.23	30.69	27.41
内通孔直径 0.5 毫米	36.29	32.87	30.06	29.82	39.33	35.47	32.26	29.43

可将 表 13 中的测试结果转换成 图 14 中所示。

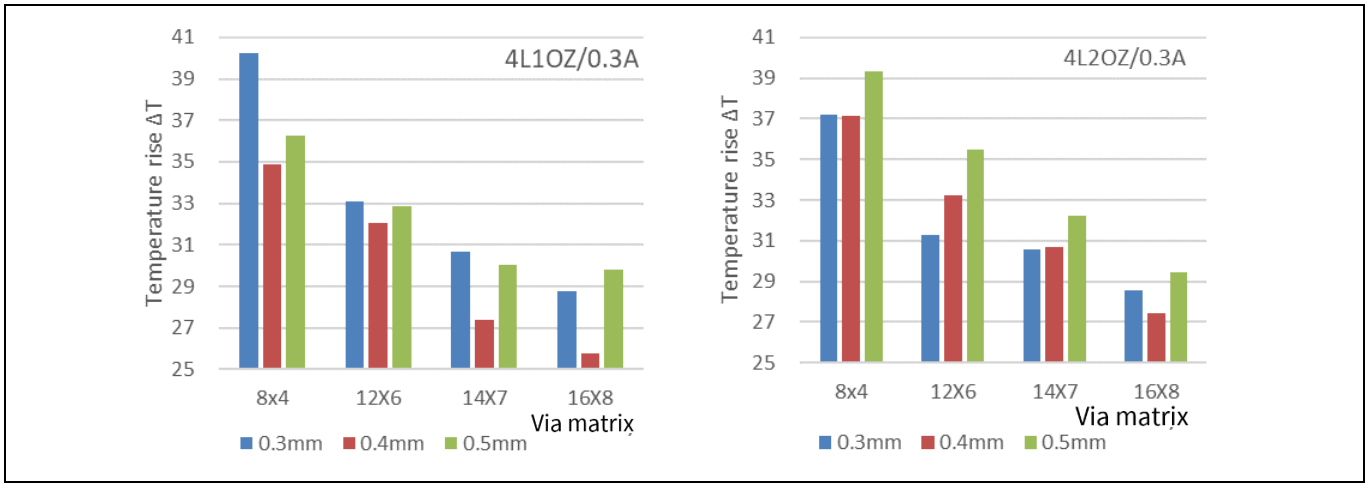


图 14. 0.3 A 时 4L1OZ/2OZ PCB 的温升

从以上四幅图中可以看出，几乎所有通孔直径为 0.4 毫米的通孔矩阵都能使不同 PCB 板上的温升最低。它们对铜厚度为 1 盎司的 PCB 板影响最大。

需要注意的是，当通孔矩阵较小且采用 2 盎司铜厚度的 PCB 时，0.3 毫米的通孔直径在散热方面也具有优势。有时，它的性能比 0.4 毫米的更好（例如，在 2 盎司铜 PCB 上使用 12x6 的通孔矩阵）。

测试结果和解读

此外，还分析了不同电流下不同直径插装式过孔通孔的温升。让我们以 4L1OZ PCB 为例：

表 14. 4L1OZ 上 0.1、0.3 和 0.5 A 电流条件下 0.3、0.4 和 0.5 mm 直径内通孔的温升

4L1OZ （单位：℃）	0.1A				0.3A				0.5A			
	8x4	12X6	14X7	16X8	8x4	12X6	14X7	16X8	8x4	12X6	14X7	16X8
内通孔 0.3 毫米	11.81	9.99	9.40	9.17	40.25	33.09	30.70	28.78	72.50	62.20	60.65	53.76
内通孔 0.4 毫米	10.87	9.75	8.14	6.95	34.90	32.08	27.40	25.79	62.73	57.04	48.21	43.65
内通孔 0.5 毫米	11.55	10.61	9.30	8.72	36.29	32.87	30.06	29.82	63.30	59.45	53.18	50.12

表 14 进一步说明，在不同的电流条件下，0.4 毫米直径在散热方面具有优势。换句话说，0.4 毫米通孔矩阵的温升较低。值得一提的是，这一优势在大电流情况下更为显著。

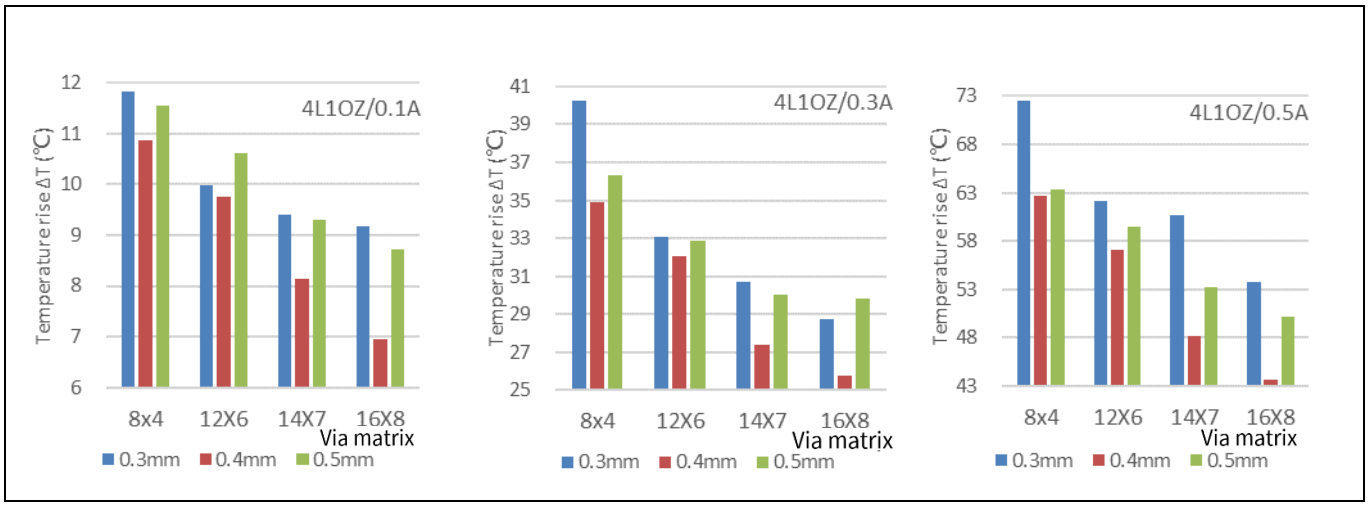


图 15. 0.1、0.3 和 0.5 A 电流条件下 0.3、0.4 和 0.5 mm 直径通孔的温升

根据测试结果，我们可以得出结论，与 0.3 毫米和 0.5 毫米相比，0.4 毫米直径产生的热性能最好。这表明，表层铜对热传递非常重要，而散热通孔内的空气则是低效热导体。因此，在增加铜的用量和通过通孔的空气量之间需要权衡。

结论 4：内通孔直径

与 0.3 毫米和 0.5 毫米相比，0.4 毫米的内通孔直径温升最低。

4.5 散热器的影响

最后，我们还考虑了散热器对温升的影响。实验数据与没有散热器的情况做了对比。测试中使用的通孔矩阵为 8 x 4，焊盘周围没有通孔矩阵。通孔插装式过孔的直径为 0.4 毫米。 图 6 和 表 5 描述了电路板上的散热器组件。在这次测试中，测量点位于封装的侧面。

表 15. 2L1OZ/2OZ 和 4L1OZ/2OZ PCB 上不同散热器在 0.1、0.3 和 0.5 A 电流条件下的温升情况

PCB 类型和电流	0.1A				0.3A				0.5A			
	2L1OZ	2L2OZ	4L1OZ	4L2OZ	2L1OZ	2L2OZ	4L1OZ	4L2OZ	2L1OZ	2L2OZ	4L1OZ	4L2OZ
无散热器 (℃)	15.94	15.74	15.17	14.50	52.34	48.49	45.87	44.16	87.56	81.22	77.75	74.18
带散热器 HS1(℃)	14.19	12.54	12.10	12.01	44.94	44.18	42.67	41.09	79.02	74.75	67.93	64.00
带散热器 HS2(℃)	15.15	14.57	13.68	13.27	47.76	45.29	43.21	42.66	83.33	74.47	71.08	70.80

可将 表 15 中的测试数据转换成 图 16 中所示。

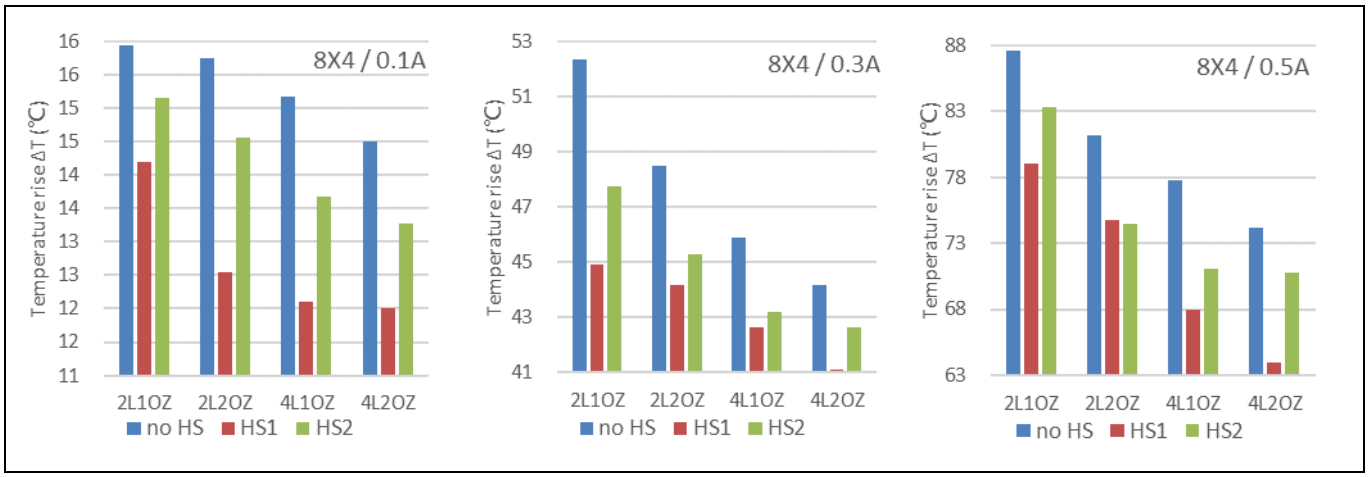


图 16. 不同散热器在 0.1、0.3 和 0.5 A 条件下的温升

从上图可以看出，散热器对散热产生积极影响。在大电流条件下，加装散热器可将温升降低约 10°C。

此外，HS1 的散热性能优于 HS2，因为 HS1 由铜制成，而 HS2 由铝制成。

结论 5： 散热器的选择

铜制散热器能最大程度地帮助散热。

4.6 是否需要使用散热器

该测试比较了在增加散热面积和安装散热器两种情况下的温升变化。最后，根据散热要求提出了建议。至于是增加散热面积还是安装散热器，客户可以自行决定。

以 4L1OZ PCB 为例：第 1 组安装了散热器。第 2 组修改了通孔 矩阵。两组的内通孔直径均为 0.4 毫米。第 2 组的外通孔直径为 0.5 毫米。

由于两组数据的测量点不同，因此无法直接比较两组的温升。因此，我们使用不带外通孔矩阵和散热器的 4L1OZ PCB 作为基准，对两组数据进行了比较。 表 16 和 表 17 的第二列显示了在相同 PCB 布局上分别从封装侧面和中心测得的温度。

表 16. 4L1OZ PCB 上不同散热器在 0.1 A、 0.3 A 和 0.5 A 电流下的温升情况

PCB 类型：4L1OZ	散热器				
电流	无 HS (散热器)	HS1(散热器 1)		HS2(散热器 2)	
0.1A	15.17℃	12.10℃	ΔT= 3.07℃	13.68℃	ΔT=1.49℃
0.3A	45.87℃	42.67℃	ΔT= 3.2℃	43.21℃	ΔT=2.66℃
0.5A	77.75℃	67.93℃	ΔT= 9.82℃	71.08℃	ΔT=6.67℃

表 17. 4L1OZ PCB 上不同通孔矩阵在 0.1 A、 0.3 A 和 0.5 A 电流下的温升情况

PCB 类型：4L1OZ	通孔矩阵						
通孔矩阵	8X4 (67.45 mm^2)	12X6 (163.94 mm^2)		14X7 (229.35 mm^2)		16X8 (309.92 mm^2)	
0.1A	10.87℃	9.75℃	ΔT=1.12℃	8.14℃	ΔT=2.73℃	6.95℃	ΔT=3.92℃
0.3A	34.90℃	32.08℃	ΔT=2.82℃	27.40℃	ΔT=7.5℃	25.79℃	ΔT=9.11℃
0.5A	62.73℃	57.04℃	ΔT=5.69℃	48.21℃	ΔT=14.52℃	43.65℃	ΔT=19.08℃

将 12x6、14x7 和 16x8 通孔矩阵的值减去 8x4 通孔矩阵的值，就可以得出增加散热面积对温升的影响。同样，将 HS1 和 HS2 的值减去 No HS 的值，就可以得出散热器对温升的影响。

根据上述分析，新数据如下：

首先，为便于比较，将 8x4 通孔矩阵和无散热器版本的温度设置为 0°C。负数表示与 "8x4 通孔矩阵 "或 "无 HS "比较的温度下降量。

从上表可以得出结论，在电流为 0.1、0.3 和 0.5 A 时，安装散热器的效果优于小散热面积。当散热面积增大时，其散热效果会比安装散热器更好。

测试结果和解读

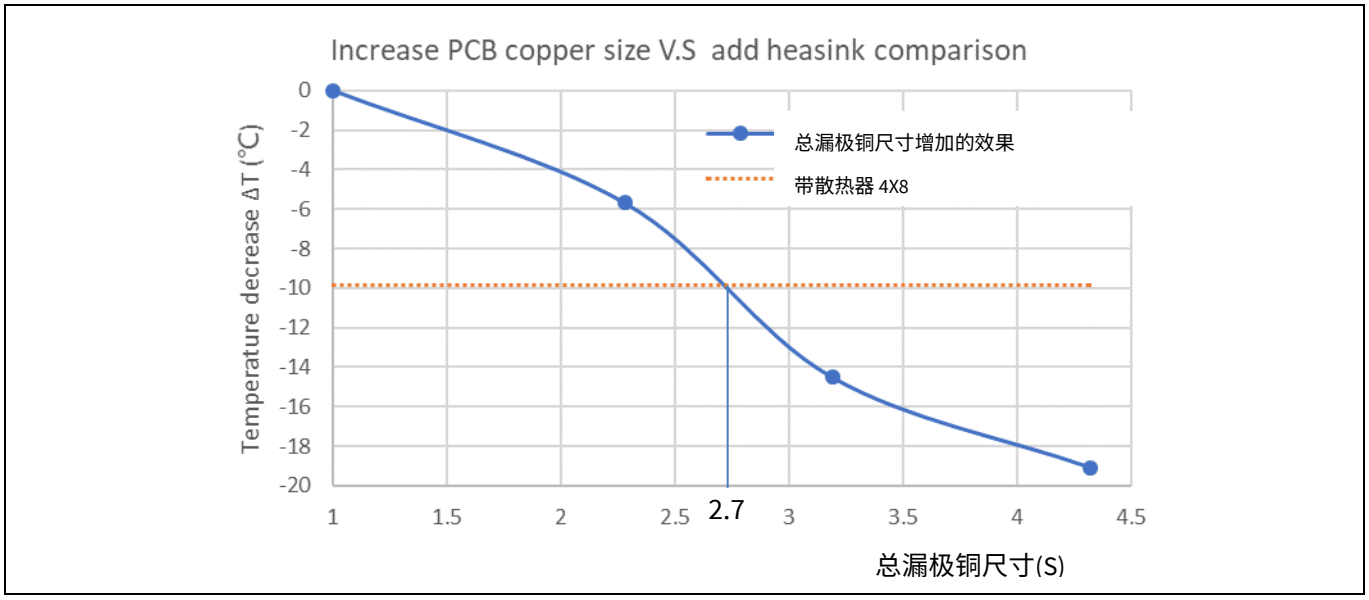


图 17. 0.5 A 电流条件下 PCB 铜板尺寸与 HS1 的热性能比较

从上图可以更准确地看出，当面积小于 2.7 S 时，用散热器的散热效果更好。另一方面，当散热面积增大时，散热更多更好。

换句话说，在散热面积足够大的情况下，采用增大散热面积的策略来大幅提高散热效果更为有效。

结论 6：是否需要使用散热器

只有当漏极铜的总尺寸小于 2.7S (182.12 mm^2) 时，才有必要考虑添加散热器。

5 结论

在对采用 TO-263 封装的 1700 V SiC MOSFET 在各种条件下的热行为进行测试后，我们总结了在 PCB 上实现最佳冷却性能的关键因素。测试结果表明，4L2OZ 电路板的冷却效果优于 2L1OZ 电路板。不过，当漏极铜总面积大于焊盘下铜面积的三倍（≥200 mm^2）时，电路板类型的影响就不那么关键了。此外，研究还发现，使用焊盘下方和周围 0.4 毫米的散热通孔，温度变化较低。焊盘周围的阻焊层使总热阻抗 R_{thja} 增加约 4℃/W。此外，当漏极铜总面积限制在焊盘下铜面积的 2.7 倍（< 182 mm^2）时，使用散热器可提高热性能。在这种情况下，铜散热片比铝散热片效果更好。数据显示，即使不使用散热器，MOSFET 也具有出色的散热性能，因此当通孔矩阵尺寸较大时，工程师应考虑在设计中放弃使用散热器。

6 参考文献

[1] 数据手册: Infineon-IMBF170R1K0M1-DataSheet-v02_01-EN

[2] 应用笔记 AN201708-表面贴装半导体封装的热性能

[3] 英飞凌封装组装的一般建议 [在线]。可用： https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-General_Recommendations_for_Assembly_of_Infineon_Packages-P-v04_00-EN.pdf?fileId=5546d4625cc9456a015ccaf4a1fe3a32

附录: PCB

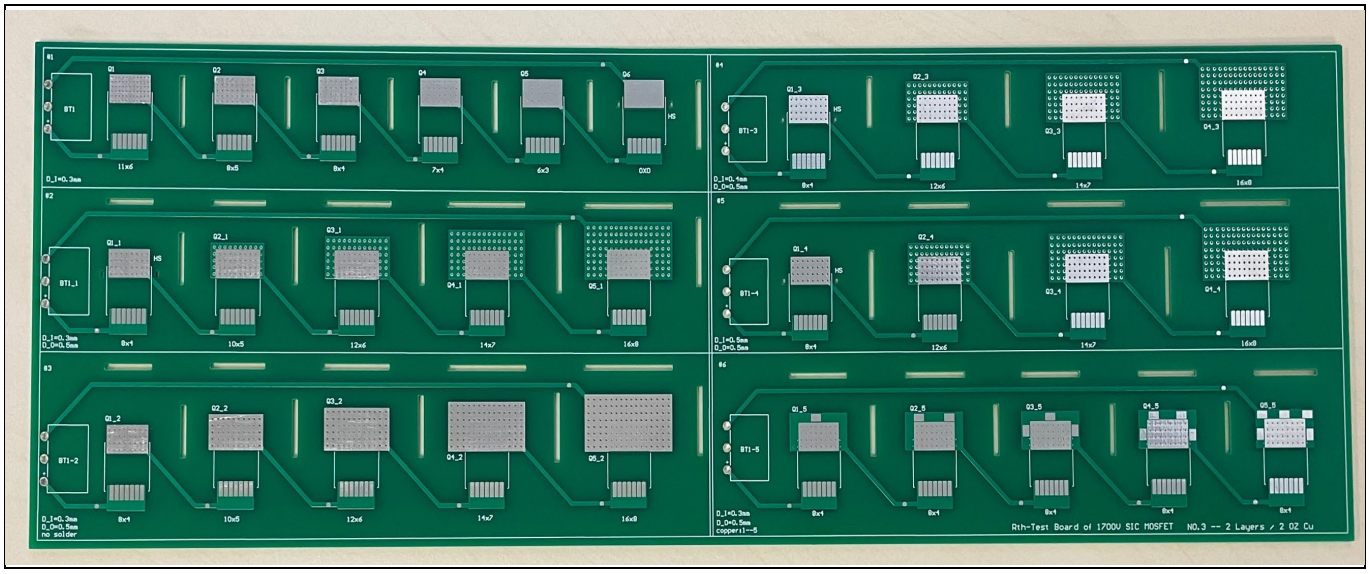


图 18. 经测试的 PCB

修订历史

文档版本	提交日期	变更说明
V1.0	2021/02/19	初始版本
V1.1	2021/04/20	更新
V2.0	2021/05/03	更新

Trademarks
All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

Edition 2021/05/03

Published by

Infineon Technologies AG

81726 Munich, Germany

© 2024 Infineon Technologies AG. All Rights Reserved.

Do you have a question about this document?

Email: erratum@infineon.com

Document reference
AN-2021-02_ZH

重要提示

本文档所提供的任何信息绝不应当被视为针对任何条件或者品质而做出的保证（质量保证）。英飞凌对于本文档中所提及的任何事例、提示或者任何特定数值及/或任何关于产品应用方面的信息均在此明确声明其不承担任何保证或者责任，包括但不限于其不侵犯任何第三方知识产权的保证均在此排除。此外，本文档所提供的任何信息均取决于客户履行本文档所载明的义务和客户遵守适用于客户产品以及与客户对于英飞凌产品的应用所相关的任何法律要求、规范和标准。

本文档所含的数据仅供经过专业技术培训的人员使用。客户自身的技术部门有义务对于产品是否适宜于其预期的应用和针对该等应用而言本文档中所提供的信息是否充分自行予以评估。

如需产品、技术、交付条款和条件以及价格等进一步信息，请向离您最近的英飞凌科技办公室接洽(www.infineon.com)。

请注意，本产品不符合汽车电子委员会的 AEC Q100 或 AEC Q101 文件要求。

警告事项

由于技术所需产品可能含有危险物质。如需了解该等物质的类型，请向离您最近的英飞凌科技办公室接洽。

除非由经英飞凌科技授权代表签署的书面文件中做出另行明确批准的情况外，英飞凌科技的产品不应当被用于任何一项一旦产品失效或者产品使用的后果可被合理地预料到可能导致人身伤害的任何应用领域。