

## 导热硅脂涂布的探讨

编写：陈浩 审阅：Norman Day

### 前言：

IGBT 模块做为现在电控行业中最核心的部件之一，因而其应用设计和一直都受到用户的广泛关注，特别是对于模块散热的设计。事实上模块的平整性，安装时与散热器的接触状况，封装中陶瓷的材质，焊料的厚度，内部气孔率等多方面因素都会影响到 IGBT 的散热。下文我们就从安装时的导热硅脂出发，探讨导热硅脂涂布与模块散热的关系。

### 模块热分析：

模块内部的芯片结构示意图如图一所示。

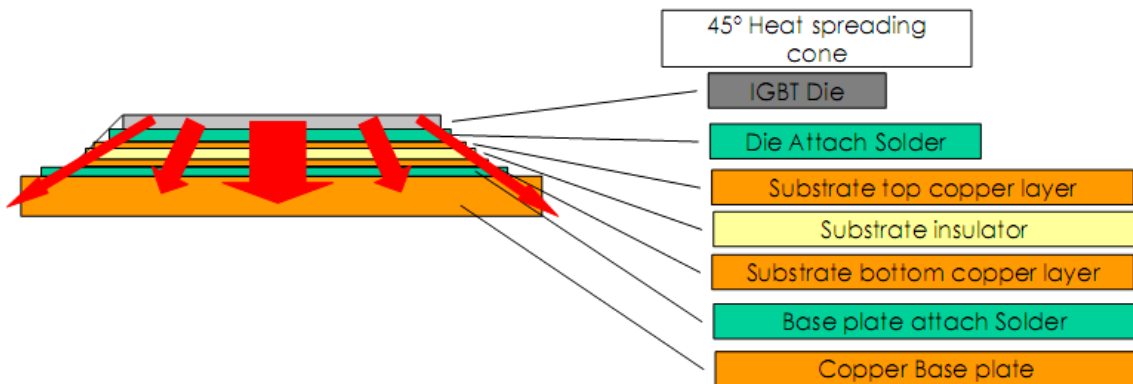


图 1 模块内部的芯片结构示意图

图 1 中红色箭头表示模块在工作时，芯片的热传递。从图中可以看出，芯片工作产生热传递到铜基板需要经过焊锡、铜层、陶瓷绝缘板、铜层、焊锡五层，此五层材料都会贡献热阻，阻碍散热效果，特别是陶瓷绝缘板，因为其热传导系数低（该状态下  $K=24\text{w/k/m}$  左右），且厚度大于其余接触层，所以其对散热的阻碍效果相对其他层更为明显。特别需要注意的是在这五层中的气孔率也会一定程度上阻碍散热效果。

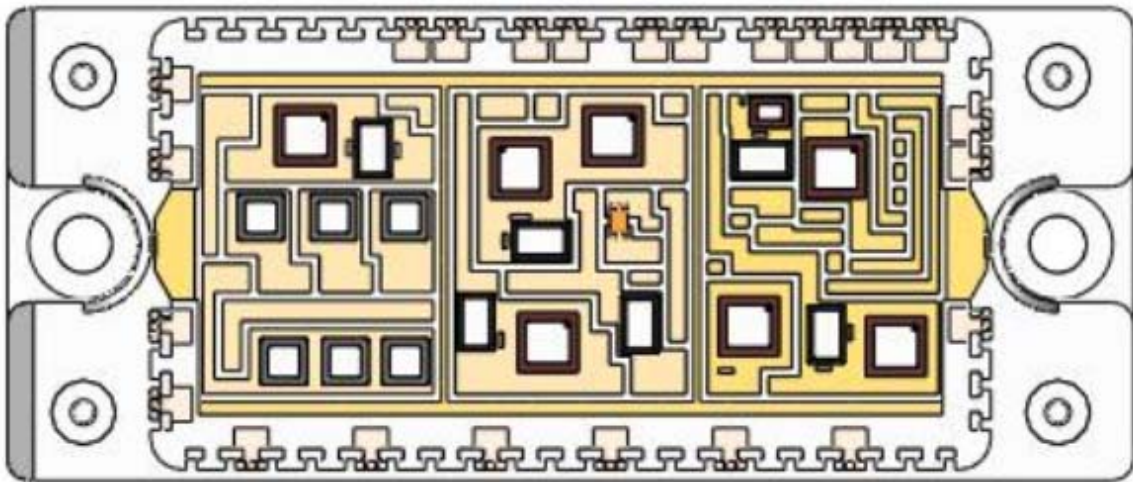


图 2 模块内部结构分布示意图

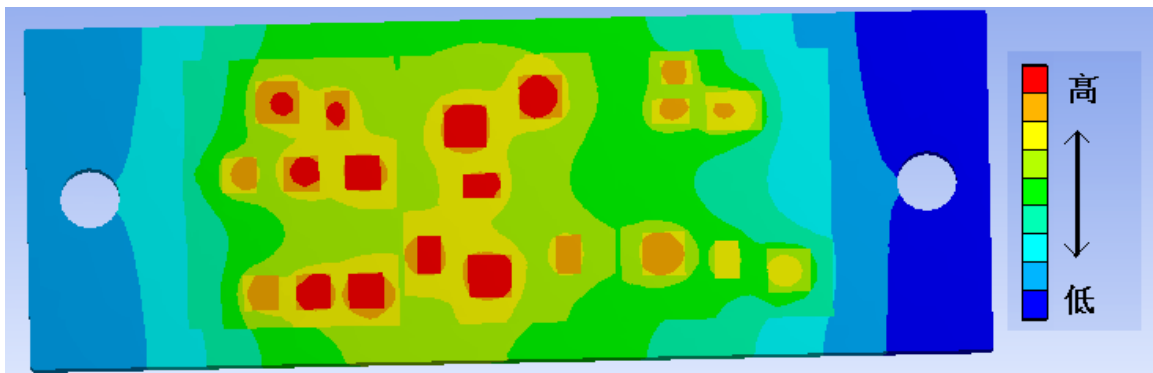


图 3 工作模块内部热分布色彩示意图

图 2 为我司模块 GD40PIK120C5 模块内部结构分布示意图，图 3 为该模块正常工作时内部热分布色彩示意图。通过图 2 和图 3 的对比，可以判断模块的热分布为阶梯状分布，芯片的分布及其相对密集度直接决定了热分布情况。一般模块的应用都是安装于大型散热器上，如何才能做好与散热器的接触并保证模块更好的散热是一个很关键的工序，下面便针对这个接面的处理作进一步的探讨。

### 导热硅脂涂布的必须性：

在一般人的认识中，安装面平整的散热器和底板平整的模块组成的系统接触是最好的，其实这是最常见的一种误区。

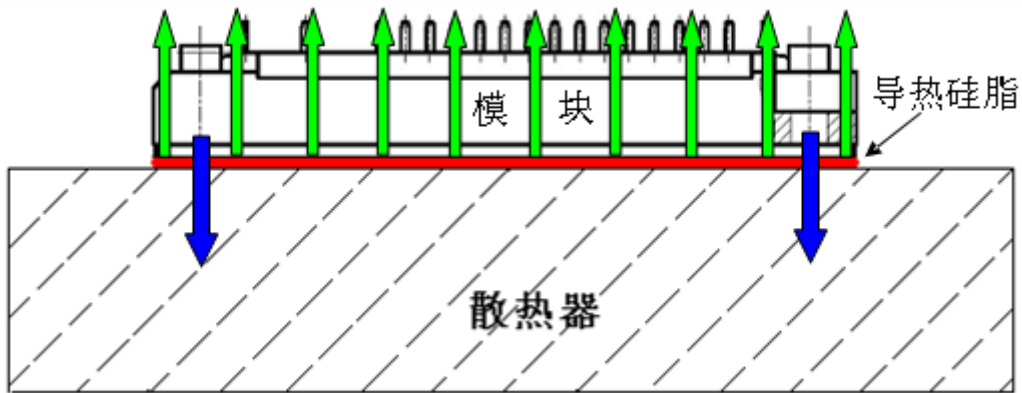


图 4 模块安装受力分析图

首先，模块在安装过程中会受力变形，影响面的平整性。如图 4 所示，蓝色箭头表示模块底板受到由安装螺丝产生的向下的力，绿色箭头表示模块底板受到由散热器和导热硅脂对模块底板挤压造成的向上的力，由于所受力点不一致，从而导致模块底板的变形。对此，我司模块均采用预弯技术，保证模块在安装时的吻合性和接触性。

其次，散热器和模块底板表面肉眼观察是平整光滑的平面，其实用放大镜检视，可以看到金属表面许多坑坑洼洼的条纹和不规则坑道，导致接触面中间有许多罅隙，这些罅隙如果由空气来填充，该状态下空气的热传导系数为  $0.007\text{w/k/m}$  左右，导热效果会很差。而如果使用导热硅脂能够填满这些罅隙，该状态下导热硅脂的热传导系数是  $1\text{w/k/m}$  左右，远远大于空气的热传导系数，则会大幅改善传热的效果。

最理想的状态是模块底面上涂抹的导热硅脂刚好填补各个罅隙，而不影响金属的接触，但这样的想法基本上是不可能实现的，所以只能尽量优化导热硅脂的效果，下面则通过实验来寻找个实际可行的方法于条件。

### 导热硅脂验证:

为了验证导热硅脂涂抹对散热的作用，本文采用模块实际安装的方法，进行温升测试。为了更好的表现导热硅脂的影响，我们将模块进行铣平处理，使模块的底面不平整性加大，如图 5，铣平模块样品测试的凹凸度大于 5 丝以上。实验情况如下：



图 5 铣平模块底面图

#### 测试环境及要求:

本测试均在电机拖动实验室进行，运用设备主要有变频器（ALPHA6000-37R8GB），11KW 滑差电机(YCT225-4A)，热电偶及 XMJ-J 系列巡回检测仪，稳压源（SAKO），模块（GD40PIK120C5S），共同参数有门极电阻  $R_G=15\Omega$ ，输出电流  $I_o=17A$ ，载频  $F_w=8kHz$ 。

在本次测试中，为了凸显导热硅脂的相对效果，导热硅脂的涂布方式主要有三种。

方式一：导热硅脂均匀涂于模块底面，其成半透明状，部分模块底面模糊可见。厚度 $\leq 10$ 丝。如图 6.1。

方式二：导热硅脂均匀涂于模块底面，模块底面不可见，且厚度适中。10丝 $<$ 厚度 $\leq 50$ 丝。如图 6.2。

方式三：导热硅脂均匀涂于模块底面，且厚度较大，根据底面情况，一般在 50 丝以上。如图 6.3。



图 6.1



图 6.2



图 6.3

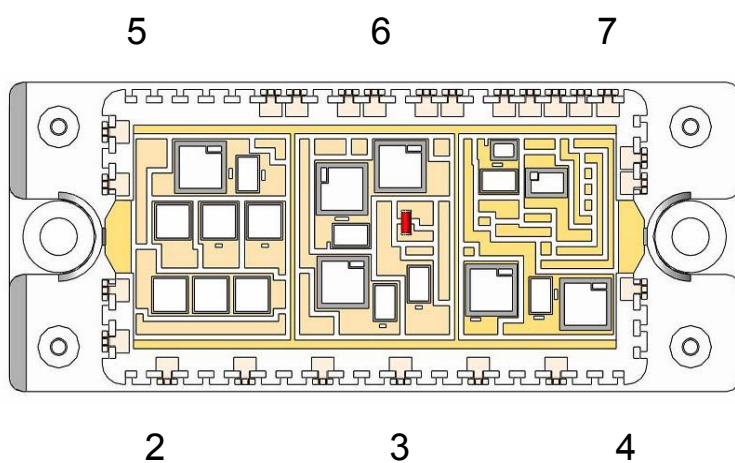


图 7 热电偶分布图



## 二. 测试情况

### 1. 测试数据与导热硅脂情况 (以下温度数据单位均为℃)

#### 1.1 导热硅脂涂布方式一

时间	2	3	4	5	6	7	8
8:32	33.0	39.0	34.4	36.9	43.8	33.7	19.3
8:37	45.1	50.8	45.4	48.6	54.3	43.4	20.1
8:42	47.4	52.7	47.5	50.8	56.1	45.4	19.7
8:47	48.6	53.8	48.4	51.9	57.1	46.2	20.1
8:52	49.6	54.7	49.2	52.8	58.0	47.1	20.5
8:57	50.4	55.5	50.1	53.5	58.7	47.9	20.9
9:02	50.8	55.9	50.4	54.0	59.2	48.3	20.7
温升	30.1	35.2	29.7	33.3	38.5	27.6	0



模块底板 (安装前) 散热器底面 (安装后) 模块底板 (安装后)

图 8.1 导热硅脂涂布方式一



1.2 导热硅脂涂布方式二

时间	2	3	4	5	6	7	8
12:42	29.2	35.2	31.2	32.9	37.0	29.8	18.2
12:47	43.4	49.4	44.4	46.7	51.0	42.4	20.4
12:52	46.1	51.7	46.5	49.1	53.2	44.5	19.8
12:57	47.1	52.6	47.6	50.4	54.3	45.7	20.6
13:02	47.8	53.5	48.4	51.0	55.1	46.4	21.2
13:07	47.7	53.4	48.2	51.1	55.0	46.3	20.8
13:12	48.2	53.8	48.6	51.5	55.5	46.8	21.4
温升	26.8	32.4	27.2	30.1	34.1	25.4	0



模块底板（安装前）散热器底面（安装后）模块底板（安装后）

图 8.2 导热硅脂涂布方式二



### 1.3 导热硅脂涂布方式三

时间	2	3	4	5	6	7	8
16:13	31.9	37.2	33.4	34.9	40.2	32.4	20.3
16:18	45.0	50.7	45.6	46.9	52.4	43.4	20.5
16:23	47.9	53.8	48.7	49.8	55.5	46.4	21.6
16:28	49.5	55.3	50.1	51.4	57.1	47.9	21.6
16:33	50.4	56.2	51.0	52.3	58.0	48.8	21.4
16:38	50.9	56.7	51.5	52.8	58.4	49.4	22.2
16:43	51.1	56.7	51.6	53.0	58.6	49.4	21.8
温升	29.3	34.9	29.8	31.2	36.8	27.6	0



模块底板（安装前） 散热器底面（安装后） 模块底板（安装后）

图 8.3 导热硅脂涂抹方式三





## 2. 温升比较情况

### 2.1 输出电流有效值 $I_o=17A$ , 载频 $F_w=8kHz$ , 测试时长 $T=30min$

	2	3	4	5	6	7
方式一 (°C)	30.1	35.2	29.7	33.3	38.5	27.6
方式二 (°C)	26.8	32.4	27.2	30.1	34.1	25.4
方式三 (°C)	29.3	34.9	29.8	31.2	36.8	27.6

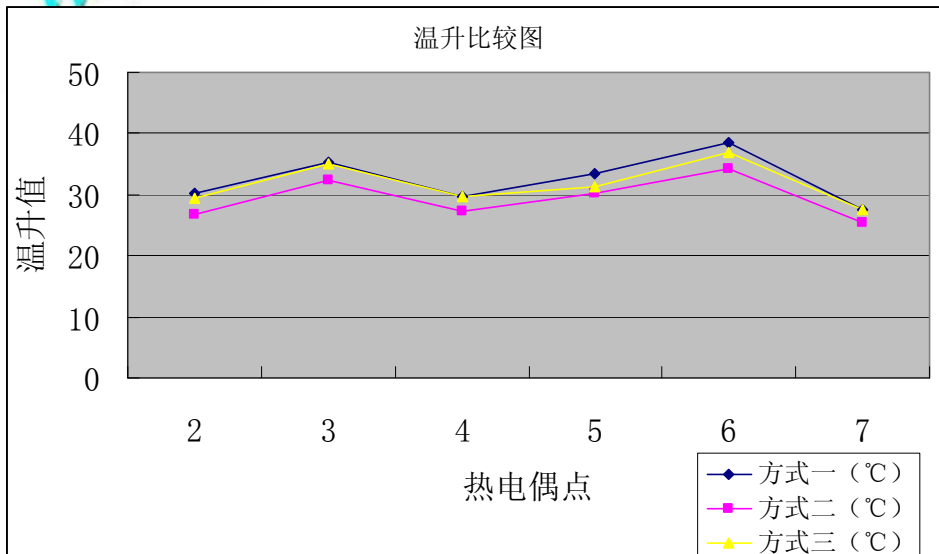


图 9 温升比较图

#### 测试结论:

通过对方式一和方式二的对比, 方式一的测试中模块底面透过导热硅脂的涂抹并没有完全与散热器接触, 而方式二的模块底面透过导热硅脂的涂抹已完全与散热器接触, 从温升数据验证了导热硅脂对模块散热的效果。

通过对方式二和方式三的对比, 验证了导热硅脂过厚并不利于模块的散热。

通过对方式一和方式三的对比, 说明模块底面平整度较差的模块在没有合适的测量工具时, 导热硅脂过厚相对于导热硅脂过薄更有利于散热。

上述实验只针对进过特殊加工的底面不平整模块, 对于底面平整的模块如何才能最优化的涂抹导热硅脂, 首先必须判定模块底面的平整性, 依据模块底面的平整性来涂抹。如何判定模块底面平整性, 请参阅我司网站中应用文章的《模块底面平整性检测方法介绍》一文。



## 结论:

本文通过对模块底面平整性的误区出发,进一步介绍导热硅脂与散热的关系,希望对读者在安装模块使用导热硅脂方面有一定的帮助。

[www.poweresemi.cc](http://www.poweresemi.cc)