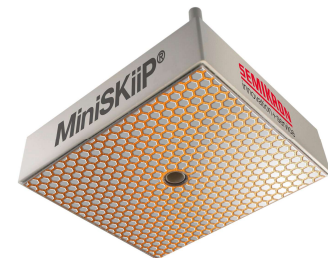


功率模块

处理导热涂层时如何避免错误

Power Modules

How to avoid errors when applying thermal paste



Dieter Esau, 工艺工程师, Dr. Michaela Strube, 服务工程经理

电力电子行业正在不断努力以增强功率模块的可靠性。该行业研究工作的主要焦点是半导体芯片、封装技术和 **DBC** 陶瓷基板。然而，对于安装在散热器上的功率模块，其脆弱点是模块和散热器之间因接触面不平整而产生的“缝隙”，必须用导热介质填充以除去其中的气泡。

赛米控正在设法使这两层间的“缝隙”闭合。首先，通过提供专业的导热涂层处理服务 - Pre-applied Thermal Paste for Power Modules（预涂功率模块导热涂层） - 该服务已被证明是相当成功的，已有超过 70 万块功率模块印刷上了导热涂层。此外，赛米控正在发展其在导热介质涂覆和功能领域的专有技术和专业技能。

导热介质的指定用途

导热介质通常由塑料载体材料（如硅油）和诸如氧化锌、石墨或银等的导热填充物质组成。它们可以以膏状物、粘合剂、相变材料和薄膜的形式提供。热界面材料导热比空气好，通常热导率 (λ) 为 0.5–6W/ m·K。换句话说，热界面材料的热导率优于空气的热导率约 20-200 倍。为了能够对热界面材料的导热性能进行分类，表 1 显示了功率模块中常用材料的比热导率。Wacker 公司的导热涂层 P12 被选为参照样本。热阻值 R(th) 是基于特定模块的热扩散来显示的。

Material	Spec. thermal conductivity Lambda	Thickness [µm]	Portion R(th) of SKiM modules
Chip	106	120	2,92%
Chip solder	57	70	3,65%
DCB (Copper)	394	300	1,94%
DCB (Al2O3)	24	380	32,91%
DCB (Copper)	394	300	1,31%
Thermal paste (P12 from WACKER)	0,81	30	57,26%

表 1：功率半导体模块中常用材料的比热导率

如果导热涂层的热导率与功率模块中其他组件的热导率相比较（见表 1），导热涂层的并不是特别好。取决于模块和与散热器结合，导热涂层对模块总体热阻 R(thjs) 的贡献度约为 20-65%。因此，导热涂层必须尽可能薄，但又要达到所需的厚度（见图 1）。

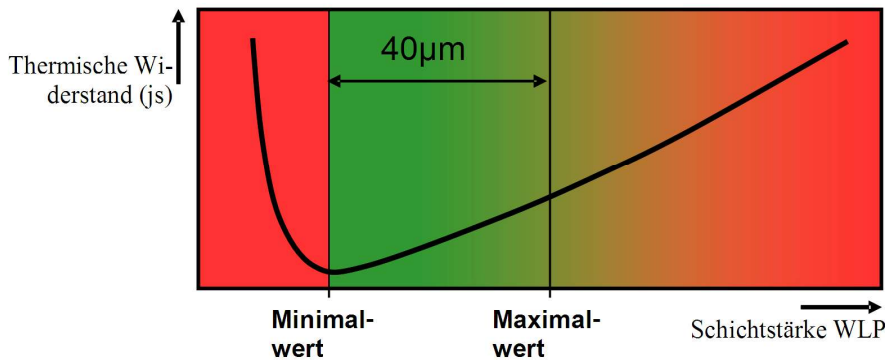


图 1：热阻对热界面材料层厚度的关联性

太薄的导热涂层会使模块底部和散热器顶部之间产生气泡，带来较高的热阻 $R_{th}(cs)$ 。一旦达到最佳厚度，外壳和散热器之间的热阻再次随导热涂层厚度的增加而快速增大。这是因为热传导介质的热导率是非常低于功率半导体模块中的其他材料的热导率。每种安装在散热器上的模块的最小值是不同的，必须通过合适的测试进行确定。

导热涂层成分的重要性

R_{th} 测试表明，实际应用中的导热涂层热导率不仅仅取决于它的比热导率，而且还与其成分相关。导热涂层填料粒子越大，比热导率越高。填料粒子的大小决定了最小层厚度。换言之，导热涂层的厚度不可能比其中的最大粒子更薄。经过几次温度循环，粒子小的涂层（如 P12：粒子直径为 $0.04\mu\text{m}-4\mu\text{m}$ ），几乎可以允许在那些压力特别高的点上进行金属对金属的接触，从而使 $R_{th}(cs)$ 显著减小。

导热涂层处理

可采用滚轮或印刷工艺将导热涂层涂在模块或散热器上。在采用滚轮涂覆时，通常用橡胶辊，而最常用的印刷方法是丝网印刷或模版印刷。

假如这一关键步骤是由经过相关培训的经验丰富的专业工作人员进行的，采用橡胶辊处理导热涂层能够带来足够的效果。然而，这种处理具有诸如非均匀性、重复性差和存在污染风险等缺点。

在模版和丝网印刷中，如果采用自动印刷方法，可以得到比滚轮处理更好的效果。手工印刷，就其本身而言，可能会带来相当大的处理偏差。但是，自动模版印刷处理的发展，其特点是连续过程监测，正如赛米控的这种情况，需要大量的投资，在经济上只对大批量的生产有意义。

除了遵守建议的涂层厚度，处理时应注意确保导热涂层在模块的底部或者散热器的表面均匀分布。非均匀分布的导热涂层（极端的例子：一个或几个导热膏小斑点）会导致 DBC 陶瓷基板破损（图 2）。这适用于带底板或不带底板的模块。除此之外，导热涂层的不均匀也可能由于模块底部和散热器表面顶部之间的气泡而导致局部过热。

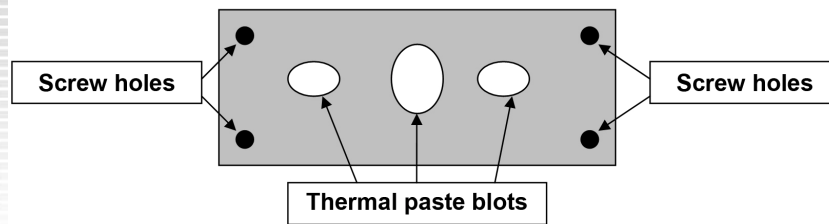


图 2：导热涂层处理有问题的模块底部

导热涂层厚度的测量

导热涂层的厚度可以直接或间接测量。例如，一种间接测量厚度的方法是通过使用合适的秤测量皮重来秤导热涂层。一个导热涂层直接非接触测量的例子是采用光学轮廓测定仪进行测量，如 Nano Focus 的 μ SCAN。其他可用于直接测量导热涂层的设备包括测厚仪，如湿膜梳（例如 Zehntner 公司的 ZND 2051 或 Elcometer Instruments 或 BYK Gardner (PG-3504) 或湿膜轮（如 Zehntner 公司的 ZWW 2100-2102 或 BYK Gardner），然而，这些仪器的缺点是它们可能会导致某些地方涂层的损坏。

确定导热涂层的最佳厚度

与特定散热器表面想匹配的特定导热涂层的最小厚度可通过一个规定的过程确定。起始的最小厚度约为 $10\mu\text{m}$ ，然后每一步增加 $10\mu\text{m}$ （另一种选择是轮换这些步骤）。这里，导热涂层根据模块制造商指定的规格被涂覆到模块或散热片或者铝板上。当拧紧安装螺丝，必须遵守模块制造商做规定的拧紧力矩。为了实现松弛的系统状态，已安装和拧紧的模块应经过 3 次热循环（ $20^\circ\text{C}/100^\circ\text{C}/1\text{h}$ ）。

热循环后，无底板模块无法轻易地在没有破坏的情况下被移走，因为模块被压到散热片/铝板上，粘的导热涂层分布其中，产生巨大的附着力。为确保非破坏性拆除，模块在螺丝拧松后应该在室温下保持不被触摸 12 小时，或者经历 1-2 次热循环。

一旦模块被旋松，模块底部的压印花纹将显示出导热涂层是否在模块和散热器之间提供了最佳的接触。图 3（左）显示了一个含有大面积导热涂层没被接触的模块底部。这表明，导热涂层实际太薄（约 $30\mu\text{m}$ 左右）。作为比较，图 3（右）显示了一个完全被导热涂层覆盖的散热底部，除了一些实现了金属对金属接触的高压点。这是导热涂层最佳（约 $50\mu\text{m}$ ）的象征。



图 3：糟糕的（左）和最佳的（右）模块导热涂层处理

通过为单独的安装在散热器上的模块提供优化的导热涂层厚度和采用自动处理工艺以保证质量标准，热传导介质的缺点可在一定程度上被弥补。然而，功率模块和散热器之间出现的“缝隙”问题，仍然具有最大的改善潜力。

导热涂层处理服务

赛米控提供的导热涂层处理服务，简化了模块往散热器上的组装。客户不再需要介入这一生产环节，因此可以降低成本。生产人员的手套不再有被导热涂层污染的风险，导热涂层也不会偶然进入产品中。这种被优化的，为模块特制的导热涂层厚度降低了整体的热阻及 DBC 陶瓷基板破碎的风险。导热涂层通过自动印刷过程处理，模块特定的导热涂层号称精度达到 $\pm 10\mu\text{m}$ 。处理过程采用六西格玛质量控制方法监控。带有导热涂层的模块用特制的、受专利保护的包装运给客户，以确保含有导热涂层的成品模块在运输中不被接触。导热涂层的模块最长可以存储在包装中 18 个月。现可以为 SKiM 63 和 93、SEMIPACK 2、SEMITRANS 2 和 MiniSKiiP 模块提供导热涂层处理服务。