

## 1.4 功率模块：多芯片结构的特点

### 1.4.1 功率模块的构造

在一个功率模块里，数个功率半导体芯片（MOSFET 或 IGBT 芯片以及二极管芯片）被集成到一块共同的底板上，且模块的功率元件与其安装表面（散热板）相互绝缘。

这些芯片的底面被焊接于（或被粘贴于）一块绝缘基片的金属化表面上。该绝缘基片的作用是在保证良好导热性能的同时还提供了相对于模块底板的电气绝缘。芯片的上表面被金属化，它的电气连接可以采用细的铝制键接线用键接的方式来实现。

此外，采用混合电路或单芯片的方式，无源元件如栅极电阻、电流传感器或温度传感器（例如，具有正温度系数的电阻）也可以被集成到模块中。

更进一步的智能功率模块还另外含有保护和驱动电路，见 1.6 章。

下面列出了当前应用于功率模块的绝缘基片：

#### 绝缘材料

陶瓷：三氧化二铝  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、氮化铝  $\text{AlN}$ 、氧化铍  $\text{BeO}$ 、四碳化三硅  $\text{Si}_3\text{N}_4$

有机材料：环氧树脂、聚酰亚胺

#### 基片

金属片：直接铜熔结 DCB (Direct Copper Bonding)、主动金属钎焊 AMB (Active Metal Brazing)、绝缘金属基片 IMS (Insulated Metal Substrate)，多层绝缘金属基片 (Multilayer-IMS)

厚膜层：厚膜铜 TFC (Thick Film Copper)

#### DCB (直接铜熔结)

图 1.42 显示一个功率模块的结构。它包含了 IGBT 和续流二极管，采用了当今最为流行的技术，即以三氧化二铝或氮化铝 DCB 陶瓷作为绝缘基片。这类绝缘基片同时具有绝缘电压高和导热性能优良的特点。

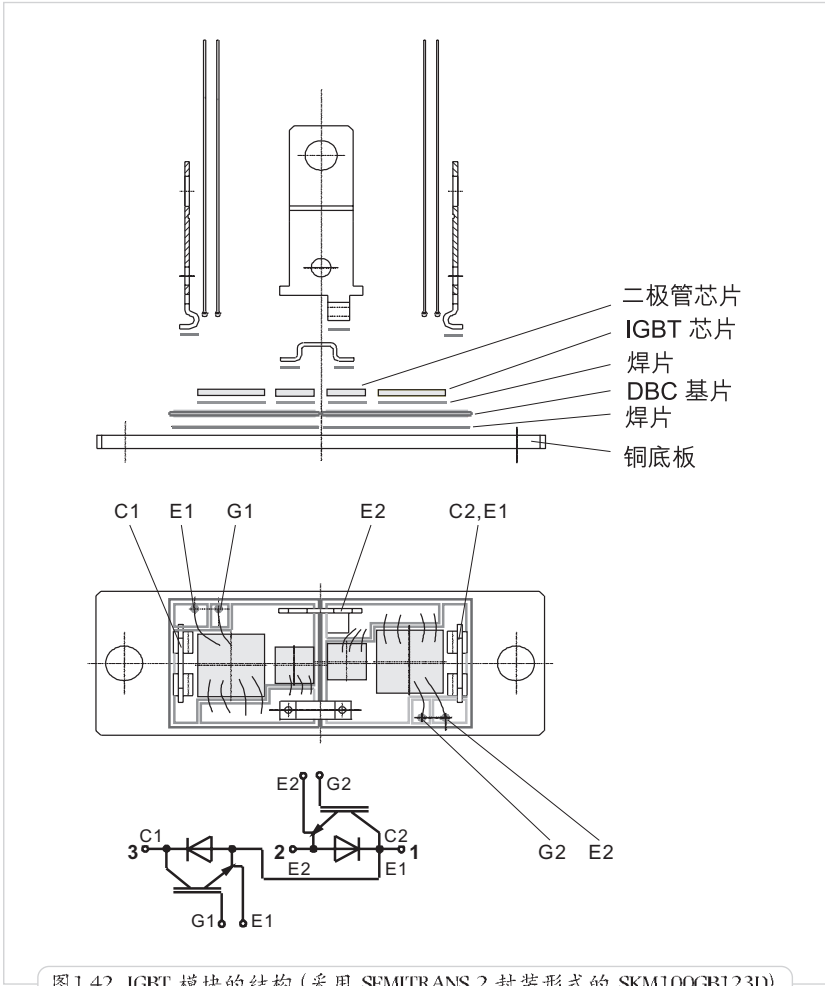


图1.42 IGBT 模块的结构 (采用 SEMITRANS 2 封装形式的 SKM100GB123D)

制造 DCB 基片的绝缘材料一般厚度为 0.38—0.63 毫米。在 1000°C 以上的高温作用下，绝缘基片的上下表面分别与约 300 微米厚的铜层共熔在一起。然后，对上表面的铜层进行蚀刻以得到模块所需的电路连接，并将芯片焊接于其上，而芯片上表面之间的连接则采用键接。DCB 基片的底部被固定在模块底板（约 3mm 厚）上，方式多为焊接，见图 1.42。

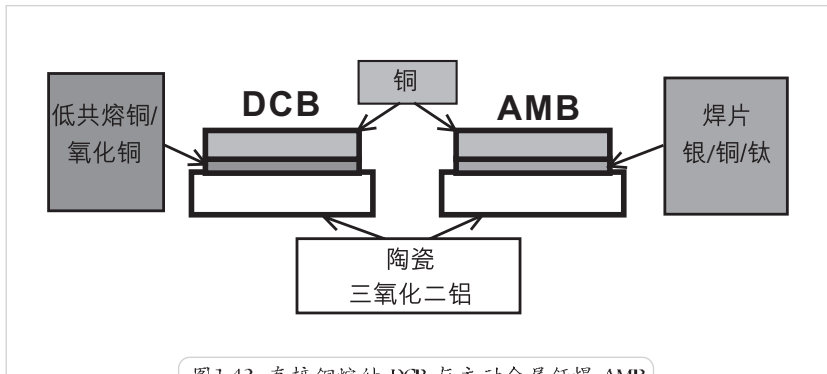
还有其他的封装形式（例如，SEMITOP、SKiPPACK、MiniSKiP）。在这类模块中，利用特殊设计的外壳结构，DCB 陶瓷基片被直接压到散热器表面（见 1.5 章）。由于省去了底板，所以少了一个焊接过程。

如果将 DCB 技术与其他封装形式相比较,则它的优点主要在于:铜层较厚,因而可以提供较大的电流承载力;陶瓷材料具有良好的传热能力,因而便于冷却;铜材料在陶瓷上具有很高的附着力,因而提高了可靠性。

### AMB (主动金属钎焊)

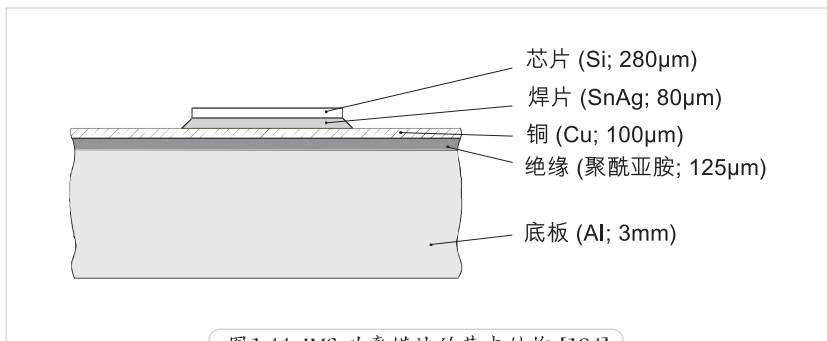
AMB 方法 (将金属膜硬焊接至基片的方法) 是 DCB 技术的进一步发展。与基于三氧化二铝陶瓷材料的基片相比,采用 AlN 陶瓷材料的 AMB 基片有着更小的热阻、更低的热膨胀系数和更稳定的部分放电能力。

图 1.43 清楚地显示了 DCB 和 AMB 的区别。



### IMS (绝缘金属基片)

IMS 主要被应用于低成本与低功率领域,它的特点是绝缘材料被直接置于底板之上。绝缘体多为聚合物,如环氧树脂、聚酰亚胺等,被放在一块铝底板上。在绝缘体上表面则粘贴了一层薄膜状的铜层,通过对铜层的蚀刻便可以获得所需的电路结构 (类似于印刷线路板的制造),见图 1.44。



与 DCB 技术相比, IMS 技术的优点在于其成本低、可以实现精细的结构(驱动和保护装置的集成变为可能)、基片的机械强度高、以及基片面积相对较大。

然而,因其绝缘层非常薄,所以导致了相对于安装面积较高的偶合电容,见 1.4.2.6 节。另外,其上表面极薄的铜层不利于芯片的热扩散。针对这一点的改善措施可以是在芯片下面附加金属化的热扩散层或在绝缘层中掺铝。

### TFC(厚膜铜)厚膜基片

与 DCB 相同,厚膜基片的基本材料也是绝缘陶瓷。但它可以用硅胶直接被粘贴于或焊接于底板以及散热片之上(图 1.45)。

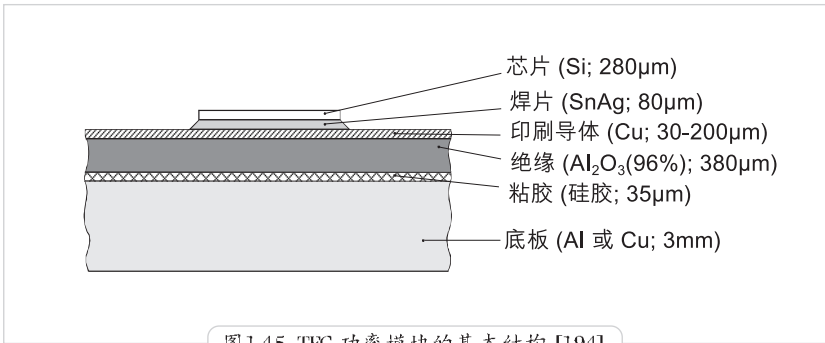


图 1.45 TFC 功率模块的基本结构 [194]

陶瓷上表面的印制电路由铜组成,并通过筛印方法而得到。功率半导体芯片或其它元件则被焊接于或粘贴于印制电路上。

TFC 技术还可以与标准的厚膜技术相结合使用。

由于采用厚膜技术中常见的材料可以实现几何尺寸很小的电阻,以及相互绝缘的印制电路可以被分层与重迭,所以在一块小面积上可以集成相当多的系统元件。但由于印制电路的连线非常细(例如,15 毫米),此类构造的电流承载能力局限在 10 安以内。