专辑寄语

功率器件以及支持其发展的周边技术

Power Devices and Peripheral Technologies

舟木　　刚 FUNAKI, Tsuyoshi
大阪大学大学院工学研究科教授　博士（工学）

功率器件的技术进步被认为是电力电子设备性能提升发展的牵引力。通过结晶成长或加工等手段，现在的 Si 半导体几乎可以自由操纵，采用它们的功率器件，已逐渐达到了其性能的极限。因此，要引领功率器件开发的变革，应该考虑 SiC（碳化硅）或 GaN（氮化镓）等宽禁带半导体。有些报刊杂志认为，仅将 Si 半导体替换为 SiC 等宽禁带半导体即可降低损耗。但是究其本质，是以往的 Si 半导体由于需要兼顾耐压和开通损耗不得不采用双极结构的高电压，而通过采用高破坏电场强度的半导体材料，即可采用单极结构。MOSFET 等单极器件不会有启动电压造成的损耗。而且，因为不进行电导率调制，所以开关动作迅速，没有反向恢复电流或拖尾电流产生的损耗。禁带的宽度，有利于在高温下维持耐压。

但是，在高电压电路中由于要做绝缘隔离因此需要很大的导体间距。这使得配线的寄生电感变大。高速开关动作使得电路的电流时间变化率变大，从而使寄生电感产生的浪涌电压变大。也就是说，电路的高电压化和高速开关之间存在均衡关系。要改善这种均衡关系，需要将多个功率器件与电路要素整合到模块当中。

另外，在电力电子系统中，要让占据大部分体积、重量的电感器、变压器或电容器等无源器件实现小型化，则要求开关动作要在高频率下进行。MOSFET 的高速开关动作，令高频率开关成为可能。但在高频运行下进行 MOSFET 的硬开关存在需要注意的地方。一般认为开关速度越快开关损耗越小，但在 MOSFET 的开通动作中，积累在耗尽层中的电荷通过沟道发生短路，会产生损耗。该损耗是固定的，与开关速度无关。所以在硬开关时，损耗随着开关频率的增高而成比例地增加，提高开关频率较为困难。因此，为了提高开关动作的频率，需要使用零电压开通的软开关方式。但是，为了切实做到软开关动作，需要检测电压、电流值，这就需要在功率模块中嵌入传感元件。

为实现低寄生电感而使功率模块小型化，也会导致功率器件损耗造成的发热密度增大，因此必须提高功率器件的散热性及耐热性。功率器件的半导体芯片被接合在模块基板上，进行电流释出及散热。通过焊锡进行贴合的热阻较大，但缓和了与模块基板上的铜线的线膨胀系数之差和温度变化引起的应力。使用银等烧结金属进行接合时工艺温度低于熔点，具有热阻低的特点。但是，为了实现低热阻而采用的薄接合层，其应力的缓和较为困难，要保证接合强度和可靠性，需要在接合工艺中进行加压等，这涉及到许多与接合有关的问题。另外，高电压功率模块的小型化会提高功率模块内部的电场强度。因此，不仅是功率器件，绝缘基板材料及密封材料也必须具有对高电场强度的耐性。绝缘材料方面不仅是绝缘击穿强度，还要考虑如空间电荷的积累或高温下体积阻抗率的降低等电特性，由于需要避免因气隙形成而产生局部放电现象，因此要保证密封工序中无气泡以及和基板材料的密合等，必须同时满足机械及化学特性。另外，由于功率模块的小型化减小了热传导的面积，同时也要求采用两面冷却或直接水冷等方法进一步提高冷却能力。

如上所述，要充分发挥先进功率器件的性能，需要同时不断开发并运用各类周边技术。即必须融合功率器件、金属 / 绝缘材料、热 / 机械等跨领域的技术和知识。从这一角度考虑，政府、企业、学校三方的合作发展令人期待。

富士电机

Fuji Electric

＊本刊记载的公司名称及产品，有可能是各相关公司的商标或注册商标。