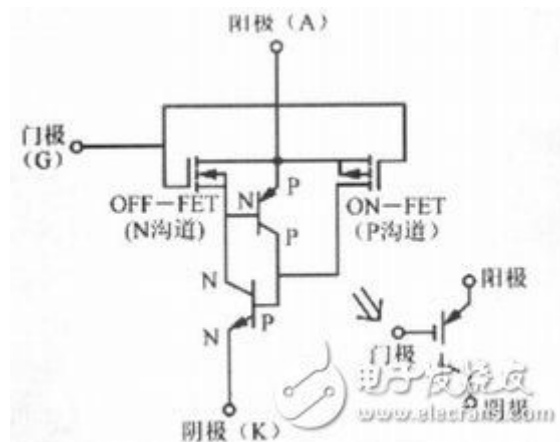


常用的功率半导体器件盘点汇总

电力电子器件（Power Electronic Device），又称为功率半导体器件，用于电能变换和电能控制电路中的大功率（通常指电流为数十至数千安，电压为数百伏以上）电子器件。可以分为半控型器件、全控型器件和不可控型器件，其中晶闸管为半控型器件，承受电压和电流容量在所有器件中最高；电力二极管为不可控器件，结构和原理简单，工作可靠；还可以分为电压驱动型器件和电流驱动型器件，其中 GTO、GTR 为电流驱动型器件，IGBT、电力 MOSFET 为电压驱动型器件。

1. MCT（MOS Control led Thyristor）：MOS 控制晶闸管



MCT 的等效电路图

MCT 是一种新型 MOS 与双极复合型器件。如上图所示。MCT 是将 MOSFET 的高阻抗、低驱动图 MCT 的功率、快开关速度的特性与晶闸管的高压、大电流特型结合在一起，形成大功率、高压、快速全控型器件。实质上 MCT 是一个 MOS 门极控制的晶闸管。它可在门极上加一窄脉冲使其导通或关断，它由无数单胞并联而成。它与 GTR，MOSFET，IGBT，GTO 等器件相比，有如下优点：

（1）电压高、电流容量大，阻断电压已达 3 000V，峰值电流达 1 000 A，最大可关断电流密度为 6 000kA/ m²；

（2）通态压降小、损耗小，通态压降约为 11V；

（3）极高的 dv/dt 和 di/dt 耐量，dv/dt 已达 20 kV/s，di/dt 为 2 kA/s；

（4）开关速度快，开关损耗小，开通时间约 200ns，1 000 V 器件可在 2 s 内关断；

2. IGCT（Intergrated Gate Commutated Thyristors）

IGCT 是在晶闸管技术的基础上结合 IGBT 和 GTO 等技术开发的新型器件，适用于高压大容量变频系统中，是一种用于巨型电力电子成套装置中的新型电力半导体器件。

IGCT 是将 GTO 芯片与反并联二极管和门极驱动电路集成在一起，再与其门极驱动器在外围以低电感方式连接，结合了晶体管的稳定关断能力和晶闸管低通态损耗的优点。在导通阶段发挥晶闸管的性能，关断阶段呈现晶体管的特性。IGCT 芯片在不串不并的情况下，二

电平逆变器功率 0.5~3 MW，三电平逆变器 1~6 MW；若反向二极管分离，不与 IGCT 集成在一起，二电平逆变器功率可扩至 4/5 MW，三电平扩至 9 MW。

目前，IGCT 已经商品化，ABB 公司制造的 IGCT 产品的最高性能参数为 4 [1] 5 kV / 4 kA，最高研制水平为 6 kV / 4 kA。1998 年，日本三菱公司也开发了直径为 88 mm 的 GCT 的晶闸管 IGCT 损耗低、开关快速等优点保证了它能可靠、高效率地用于 300 kW~10 MW 变流器，而不需要串联和并联。

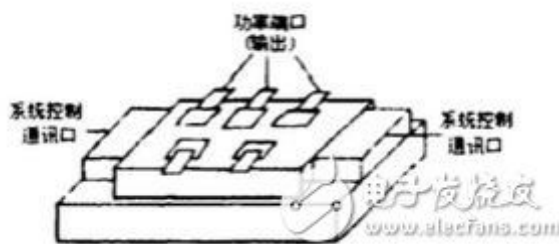
3. IEGT (Injection Enhanced Gate Transistor) 电子注入增强栅晶体管

IEGT 是耐压达 4 kV 以上的 IGBT 系列电力电子器件，通过采取增强注入的结构实现了低通态电压，使大容量电力电子器件取得了飞跃性的发展。IEGT 具有作为 MOS 系列电力电子器件的潜在发展前景，具有低损耗、高速动作、高耐压、有源栅驱动智能化等特点，以及采用沟槽结构和多芯片并联而自均流的特性，使其在进一步扩大电流容量方面颇具潜力。另外，通过模块封装方式还可提供众多派生产品，在大、中容量变换器应用中被寄予厚望。日本东芝开发的 IECT 利用了电子注入增强效应，使之兼有 IGBT 和 GTO 两者的优点：低饱和压降，安全工作区（吸收回路容量仅为 GTO 的十分之一左右），低栅极驱动功率（比 GTO 低两个数量级）和较高的工作频率。器件采用平板压接式电机引出结构，可靠性高，性能已经达到 4.5 kV / 1 500A 的水平。

4. IPEM (Integrated Power Electronics Modules) : 集成电力电子模块

IPEM 是将电力电子装置的诸多器件集成在一起的模块。它首先是将半导体器件 MOSFET, IGBT 或 MCT 与二极管的芯片封装在一起组成一个积木单元，然后将这些积木单元迭装到开孔的高电导率的绝缘陶瓷衬底上，在它的下面依次是铜基板、氧化铍瓷片和散热片。在积木单元的上部，则通过表面贴装将控制电路、门极驱动、电流和温度传感器以及保护电路集成在一个薄绝缘层上。IPEM 实现了电力电子技术的智能化和模块化，大大降低了电路接线电感、系统噪声和寄生振荡，提高了系统效率及可靠性

5. PEBB (Power Electric Building Block) :



典型的 PEBB

电力电子积木 PEBB (Pow er Elect ric Building Block) 是在 IPEM 的基础上发展起来的可处理电能集成的器件或模块。PEBB 并不是一种特定的半导体器件，它是依照最优的电路结构和系统结构设计的不同器件和技术的集成。典型的 PEBB 上图所示。虽然它看起来很像功率半导体模块，但 PEBB 除了包括功率半导体器件外，还包括门极驱动电路、电平转换、传感器、保护电路、电源和无源器件。PEBB 有能量接口和通讯接口。通过这两种接口，几个 PEBB 可以组成电力电子系统。这些系统可以像小型的 DC-DC 转换器一样简单，

也可以像大型的分布式电力系统那样复杂。一个系统中，PEBB 的数量可以从一个到任意多个。多个 PEBB 模块一起工作可以完成电压转换、能量的储存和转换、阻抗匹配等系统级功能，PEBB 最重要的特点就是其通用性。

6. 超大功率晶闸管

晶闸管 (SCR) 自问世以来，其功率容量提高了近 3000 倍。现在许多国家已能稳定生产 8kV / 4kA 的晶闸管。日本现在已投产 8kV / 4kA 和 6kV / 6kA 的光触发晶闸管 (LTT)。美国和欧洲主要生产电触发晶闸管。近十几年来，由于自关断器件的飞速发展，晶闸管的应用领域有所缩小，但是，由于它的高电压、大电流特性，它在 HVDC、静止无功补偿 (SVC)、大功率直流电源及超大功率和高压变频调速应用方面仍占有十分重要的地位。预计在今后若干年内，晶闸管仍将在高电压、大电流应用场合得到继续发展。

现在，许多生产商可提供额定开关功率 36MVA (6kV/6kA) 用的高压大电流 GTO。传统 GTO 的典型的关断增量仅为 3~5。GTO 关断期间的不均匀性引起的“挤流效应”使其在关断期间 dv/dt 必须限制在 $500 \sim 1kV/\mu s$ 。为此，人们不得不使用体积大、昂贵的吸收电路。另外它的门极驱动电路较复杂和要求较大的驱动功率。到目前为止，在高压 (VBR 3.3kV)、大功率 (0.5~20 MVA) 牵引、工业和电力逆变器中应用得最为普遍的是门控功率半导体器件。目前，GTO 的最高研究水平为 6in、6kV / 6kA 以及 9kV/10kA。为了满足电力系统对 1GVA 以上的三相逆变功率电压源的需要，近期很有可能开发出 10kA/12kV 的 GTO，并有可能解决 30 多个高压 GTO 串联的技术，可望使电力电子技术 [在电力系统中的应用](#) 方面再上一个台阶。

7. 脉冲功率闭合开关晶闸管

该器件特别适用于传送极强的峰值功率 (数 MW)、极短的持续时间 (数 ns) 的放电闭合开关应用场合，如：激光器、高强度照明、放电点火、电磁发射器和雷达调制器等。该器件能在数 kV 的高压下快速开通，不需要放电电极，具有很长的使用寿命，体积小、价格比较低，可望取代目前尚在应用的高压离子闸流管、引燃管、火花间隙开关或真空开关等。

该器件独特的结构和工艺特点是：门-阴极周界很长并形成高度交织的结构，门极面积占芯片总面积的 90%，而阴极面积仅占 10%；基区空穴-电子寿命很长，门-阴极之间的水平距离小于一个扩散长度。上述两个结构特点确保了该器件在开通瞬间，阴极面积能得到 100% 的应用。此外，该器件的阴极电极采用较厚的金属层，可承受瞬时峰值电流。

8. 新型 GTO 器件-集成门极换流晶闸管

当前已有两种常规 GTO 的替代品：高功率的 IGBT 模块、新型 GTO 派生器件-集成门极换流 IGCT 晶闸管。IGCT 晶闸管是一种新型的大功率器件，与常规 GTO 晶闸管相比，它具有许多优良的特性，例如，不用缓冲电路能实现可靠关断、存储时间短、开通能力强、关断门极电荷少和应用系统 (包括所有器件和外围部件如阳极电抗器和缓冲电容器等) 总的功率损耗低等。

9. 高功率沟槽栅结构 IGBT (Trench IGBT) 模块

当今高功率 IGBT 模块中的 IGBT 元胞通常多采用沟槽栅结构 IGBT。与平面栅结构相比，沟槽栅结构通常采用 $1\mu m$ 加工精度，从而大大提高了元胞密度。由于门极沟的存在，消除

了平面栅结构器件中存在的相邻元胞之间形成的结型场效应晶体管效应，同时引入了一定的电子注入效应，使得导通电阻下降。为增加长基区厚度、提高器件耐压创造了条件。所以近几年来出现的高耐压大电流 IGBT 器件均采用这种结构。

1996 年日本三菱和日立公司分别研制成功 3.3kV/1.2kA 巨大容量的 IGBT 模块。它们与常规的 GTO 相比，开关时间缩短了 20%，栅极驱动功率仅为 GTO 的 1/1000。1997 年富士电机研制成功 1kA/2.5kV 平板型 IGBT，由于集电、发射结采用了与 GTO 类似的平板压接结构，采用更高效的芯片两端散热方式。特别有意义的是，避免了大电流 IGBT 模块内部大量的电极引出线，提高了可靠性和减小了引线电感，缺点是芯片面积利用率下降。所以这种平板压接结构的高压大电流 IGBT 模块也可望成为高功率高电压变流器的优选功率器件。

10. 电子注入增强栅晶体管 IEGT (Injection Enhanced Gate Transistor)

近年来，日本东芝公司开发了 IEGT，与 IGBT 一样，它也分平面栅和沟槽栅两种结构，前者的产品即将问世，后者尚在研制中。IEGT 兼有 IGBT 和 GTO 两者的某些优点：低的饱和压降，宽的安全工作区（吸收回路容量仅为 GTO 的 1/10 左右），低的栅极驱动功率（比 GTO 低 2 个数量级）和较高的工作频率。加之该器件采用了平板压接式电极引出结构，可望有较高的可靠性。

与 IGBT 相比，IEGT 结构的主要特点是栅极长度 L_g 较长，N 长基区近栅极侧的横向电阻值较高，因此从集电极注入 N 长基区的空穴，不像在 IGBT 中那样，顺利地横向通过 P 区流入发射极，而是在该区域形成一层空穴积累层。为了保持该区域的电中性，发射极必须通过 N 沟道向 N 长基区注入大量的电子。这样就使 N 长基区发射极侧也形成了高浓度载流子积累，在 N 长基区中形成与 GTO 中类似的载流子分布，从而较好地解决了大电流、高耐压的矛盾。目前该器件已达到 4.5kV/1kA 的水平。

11. MOS 门控晶闸管

MOS 门极控制晶闸管充分地利用晶闸管良好的通态特性、优良的开通和关断特性，可望具有优良的自关断动态特性、非常低的通态电压降和耐高压，成为将来在电力装置和电力系统中有发展前途的高压大功率器件。目前世界上有十几家公司在积极开展对 MCT 的研究。MOS 门控晶闸管主要有三种结构：MOS 场控晶闸管（MCT）、基极电阻控制晶闸管（BRT）及射极开关晶闸管（EST）。其中 EST 可能是 MOS 门控晶闸管中最有希望的一种结构。但是，这种器件要真正成为商业化的实用器件，达到取代 GTO 的水平，还需要相当长的一段时间。

12. 砷化镓二极管

随着变换器开关频率的不断提高，对快恢复二极管的要求也随之提高。众所周知，具有比硅二极管优越的高频开关特性，但是由于工艺技术等方面的原因，砷化镓二极管的耐压较低，实际应用受到局限。为适应高压、高速、高效率 and 低 EMI 应用需要，高压砷化镓高频整流二极管已在 Motorola 公司研制成功。与硅快恢复二极管相比，这种新型二极管的显著特点是：反向漏电流随温度变化小、开关损耗低、反向恢复特性好。

13. 碳化硅与碳化硅（SiC）功率器件

在用新型半导体材料制成的功率器件中，最有希望的是碳化硅（SiC）功率器件。它的性能指标比砷化镓器件还要高一个数量级，碳化硅与其他半导体材料相比，具有下列优

异的物理特点：高的禁带宽度，高的饱和电子漂移速度，高的击穿强度，低的介电常数和高的热导率。上述这些优异的物理特性，决定了碳化硅在高温、高频率、高功率的应用场合是极为理想的半导体材料。在同样的耐压和电流条件下，SiC 器件的漂移区电阻要比硅低 200 倍，即使高耐压的 SiC 场效应管的导通压降，也比单极型、双极型硅器件的低得多。而且，SiC 器件的开关时间可达 10ns 量级，并具有十分优越的 FBSOA。

SiC 可以用来制造射频和微波功率器件，各种高频整流器，MESFETS、MOSFETS 和 JFETS 等。SiC 高频功率器件已在 Motorola 公司研发成功，并应用于微波和射频装置。GE 公司正在开发 SiC 功率器件和高温器件（包括用于喷气式引擎的传感器）。西屋公司已经制造出了在 26GHz 频率下工作的甚高频的 MESFET。ABB 公司正在研制高功率、高电压的 SiC 整流器和其他 SiC 低频功率器件，用于工业和电力系统。