

LIMA

劉 成
Sales Engineer
S.Z.Mobile:136-8239-6505
MSN:szlima@hotmail.com
QQ:778174600

AVAGO 光耦一级代理商
TECHNOLOGIES

利瑪電子(新加坡)有限公司

Add:深圳市華強北電子科技大廈A座3908室

Tel:0755-8250 8350 Fax:0755-8836 4656

E-mail:lima@limaic.com

Website:www.limaic.com

Optocoupler
World



IGBT 概论



IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor), 绝缘栅双极型晶体管, 是由 BJT(双极型三极管)和 MOS(绝缘栅型场效应管)组成的复合全控型电压驱动式功率半导体器件, 兼有 MOSFET 的高输入阻抗和 GTR 的低导通压降两方面的优点。GTR 饱和压降低, 载流密度大, 但驱动电流较大; MOSFET 驱动功率很小, 开关速度快, 但导通压降大, 载流密度小。IGBT 综合了以上两种器件的优点, 驱动功率小而饱和压降低。非常适合应用于直流电压为 600V 及以上的变流系统如交流电机、变频器、开关电源、照明电路、牵引传动等领域。

图1所示为一个 N 沟道增强型绝缘栅双极晶体管结构, N+ 区称为源区, 附于其上的电极称为源极。N+ 区称为漏区。器件的控制区为栅区, 附于其上的电极称为栅极。沟道在紧靠栅区边界形成。在漏、源之间的 P 型区(包括 P+ 和 P 一区)(沟道在该区域形成), 称为亚沟道区(Subchannel region)。而在漏区另一侧的 P+ 区称为漏注入区(Drain injector), 它是 IGBT 特有的功能区, 与漏区和亚沟道区一起形成 PNP 双极晶体管, 起发射极的作用, 向漏极注入空穴, 进行导电调制, 以降低器件的通态电压。附于漏注入区上的电极称为漏极。

IGBT 的开关作用是通过加正向栅极电压形成沟道, 给 PNP 晶体管提供基极电流, 使 IGBT 导通。反之, 加反向门极电压消除沟道, 切断基极电流, 使 IGBT 关断。IGBT 的驱动方法和 MOSFET 基本相同, 只需控制输入极 N 沟道 MOSFET, 所以具有高输入阻抗特性。当 MOSFET 的沟道形成后, 从 P+ 基极注入到 N 一层的

空穴（少子），对 N 一层进行电导调制，减小 N 一层的电阻，使 IGBT 在高电压时，也具有低的通态电压。

[\[编辑本段\]](#)工作特性

静态特性

IGBT 的静态特性主要有伏安特性、转移特性和开关特性。

IGBT 的伏安特性是指以栅源电压 U_{gs} 为参变量时，漏极电流与栅极电压之间的关系曲线。输出漏极电流比受栅源电压 U_{gs} 的控制， U_{gs} 越高， I_d 越大。它与 GTR 的输出特性相似。也可分为饱和区1、放大区2 和击穿特性3 部分。在截止状态下的 IGBT，正向电压由 J2 结承担，反向电压由 J1 结承担。如果无 N+ 缓冲区，则正反向阻断电压可以做到同样水平，加入 N+ 缓冲区后，反向关断电压只能达到几十伏水平，因此限制了 IGBT 的某些应用范围。

IGBT 的转移特性是指输出漏极电流 I_d 与栅源电压 U_{gs} 之间的关系曲线。它与 MOSFET 的转移特性相同，当栅源电压小于开启电压 $U_{gs(th)}$ 时，IGBT 处于关断状态。在 IGBT 导通后的大部分漏极电流范围内， I_d 与 U_{gs} 呈线性关系。最高栅源电压受最大漏极电流限制，其最佳值一般取为 15V 左右。

IGBT 的开关特性是指漏极电流与漏源电压之间的关系。IGBT 处于导通态时，由于它的 PNP 晶体管为宽基区晶体管，所以其 β 值极低。尽管等效电路为达林顿结构，但流过 MOSFET 的电流成为 IGBT 总电流的主要部分。此时，通态电压 $U_{ds(on)}$ 可用下式表示

$$U_{ds(on)} = U_{j1} + U_{dr} + I_d R_{oh}$$

式中 U_{j1} —— J1 结的正向电压，其值为 0.7 ~ 1V； U_{dr} —— 扩展电阻 R_{dr} 上的压降； R_{oh} —— 沟道电阻。

通态电流 I_{ds} 可用下式表示：

$$I_{ds} = (1 + \beta_{npn}) I_{mos}$$

式中 I_{mos} —— 流过 MOSFET 的电流。

由于 N+ 区存在电导调制效应，所以 IGBT 的通态压降小，耐压 1000V 的 IGBT 通态压降为 2 ~ 3V。IGBT 处于断态时，只有很小的泄漏电流存在。

动态特性

IGBT 在开通过程中，大部分时间是作为 MOSFET 来运行的，只是在漏源电压 U_{ds} 下降过程后期，PNP 晶体管由放大区至饱和，又增加了一段延迟时间。 $t_d(on)$

为开通延迟时间， t_{ri} 为电流上升时间。实际应用中常给出的漏极电流开通时间 t_{on} 即为 $t_d(on)$ t_{ri} 之和。漏源电压的下降时间由 t_{fe1} 和 t_{fe2} 组成。

IGBT 的触发和关断要求给其栅极和基极之间加上正向电压和负向电压，栅极电压可由不同的[驱动电路](#)产生。当选择这些驱动电路时，必须基于以下的参数来进行：器件关断偏置的要求、栅极电荷的要求、耐固性要求和电源的情况。因为 IGBT 栅极 - 发射极阻抗大，故可使用 MOSFET 驱动技术进行触发，不过由于 IGBT 的输入电容较 MOSFET 为大，故 IGBT 的关断偏压应该比许多 MOSFET 驱动电路提供的偏压更高。

IGBT 在关断过程中，漏极电流的波形变为两段。因为 MOSFET 关断后，PNP 晶体管的存储电荷难以迅速消除，造成漏极电流较长的尾部时间， $t_d(off)$ 为关断延迟时间， t_{rv} 为电压 $U_{ds}(f)$ 的上升时间。实际应用中常常给出的漏极电流的下降时间 T_f 由图中的 $t(f1)$ 和 $t(f2)$ 两段组成，而漏极电流的关断时间

$$t(off)=t_d(off)+t_{rv} + t(f)$$

式中， $t_d(off)$ 与 t_{rv} 之和又称为存储时间。

IGBT 的开关速度低于 MOSFET，但明显高于 GTR。IGBT 在关断时不需要负栅压来减少关断时间，但关断时间随栅极和发射极并联电阻的增加而增加。IGBT 的开启电压约 3~4V，和 MOSFET 相当。IGBT 导通时的饱和压降比 MOSFET 低而和 GTR 接近，饱和压降随栅极电压的增加而降低。

正式商用的 IGBT 器件的电压和电流容量还很有限，远远不能满足电力电子应用技术发展的需求；高压领域的许多应用中，要求器件的电压等级达到 10KV 以上，目前只能通过 IGBT 高压串联等技术来实现高压应用。国外的一些厂家如瑞士 ABB 公司采用软穿通原则研制出了 8KV 的 IGBT 器件，德国的 EUPEC 生产的 6500V/600A 高压大功率 IGBT 器件已经获得实际应用，日本东芝也已涉足该领域。与此同时，各大半导体生产厂商不断开发 IGBT 的高耐压、大电流、高速、低饱和压降、高可靠性、低成本技术，主要采用 1 μ m 以下制作工艺，研制开发取得一些新进展。

[\[编辑本段\]](#)发展历史

1979年，MOS 栅功率开关器件作为 IGBT 概念的先驱即已被介绍到世间。这种器件表现为一个类[晶闸管](#)的结构（P-N-P-N 四层组成），其特点是通过强碱湿法刻蚀工艺形成了 V 形槽栅。

80年代初期，用于功率 MOSFET 制造技术的 DMOS（双扩散形成的金属-氧化物-半导体）工艺被采用到 IGBT 中来。[2]在那个时候，硅芯片的结构是一种较厚的 NPT（非穿通）型设计。后来，通过采用 PT（穿通）型结构的方法得到了在参数折衷方面的一个显著改进，这是随着硅片上外延的技术进步，以及采用对应给定阻断电压所设计的 n+缓冲层而进展的[3]。几年当中，这种在采用 PT 设计的外延片上制备的 DMOS 平面栅结构，其设计规则从 5 微米先进到 3 微米。

90年代中期，沟槽栅结构又返回到一种新概念的 IGBT，它是采用从大规模集成

(LSI) 工艺借鉴来的硅干法刻蚀技术实现的新刻蚀工艺,但仍然是穿通 (PT) 型芯片结构。[4]在这种沟槽结构中,实现了在通态电压和关断时间之间折衷的更重要的改进。

硅芯片的重直结构也得到了急剧的转变,先是采用非穿通 (NPT) 结构,继而变化成弱穿通 (LPT) 结构,这就使安全工作区 (SOA) 得到同表面栅结构演变类似的改善。

这次从穿通 (PT) 型技术先进到非穿通 (NPT) 型技术,是最基本的,也是很重大的概念变化。这就是:穿通 (PT) 技术会有比较高的载流子注入系数,而由于它要求对少数载流子寿命进行控制致使其输运效率变坏。另一方面,非穿通 (NPT) 技术则是基于不对少子寿命进行杀伤而有很好的输运效率,不过其载流子注入系数却比较低。进而言之,非穿通 (NPT) 技术又被软穿通 (LPT) 技术所代替,它类似于某些人所谓的“软穿通” (SPT) 或“电场截止” (FS) 型技术,这使得“成本—性能”的综合效果得到进一步改善。

1996年,CSTBT (载流子储存的沟槽栅双极晶体管) 使第5代 IGBT 模块得以实现[6],它采用了弱穿通 (LPT) 芯片结构,又采用了更先进的宽元胞间距的设计。目前,包括一种“反向阻断型”(逆阻型) 功能或一种“反向导通型”(逆导型) 功能的 IGBT 器件的新概念正在进行研究,以求得进一步优化。

IGBT 功率模块采用 IC 驱动,各种驱动保护电路,高性能 IGBT 芯片,新型封装技术,从复合功率模块 PIM 发展到[智能功率模块](#) IPM、电力电子积木 PEBB、电力模块 IPEM。PIM 向高压大电流发展,其产品水平为1200—1800A/1800—3300V, IPM 除用于变频调速外,600A/2000V 的 IPM 已用于电力机车 VVVF 逆变器。平面低电感封装技术是大电流 IGBT 模块为有源器件的 PEBB,用于舰艇上的导弹发射装置。IPEM 采用共烧瓷片多芯片模块技术组装 PEBB,大大降低电路接线电感,提高系统效率,现已开发成功第二代 IPEM,其中所有的无源元件以埋层方式掩埋在衬底中。智能化、模块化成为 IGBT 发展热点。

现在,大电流高电压的 IGBT 已模块化,它的驱动电路除上面介绍的由分立元件构成之外,现在已制造出集成化的 IGBT 专用驱动电路.其性能更好,整机的可靠性更高及体积更小。

[\[编辑本段\]输出特性与转移特性](#)

IGBT 与 MOSFET 的对比 MOSEFT 全称功率场效应晶体管。它的三个极分别是源极(S)、漏极(D)和栅极(G)。主要优点:热稳定性好、安全工作区大。缺点:击穿电压低,工作电流小。 IGBT 全称绝缘栅双极晶体管,是 MOSFET 和 GTR(功率晶管)相结合的产物。它的三个极分别是集电极(C)、发射极(E)和栅极(G)。特点:击穿电压可达1200V,集电极最大饱和电流已超过1500A。由 IGBT 作为逆变器件的变频器的容量达250kVA 以上,工作频率可达20kHz。

[\[编辑本段\]模块简介](#)

IGBT 是 Insulated Gate Bipolar Transistor(绝缘栅双极型晶体管)的缩写, IGBT 是由 MOSFET 和双极型晶体管复合而成的一种器件, 其输入极为 MOSFET, 输出极为 PNP 晶体管, 它融和了这两种器件的优点, 既具有 MOSFET 器件驱动功率小和开关速度快的优点, 又具有双极型器件饱和压降低而容量大的优点, 其频率特性介于 MOSFET 与功率晶体管之间, 可正常工作于几十 kHz 频率范围内, 在现代[电力电子技术](#)中得到了越来越广泛的应用, 在较高频率的大、中功率应用中占据了主导地位。

若在 IGBT 的栅极和发射极之间加上驱动正电压, 则 MOSFET 导通, 这样 PNP 晶体管的集电极与基极之间成低阻状态而使得晶体管导通; 若 IGBT 的栅极和发射极之间电压为 0V, 则 MOS 截止, 切断 PNP 晶体管基极电流的供给, 使得晶体管截止。IGBT 与 MOSFET 一样也是电压控制型器件, 在它的栅极—发射极间施加十几 V 的直流电压, 只有在 μA 级的漏电流流过, 基本上不消耗功率。

[\[编辑本段\]](#)等效电路

IGBT 模块的选择

IGBT 模块的电压规格与所使用装置的输入电源即试电电源电压紧密相关。其相互关系见下表。使用中当 IGBT 模块集电极电流增大时, 所产生的额定损耗亦变大。同时, 开关损耗增大, 使原件发热加剧, 因此, 选用 IGBT 模块时额定电流应大于负载电流。特别是用作高频开关时, 由于开关损耗增大, 发热加剧, 选用时应该降等使用。

使用中的注意事项

由于 IGBT 模块为 MOSFET 结构, IGBT 的栅极通过一层氧化膜与发射极实现电隔离。由于此氧化膜很薄, 其击穿电压一般达到 20~30V。因此因静电而导致栅极击穿是 IGBT 失效的常见原因之一。因此使用中要注意以下几点:

在使用模块时, 尽量不要用手触摸驱动端子部分, 当必须要触摸模块端子时, 要先将人体或衣服上的静电用大电阻接地进行放电后, 再触摸; 在用导电材料连接模块驱动端子时, 在配线未接好之前请先不要接上模块; 尽量在底板良好接地的情况下操作。在应用中有时虽然保证了栅极驱动电压没有超过栅极最大额定电压, 但栅极连线的寄生电感和栅极与集电极间的电容耦合, 也会产生使氧化层损坏的振荡电压。为此, 通常采用双绞线来传送驱动信号, 以减少寄生电感。在栅极连线中串联小电阻也可以抑制振荡电压。

此外, 在栅极—发射极间开路时, 若在集电极与发射极间加上电压, 则随着集电

极电位的变化，由于集电极有漏电流流过，栅极电位升高，集电极则有电流流过。这时，如果集电极与发射极间存在高电压，则有可能使 IGBT 发热及至损坏。

在使用 IGBT 的场合，当栅极回路不正常或栅极回路损坏时(栅极处于开路状态)，若在主回路上加上电压，则 IGBT 就会损坏，为防止此类故障，应在栅极与发射极之间串接一只 10K Ω 左右的电阻。

在安装或更换 IGBT 模块时，应十分重视 IGBT 模块与散热片的接触面状态和拧紧程度。为了减少接触热阻，最好在散热器与 IGBT 模块间涂抹导热硅脂。一般散热片底部安装有散热风扇，当散热风扇损坏中散热片散热不良时将导致 IGBT 模块发热，而发生故障。因此对散热风扇应定期进行检查，一般在散热片上靠近 IGBT 模块的地方安装有温度感应器，当温度过高时将报警或停止 IGBT 模块工作。

保管时的注意事项

一般保存 IGBT 模块的场所，应保持常温常湿状态，不应偏离太大。常温的规定为 5~35℃，常湿的规定在 45~75% 左右。在冬天特别干燥的地区，需用加湿机加湿；尽量远离有腐蚀性气体或灰尘较多的场合；在温度发生急剧变化的场所 IGBT 模块表面可能有结露水的现象，因此 IGBT 模块应放在温度变化较小的地方；保管时，须注意不要在 IGBT 模块上堆放重物；装 IGBT 模块的容器，应选用不带静电的容器。

IGBT 模块由于具有多种优良的特性，使它得到了快速的发展和普及，已应用到电力电子的各方各面。因此熟悉 IGBT 模块性能，了解选择及使用时的注意事项对实际中的应用是十分必要的。