

IGBT（绝缘栅双极晶体管）发展史简述

1 前言

西安易恩电气科技有限公司(www.entest.com.cn)致力于电力半导体器件测试方案供应，主要产品有 IGBT 动静态特性参数测试系统，IPM 特性参数测试系统，半导体分立器件测试系统，雪崩耐量测试系统，浪涌测试系统，热阻测试系统，可控硅参数测试仪，MOS 管参数测试仪等。

编写此文，以供行业人士学习阅读。

近年来，随着我国经济的持续快速发展，能源消耗日趋紧张，节约能源是我国的基本国策。据报道，全球的电能消耗 50% 来自电动机。当前，在电动机驱动系统中，已经从强电控制进入弱电控制的节能时代。新型电力电子器件在该系统中扮演着重要的角色，它是机械自动化，控制智能化的关键部件，是节约电能的新型半导体器件。因此，大力发展新型电力电子器件的设计制造以及模块的开发和应用是节约电能的重要措施。IGBT 作为新型电力电子器件的代表，是整机系统提高性能指标和节能指标的首选产品。它集高频率、高电压、大电流等优点于一身，是国际上公认的电力电子技术第三次革命的最具代表性的产品。

IGBT 主要用于逆变器、低噪音电源、UPS 不间断电源以及电动机变频调速等领域。IGBT 的用途非常广泛，小到变频空调、静音冰箱、洗衣机、电磁炉、微波炉等家用电器，大到电力机车牵引系统都离不开它。IGBT 在军事机载、舰载、雷达等随动系统中也有广泛的用途。

2 国际、国内现状

IGBT 是上世纪 80 年代初研制成功，并在其性能上，经过几年的不断提高和改进，已成熟地应用于高频(20KHz 以上)大功率领域。它将 MOSFET 的电压控制、控制功率小、易于并联、开关速度高的特点和双极晶体管的电流密度大、电流处理能力强、饱和压降低的特点集中于一身，表现出高耐压、大电流、高频率等优越的综合性能。

图 1 和图 2 分别是槽栅 IGBT 结构和单晶片透明集电极 NPT—IGBT 结构，两种都是当今世界上流行的先进结构。

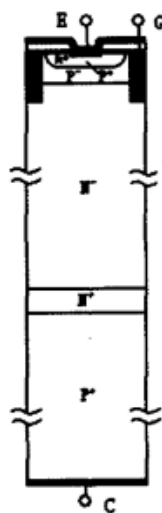


图 1 槽栅 IGBT

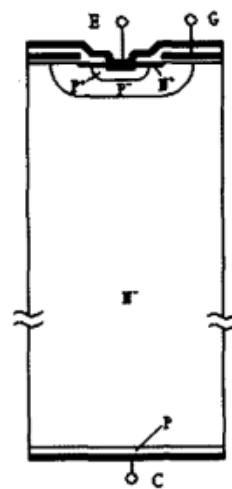


图 2 NPT-IGBT

2.1、IGBT 的技术特点

目前，世界上最先进的 IGBT 结构及技术特点：

- ② NPT — IGBT 和 French—IGBT；
- ② 亚微米线条精度 大规模 CMOS IC 工艺；
- ② 薄单晶硅片技术；
- ③ 背 P 发射极技术；
- ④ 分层辐照技术。

2.2 IGBT 的发展背景

1982 年 美国 RCA 公司和 GE 公司先后发明了 IGBT。设计者很巧妙地将 VDMOS 的 N 衬底换成 P 衬底，引入 PN 结注入机制，使高阻 N—漂移区产生电导调制效应，大大降低了导通电阻。在 VDMOS 的基础上，进行这一小的变动就形成了 MOS、双极相结合的 IGBT，导通电阻的降低加上 MOS、双极双电流通道使 IGBT 的电流密度很高，具备了 MOS 和 双极的双重优点。

然而。早期的 IGBT 还不能使用，当时器件存在两个主要问题：

- ① 器件内部寄生了 PNP 晶闸管结构，使器件产生闭锁效应，导致栅失去控制能力。
- ② 由于 N—漂移区存在非平衡载流子的注入，在器件关断时，有一个较长时间的拖尾电流，影响了器件的开关速度。

这两个问题都是引入 PN 结注入机制所带来的。后来经过几年的努力，从结构和工艺上采用了以下技术：

- ① P 阱区两步扩散技术；
- ② 加入 N 缓冲层技术；
- ③ N—漂移区少子寿命控制技术；
- ④ 元胞设计技术。

采用以上技术后，解决了上述问题。

1986 年，IGBT 得到了真正的应用。此后，为了进一步改善 IGBT 的性能，提高 IGBT 的电流容量、功率容量和开关速度，降低 IGBT 的通态损耗和开关损耗，人们一直致力于改善 IGBT 两个重要的、相互矛盾的参数，即通态压降 $V_{ce(sat)}$ 和关断时间 t_{off} 。从 IGBT 结构的三个组成部分：MOS 结构、N—基区(包括 N 缓冲层)和 P 集电区进行不断改进，并以

V_{ce(sat)}和 t_{off} 为标志形成了几代产品(见表 1)。

表 1 IGBT 发展的各阶段特性标准

产品	V _{ce(sat)} (V)	t _{off} (μs)
第一代	3.0	0.5
第二代	2.8	0.3
第三代	2.0	0.25
第四代	1.5	0.25

2.3 新结构高性能 IGBT

1996 年 西门子公司 (现 Infineon/英飞凌)公司率先推出 1200V 的 NPT, (非穿通型)—IGBT 后, 于 1999 年推出 600V / 50A 的 NPT—IGBT, 其通态压降为 2.1V。关断时间为 30ns, NPT—IGBT 的出现是功率场控器件技术上的重大突破。

1998 年 日本公司推出 600V Trench (沟槽栅)—IGBT, 其典型通态压降 1.8V, 关断时间 0.15us。

1998 年 由日本人提出 SDB(硅片直接键合)—IGBT, 随后美国仙童半导体公司 (Fairchild Semiconductor)推出小功率

SDB—IGBT 投放市场。

1999 年 IXYS 公司推出了 1600V / 40A CS(集电极短路)—IGBT, 其关断时间小于 200ns。

近年来, 美国仙童半导体公司又推出 1000V / 60A NPT—Trench—IGBT, 其通态压降 2.5V, 关断时间 130ns, 专为 IH 电饭煲, 电磁炉、微波炉应用而设计, 满足最新的节能标准。快速 IGBT 已应用到了 150KHz~180KHz 的频率范围 (如美国 Intesi 公司的 SMPS IGBT 系列和 IR 公司的 WARPZTM IGBT 系列)。IGBT 模块的研究也很活跃, IGBT 模块多以超大功率 IGBT 模块和 IGBT—IPM 智能功率模块为主。IGBT—IPM 是以 IGBT 芯片为基体 内含接口、传感、保护和功率控制等功能电路的智能功率模块, 其外型封装及单元电路分别见上图的 图 3 和 图 4。



图 3 模块封装(日本三菱公司的 IGBT-IPM)

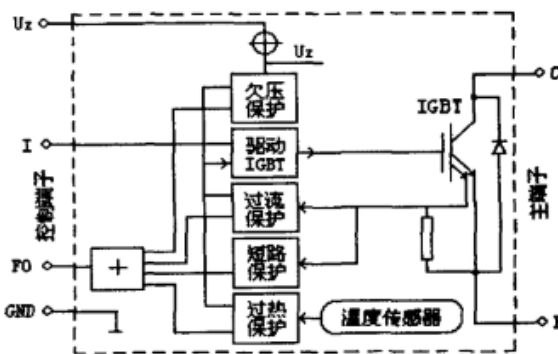


图 4 IGBT-IPM 内部结构框图

1993年 德国 EUPEC 公司推出 3200V / 1300A 的 IGBT 模块，它是多个 IGBT 芯片串联加并联组成的。

1996年 日本东芝公司推出了 2500V / 1000A 的 IGBT 模块具有同大功率晶闸管、GTO 管相同的平板压接式封装结构。该模块由 24 个 2500V / 80A 的 IGBT 芯片并联而成，还有 16 个 2500V / 100A 的超快恢复二极管(FRED)芯片与之反并联 (续流二极管)。

此后，东芝公司又开发了 1700V / 1200A、工作频率 40KHz，并具有驱动电路和过流、过载、短路、栅极欠压等保护电路的 IGBT—IPM。

近年来，国外又有 2000V / 600A 的 IGBT—IPM 已用于电力机车 VVVF 逆变器中。

日本三菱公司开发第五代 IGBT 硅片技术，推出应用于变频空调、静音冰箱、洗衣机等家电中的 IGBT—IPM，以高性能产品来满足变频家电最新的节能标准要求。

目前，IGBT 的单片水平已达到 80A / 4500V、模块水平达到 1800A / 4500V、工作频率达到 150KHz。技术上发展到第五代，这一代 IGBT 的技术特点是 NPT 槽栅结构，采用了亚微米微细加工技术、薄单晶硅片技术、背 P 层透明发射极技术和分层辐照技术。

IGBT 未来的发展方向有两个，一是超大功率、智能化 IGBT 模块；二是快速 IGBT。IGBT 的迅速发展促进了智能功率模块 IPM 的发展。目前，IGBT—IPM 已发展到把 MPU 和 PWM 等控制电路也集成进来的第三代产品。IPM 的发展趋势是功率容量更大、开关频率更高、控制及保护等电路的性能更好、功能更全。

2.4 国内主要研究现状

由于设备及工艺水平等因素的影响，国内 IGBT 还处于研制阶段。

1997年 西安电力电子技术研究所研制出 1050V / 20A 的 PT—IGBT 样品，并对少子寿命控制技术进行了较深入的研究。

2000年 电子科技大学微电子所研制出 1200V / 20A SDB—IGBT 的样品。

2001年 北京工业大学对 NPT—IGBT 进行了深入研究。该项研究是把 N 扩散层做缓冲层加入 NPT—IGBT 结构中，背 P 集电区是采用硼离子注入形成的浓度不高，浅结 (约 5 μ m)的透明集电极，这与国外 NPT 技术相同。并对新结构 IGBT 进行了仿真。

2004年 西安交通大学对 NPT—Trench—IGBT 工艺进行了创新性研究。该项研究是采用全对准槽栅工艺，大规模集成电路的 LDD 工艺，只用 2 块掩模完成器件制作，该技术已申请国家发明专利。

中国电子科技集团公司 47 所、24 所也进行了深入的研究。

我国对 IGBT 的研究始于上世纪 90 年代初，研究单位多数是大学。目前，国内还没有商品化的 IGBT 投入市场，研制开发工作比较漫长。

3 市场需求情况及发展趋势

3.1 军品市场情况

IGBT 的性能极其优越，在电子系统中，采用 IGBT 或 IGBT—IPM 技术后，可使整机的性能及可靠性显著提高。IGBT 在军事领域有广泛的应用。机载、舰载、雷达等随动系统和自动定位系统中的伺服电机驱动用 IGBT—IPM，其性能规格 600V / 30 ~ 60A；在军事机载、星载电源系统中的 DC / DC 变换器用 IGBT 单管，其性能规格 400V / 80 ~ 120A；在大功率领域，舰艇上导弹发射装置控制用 IGBT—IPM 等。

3.2 民品市场情况

IGBT 在民品市场具有更加广泛的应用。

电磁感应加热用 IGBT：

在 IH 电饭煲、电磁炉、微波炉的电磁感应加热电路中，采用 IGBT 单管，其性能规格 600 ~ 1500V / 40 ~ 80A 如美国飞兆半导体公司最新推出的 1000V / 60A NPT—Trench—IGBT，其通态压降 2.5V，关断时间 130ns，专门投放中国市场。

频闪观测器用 IGBT：

在照相机频闪观测器电路中，也采用 IGBT 单管，性能规格 400V / 60 ~ 80A，如日本东芝公司生产的 GT20G1 01 系列产品。

变频器用 IGBT：

在变频空调、静音冰箱、洗衣机等家电的电机驱动系统中，采用 IGBT—IPM。每个模块含有 6 个 IGBT 芯片，其性能规格 600V / 15 ~ 50A。如美国飞兆、日本富士公司分别推出的 Motion—IPM 系列和 R 系列产品投入市场。日本三菱公司开发第五代 IGBT 硅片技术，以高性能产品来满足变频家电最新的节能标准要求。

逆变器用 IGBT：

在节能灯电子镇流器中，采用小功率单管 IGBT，其性能规格 600V / 5 ~ 10A；在电力机车 VVVF 逆变器中，采用大功率 IGBT—IPM，其性能规格 2000V / 600A。此外，IGBT 及 IGBT—IPM 在通讯电源、UPS 不间断电源及电焊机中也有广泛的应用。