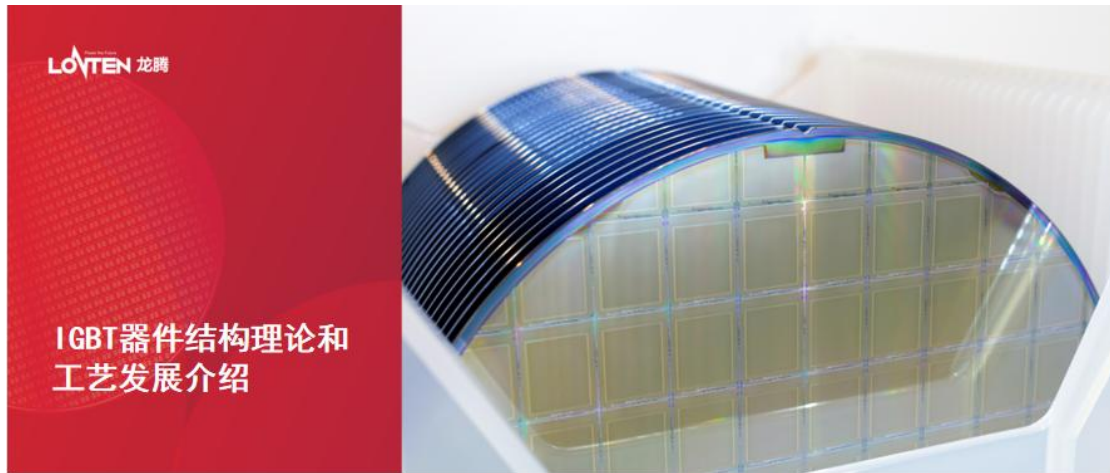


IGBT 器件结构理论和工艺发展介绍



一、IGBT 器件介绍

IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)是绝缘栅双极晶体管的简称，其由双极结型晶体管 (BJT) 和金属氧化物场效应晶体管 (MOSFET) 组成，是一种复合全控型电压驱动式开关功率半导体器件，是实现电能转换的核心器件，也是目前 MOS-双极型功率器件的主要发展方向之一。

IGBT 的结构和等效电路图如图 1 所示，其不仅具有 MOSFET 输入阻抗高、栅极易驱动等特点，而且具有双极型晶体管电流密度大、功率密度高等优势，已广泛应用于轨道交通、新能源汽车、智能电网、风力发电等高电压、大电流的领域，以及微波炉、洗衣机、电磁灶、电子整流器、照相机等低功率家用电器领域。

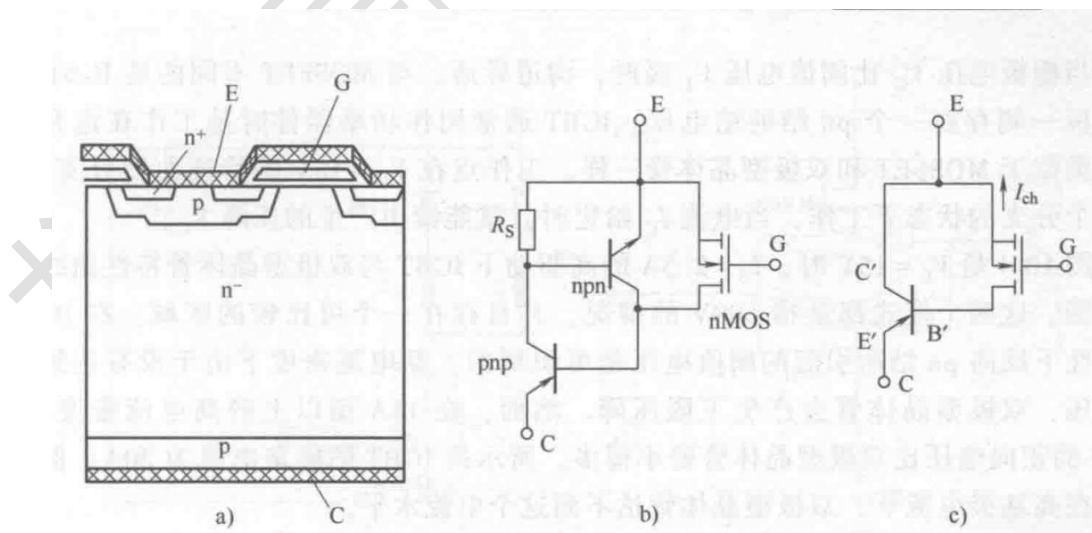


图 1: a) IGBT 简化结构 b) 含有寄生 npn 晶体管和电阻 R_s 的等效电路 c) 简化后的等效电路

二、IGBT 结构与工作原理

IGBT 的结构可以分为表面栅极结构和体 Si 结构两部分，表面栅极结构有两种类型：栅极形成在晶圆表面的**平面栅结构**和栅极形成在晶圆表面沟槽中的**沟槽栅结构**，沟槽栅结构将平面栅的表面沟道移到体内，消除了平面栅结构中的 JFET 区，提高了器件的电流密度，平面栅 IGBT 和沟槽栅 IGBT 的结构分别如图 2 a) 和 b) 所示。

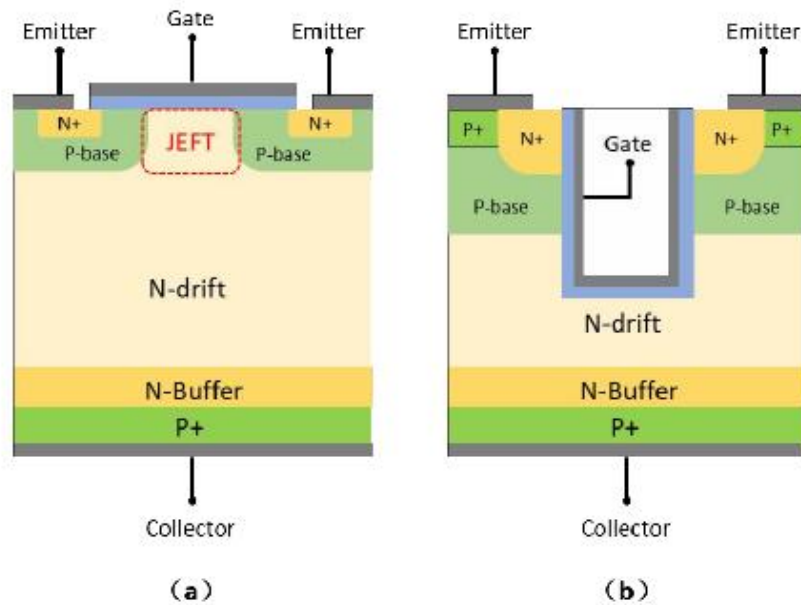


图 2: a) 平面栅 IGBT

图 2: b) 沟槽栅 IGBT

另一方面，体 Si 结构根据器件在反向耐压时耗尽区是否到达集电区可以分为穿通型 (PT) IGBT 和非穿通型 (NPT) IGBT (FS 型可以看成是穿通型的改进结构)，其结构和电场分布如图 3) 所示。

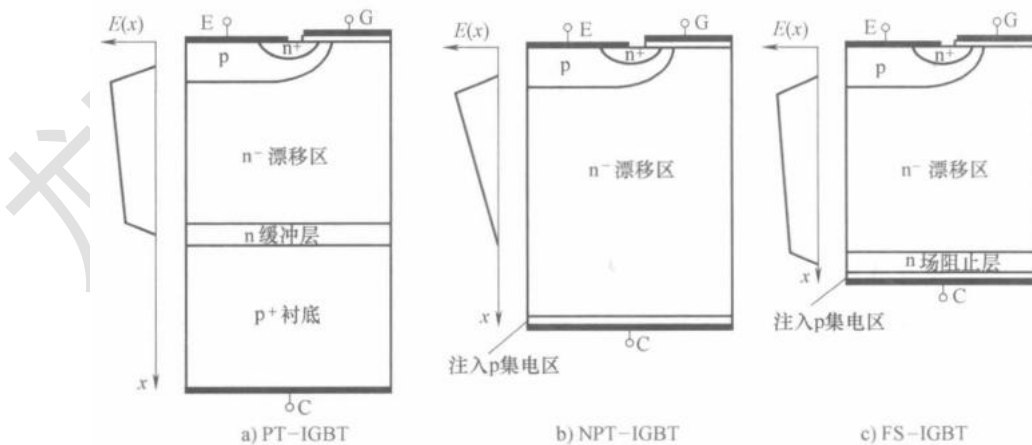


图 3: a) PT IGBT b) NPT IGBT c) FS IGBT

PT IGBT、NPT IGBT 和 FS IGBT 的结构特点、制作工艺和特性比较如表 1) 所示。

名称		PT-IGBT	NPT-IGBT	FS-IGBT
结构特征及参数	n~漂移区	外延层厚度较薄	原始衬底材料厚度较厚	原始衬底材料厚度很薄
	缓冲层/FS 层	外延层浓度约 $10^{16}\sim 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 厚度为 5-15 μm	无	离子注入或扩散形成浓度 $10^{14}\sim 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 厚度为 2-30 μm
	p+集电区	原始衬底材料厚度很厚浓度 约 10^{19}cm^{-3}	离子注入形成厚度很薄, 几微米浓度为 $10^{17}\sim 10^{18}\text{cm}^{-3}$	离子注入形成厚度很薄 0.5 μm ~几微米 浓度约 10^{18}cm^{-3}
	总厚度	厚	中	薄
制作工艺	衬底材料	外延片	高阻区熔单晶	高阻区熔单晶
	减薄工艺	减薄 p+衬底	减薄 n~漂移区	减薄 n~漂移区
	寿命控制	有	无	无
特性	J _i 结注入效率	高	低	低
	电场强度分布	近似梯形分布	三角形分布	近似梯形分布
	饱和电压	最低	高	低
	阻断电压	<600V	>600V	>600V
	拖尾电流	小而长	大而短	小而短
可靠性	多芯片并联使用	不宜	适宜	适宜
	抗短路能力	弱	最强	强
	抗动态雪崩能力	弱	最强	强

表 1) : PT-IGBT、NPT-IGBT、FS-IGBT 比较

图 2a) 展示了 IGBT 元胞的基本结构, 其中 P-collector、N-drift 和 P-base 区构成 PNP 晶体管部分, N+源区、P-base 基区以及 N-drift 作为漏区共同构成 NMOS 结构。

整体上看, IGBT 结构是在 MOS 管结构的基础上, 将部分 n 型漏极区用重掺杂 p 型区代替, 两者最大的区别在于, MOS 管器件采用低掺杂的 n 型漏极区以获得较高的击穿电压, 然而在导通状态下会产生较大的压降; IGBT 背面引入的 N-drift/P-collector 结可以在器件导通时向漂移区注入少数载流子, 在 N-drift 区形成电导调制效应, 大大降低漂移区电阻。

IGBT 是一个三端器件, 正面有两个电极, 分别为发射极 (Emitter) 和栅极 (Gate), 背面为集电极 (Collector); 在正向工作状态下, 发射极接地或接负压, 集电极接正压, 两电极间电压 $V_{ce}>0$, 因此 IGBT 的发射极和集电极又分别称为阴极 (Cathode) 和阳极 (Anode)。IGBT 可以通过控制其

集-射极电压 V_{ce} 和栅-射极电压 V_{ge} 的大小，实现对 IGBT 导通/开关/阻断状态的控制，其简要工作原理如下：

当 IGBT 栅-射极加上加 0 或负电压时，正面 MOSFET 结构沟道消失，IGBT 呈关断状态。

当集-射极电压 $V_{ce} < 0$ 时，N-drift/P-collector PN 结处于反偏，IGBT 呈反向阻断状态。

当集-射极电压 $V_{ce} > 0$ 时，分两种情况：

①若栅-射极电压 $V_{ge} < V_{th}$ ，MOS 栅极沟道不能形成，IGBT 呈正向阻断状态。

②若栅-射极电压 $V_{ge} > V_{th}$ ，MOS 栅极沟道形成，IGBT 呈导通状态（正常工作）。此时，空穴从 P+区注入到 N-基区进行电导调制，减少 N-基区电阻 R_N 的值，使 IGBT 通态压降降低。

三、IGBT 工艺技术

IGBT 的正面工艺流程和常规平面 DMOS 器件类似。

主要包括以下步骤：保护环注入和推进→场氧（FOX）形成→沟槽刻蚀与栅氧生长→多晶 Poly 填充→源区 Pbody 与 N+注入→介质层生长→接触孔刻蚀与填充→金属层连接与钝化层覆盖。IGBT 的背面工艺与 DMOS 有较大差别，主要工艺步骤包括：背面减薄→H 注入或 P 注入形成 Buffer 层→背面集电极 P+注入→激光退火→背面金属层形成。

IGBT 工艺技术有别于平面 DMOS 且加工难度大的方面包括：超薄片加工、高能离子注入、背面激光退火。

四、IGBT 发展路线

从 20 世纪 80 年代 IGBT 器件诞生至今，随着工艺水平的发展，IGBT 先后经历了 7 代升级，从平面穿通型（PT）到平面非穿通型（NPT），再到沟槽场截止型（Trench FS），芯片面积、工艺线宽、通态饱和压降、关断时间、功率损耗等各项参数指标经历了不断的优化，阻断电压也从最初的 600V 提高到 10000V 以上，产品涵盖低中高各个电压范围。

IGBT 各代次技术参数对比如下表 2 所示。

序号	MOS 结构+体结构	芯片面积 (相对值)	工艺线宽 (μm)	通态饱和压降 (V)	关断时间(us)	功率损耗(相对值)	断态电压 (V)	时间
1	平面(Planar)+穿通(PT)	100	5	3	0.5	100	600	1988
2	改进平面+穿通(PT)	56	5	2.8	0.3	74	600	1990
3	沟槽(Trench)+穿通(PT)	40	3	2	0.25	51	1200	1992
4	平面/沟槽+非穿通(NPT)	31	1	1.5	0.25	39	3300	1997
5	平面/沟槽+场终止(FS)	27	0.5	1.3	0.19	33	4500	2001
6	沟槽+场截止(FS)	24	0.5	1	0.15	29	6500	2003
7	微沟槽(MPT)场截止(FS)	20	0.3	0.8	0.12	25	7000	2008

表 2)：IGBT 各代次技术参数对比

未来 IGBT 器件将向着槽栅结构、精细化图形、载流子注入增强调制、以及薄片化的加工工艺和更大尺寸的晶圆方向继续发展；同时，先进的封装技术和更多功能的集成也是 IGBT 的发展方向；此外，伴随着 SiC 材料开发逐渐走向成熟，SiC IGBT 器件的研发和产业化或许会给 IGBT 器件带来新的生机。

五、龙腾 IGBT 产品列表

Part Number	Characteristics	V _{CEs} (V)		V _{CE(sat)}	V _{GE(th)}	V _F (V)	Package
			100°C	Typ.	Typ.	Typ.	
LKB40N120TM1	Trench FS	1200	40	1.8	5.8	2.5	TO-247
LKB40N65TM2	Trench FS	650	40	1.8	5.7	1.3	TO-247
LKB40N65TM1	Trench FS	650	40	1.8	5.7	1.3	TO-247
LKB40N65TF2	Trench FS	650	40	2	4.7	1.6	TO-247
LKB40N65TF1	Trench FS	650	40	2	4.6	1.9	TO-247

注：以上信息出自龙腾半导体，转载请注明出处。