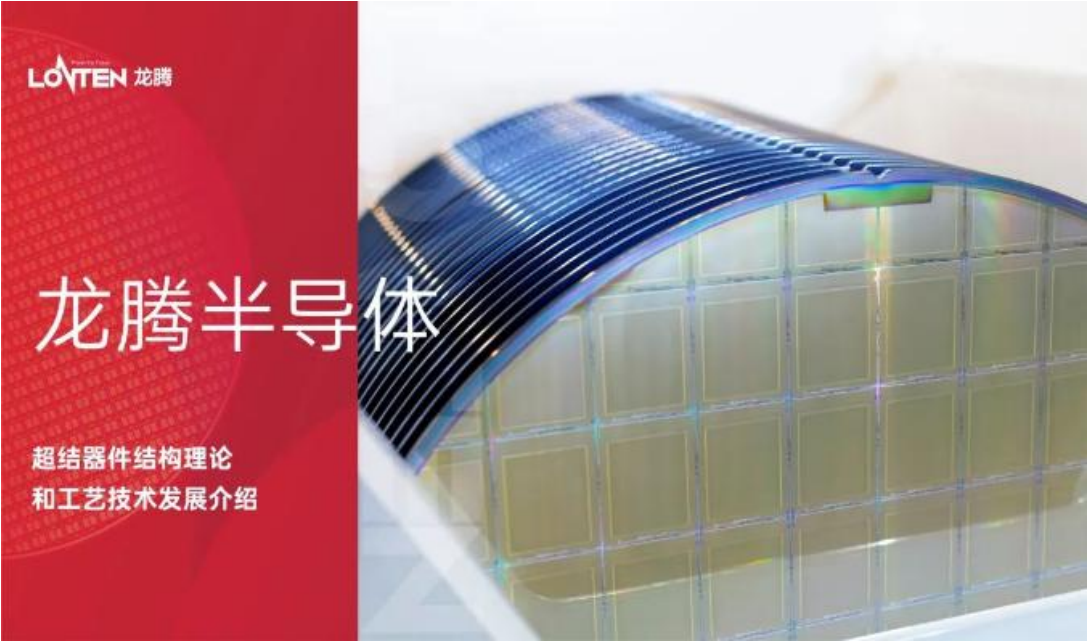


龙腾半导体超结器件结构理论和工艺技术发展介绍



超结 VDMOS 是一种发展迅速、应用广泛的新型功率半导体器件。它在常规纵向双扩散金属氧化物半导体 (VDMOS) 基础上, 引入超结 (Superjunction) 结构, 使之既具有 VDMOS 输入阻抗高、开关速度快、工作频率高、电压控制、热稳定性好、驱动电路简单的特性, 又克服了 VDMOS 的导通电阻随击穿电压急剧增大的缺点, 提升了系统效率。

目前超结 VDMOS 已广泛应用于电脑、手机、照明等消费电子领域、服务器电源、通讯电源等工业电子领域、以及充电桩、车载充电机等汽车电子领域。

一、超结理论

功率器件要得到较高的击穿电压, 就必须使用较厚的外延层漂移区与较低的掺杂浓度, 常规 VDMOS 的特征导通电阻与击穿电压关系如下式所示^[1]:

$$R_{DS(on,sp)} = 5.93 \times 10^{-9} BV_{DS}^{2.5} \propto BV_{DS}^{2.5}$$

因而特征导通电阻会随着击穿电压的增大而急剧增大, 对于常规结构功率器件的导通电阻受此“硅限”的约束而无法进一步降低。在传统的 VDMOS 结构中, 阻断状态时漏端加高电压, Pbody 和 N 型外延层形成的 PN 结承受了这一电压。如下图左所示外延层的电场近似呈三角形分布, 峰值电场出现在上述 PN 结处, 减小漂移区的掺杂浓度和增大外延层厚度, 可以增大击穿电压, 但特征导通电阻与击穿电压成 2.5 次方关系增加。

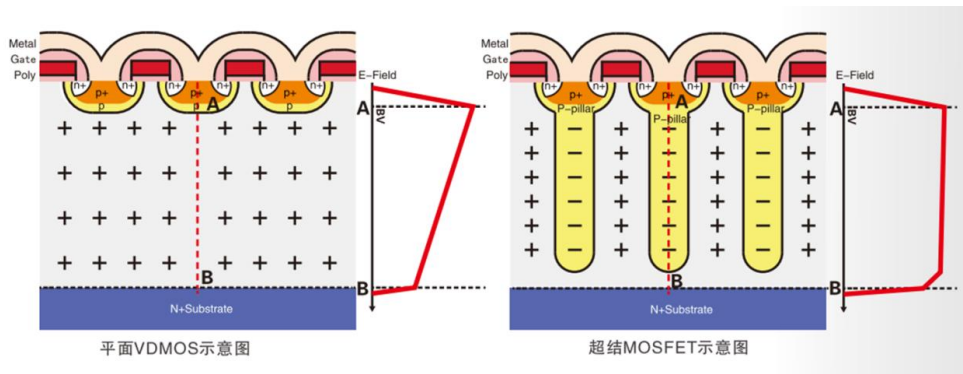


图:平面 VDMOS 结构与超结 MOSFET 电场分布图

为了减小功率器件漂移区的导通电阻，1988 年飞利浦公司的工程师 David J. Coe 申请的美国专利^[2]，首次在横向高压 MOSFET 中提出采用交替的 PN 结结构代替传统功率器件中低掺杂漂移层作为耐压层的方法。

1993 年，电子科技大学的陈星弼教授提出了在纵向功率器件^[3]中用多个 PN 结结构作为漂移层的思想，并把这种结构称之为“复合缓冲层”（Composite Buffer Layer）。

1995 年，西门子公司的 J. Tihanyi 申请的美国专利^[4]，提出了类似的思路和应用。

1997 年日本的学者 Tatsuhiko 等人对上述概念进行总结，提出了“超结”（Superjunction）理论^[5]。

在超结 VDMOS 中，耐压层由交替的高掺杂 N 柱和 P 柱构成，且 N 柱和 P 柱中的掺杂总量相等。在导通状态下，电流从源区经 N 柱流到漏区，P 柱中不存在导电通道，而在阻断状态下，超结 VDMOS 的漂移区通过 P 柱的辅助耗尽作用在较低漏电压下就完全耗尽，由于完全耗尽，P 柱与 N 柱的等量异种电荷相互抵消而实现电荷平衡，如上图右所示电场在外延层漂移区中近似于处处相等，因而击穿电压约等于临界电场与漂移区长度的乘积，这使得超结 VDMOS 的特征导通电阻与其击穿电压近似呈线性关系，而不是传统器件的 2.5 方关系，进而可以减小特征导通电阻^[6]。

对于超结 VDMOS 的比导通电阻与击穿电压的关系，可由下式表示^[7]：

$$R_{DS(on,sp)} = 1 \times 10^{-7} g B V_{DSS}^{1.32} b^{11/12} \propto B V_{DSS}^{1.32}$$

其中，g 为与元胞形状有关的常数，取值范围 1~2.5；BVDSS 为击穿电压，单位 V；b 为单位元胞宽度，单位 μm ；RDS(on.sp)的单位是 $\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 。

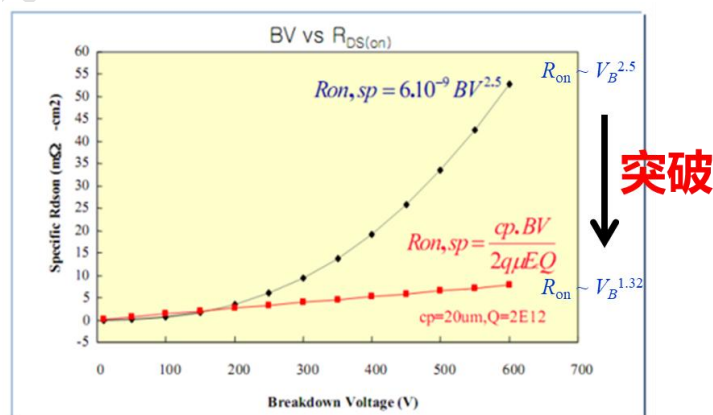


图:超结 MOSFET 突破常规 VDMOS 硅限

二、超结理论的应用

1998 年 Infineon 公司首次将超结器件商业化，推出了超结 VDMOS 即 “CoolMOS™”，其 P 柱是采用多次外延和多次离子注入的方式实现的，CoolMOS 显著地降低了导通电阻。目前超结结构主要有两种工艺实现方式：多次外延及深槽刻蚀加外延填充。

（一）多次外延工艺

该工艺是在 N+衬底上采用多次外延方式生长很厚的外延层漂移区，每一次外延工艺均伴随一次 P 型离子注入，随后推结形成连续的 P 柱。制作一个约 40μm 深的外延层漂移区，一般需要进行 5 到 6 次外延生长和离子注入。多次外延与深槽外延方式相比工艺难度较低，但制作超结结构需要多次外延、多次光刻、多次离子注入及推结过程，大大增加了工艺复杂度和制造成本。

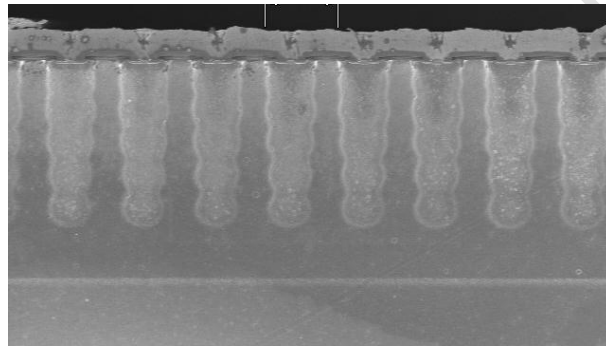


图:多次外延工艺超结 VDMOS

采用多次外延工艺的公司有 Infineon、ST、Fairchild。

（二）深槽刻蚀加外延填充

该工艺是在 N 外延层上刻蚀出深沟槽，然后在深沟槽中进行 P 型外延生长，制作一个约 40μm 深的 P 柱，只需进行一次深槽刻蚀及一次深槽外延生长，较多次外延工艺大大简化了工艺步骤，进而降低了生产成本。

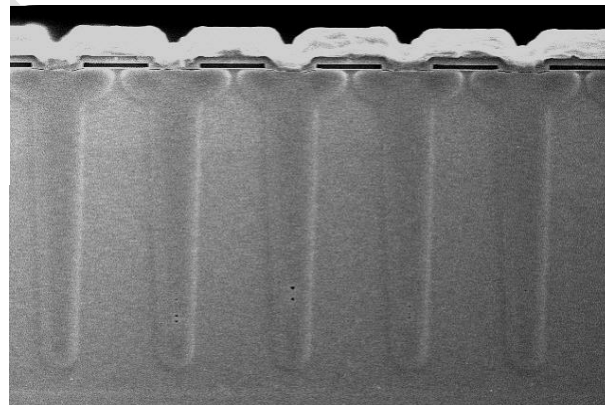
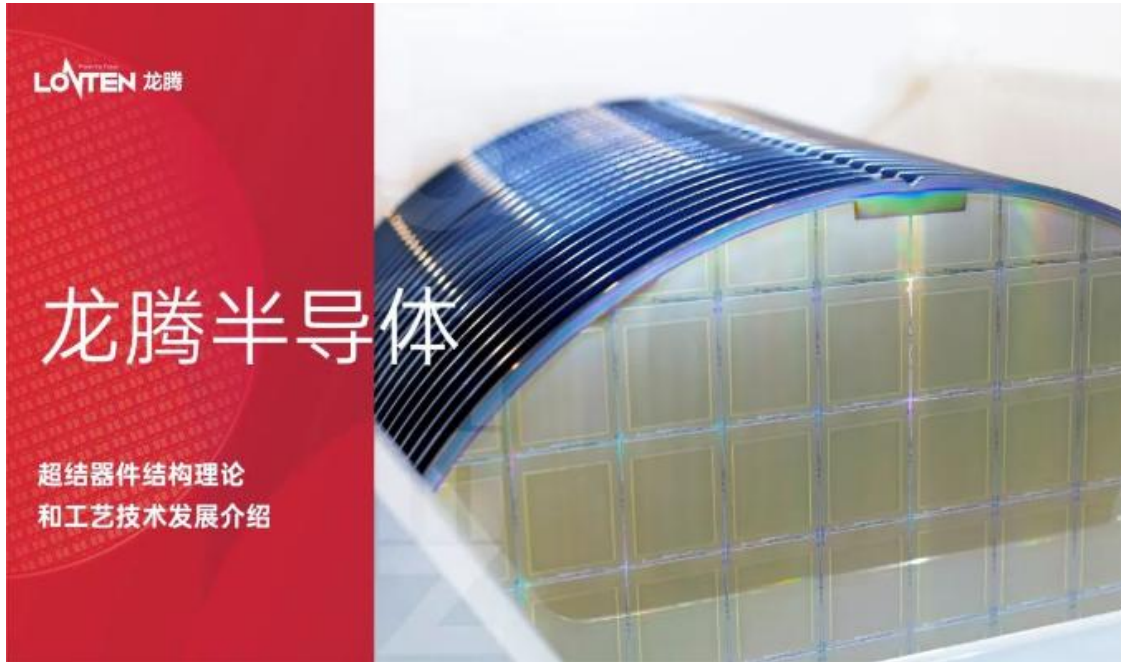


图:深槽外延工艺超结 VDMOS

采用深槽外延工艺方式的公司有上海华虹、Fairchild、Fuji Electric、Toshiba。

三、龙腾超结 MOS 主推产品列表



Part Number	VDS (V)	ID (A) 25℃	PD (W) 25℃	RDS(ON) (Ω) (VGS=10V)	Qg(nC) (VGS=10V)	VGS(th) (V)	Package
				Typ.	Typ.	Typ.	
LSE50R160HT	500	20	139	0.14	22.3	3.5	TO-263
LSB55R140GT	550	23	205	0.11	40	3.5	TO-247
LSD55R140GT	550	23	34	0.11	40	3.5	TO-220F
LSE55R140GT	550	23	205	0.11	40	3.5	TO-263
LSF55R140GT	550	23	205	0.11	40	3.5	TO-262
LSDN55R140GT	550	23	34	0.11	40	3.5	TO-220NF
LSB55R140GF	550	23	205	0.11	40	3.5	TO-247
LSD55R140GF	550	23	34	0.11	40	3.5	TO-220F
LSE55R140GF	550	23	208	0.11	40	3.5	TO-263
LSD65R200HT	600	18	32	0.173	28.6	3.5	TO-220F
LSB65R041GF	650	70	500	0.036	110	3	TO-247
LSB65R070GT	650	47	290	0.062	87	3.5	TO-247
LSD65R070GT	650	47	40	0.062	87	3.5	TO-220F
LSD65R070GF	650	47	40	0.065	95		TO-220F
LSB65R070GF	650	47	290	0.062	87	3	TO-247
LSB65R099GT	650	40	278	0.085	71.3	3.5	TO-247
LSD65R099GT	650	40	38	0.085	71.3	3.5	TO-220F
LSE65R099GT	650	40	357	0.085	71.3	3.5	TO-263
LSC65R099GT	650	40	357	0.085	71.3	3	TO-220
LSNC65R099GT	650	40	152	0.085	71.3	3.5	DFN8*8
LSB65R099GF	650	40	278	0.085	71.3	3	TO-247
LSD65R099GF	650	40	35	0.085	71.3	3	TO-220F

LSNC65R099GF	650	40	156	0.086	74.6	-	DFN8*8
LSC65R099GF	650	40	357	0.085	71.3	3	TO-220
LSE65R099GF	650	40	278	0.086	66	3	TO-263
LSB65R125GT	650	31	266	0.114	54.2	3.5	TO-247
LSD65R125GT	650	31	63	0.114	54.2	3.5	TO-220F
LSC65R125GT	650	31	266	0.114	54	3.5	TO-220
LSE65R125GT	650	31	266	0.114	54.2	3.5	TO-263
LSNC65R125GT	650	31	130	0.114	54.2	3.5	DFN8x8
LSC65R135GF	650	28	266	0.127	54	3.6	TO-220
LSD65R135GF	650	28	36	0.127	54	3.6	TO-220F
LSB65R135GF	650	28	266	0.127	54	3.6	TO-247
LSE65R135GF	650	28	266	0.127	54	3.6	TO-263
LSD65R125HT	650	25	34.7	0.115	43	3	TO-220F
LSE65R125HT	650	25	250	0.115	43	3	TO-263
LSF65R125HT	650	25	250	0.115	43	3.5	TO-262
LSNC65R125HT	650	25	125	0.115	43	3.5	DFN8x8
LSD65R190WE	650	21	34	0.14	43	3.3	TO-220F
LSE65R180GF	650	20	208	0.16	40.2	3.5	TO-263
LSNC65R180GF	650	20	109	0.16	40.2	3	DFN8x8
LSB65R180GF	650	20	208	0.16	40.2	3.5	TO-247
LSC65R180GF	650	20	208	0.16	40.2	3.5	TO-220
LSD65R180GF	650	20	34	0.16	40.2	3.5	TO-220F
LSF65R180GF	650	20	208	0.16	40.2	3.5	TO-262
LSB65R180GT	650	20	208	0.16	40.2	3.5	TO-247
LSNC65R180GT	650	20	109	0.16	40.2	3.5	DFN8*8
LSC65R180GT	650	20	208	0.16	40.2	3.5	TO-220
LSD65R180GT	650	20	34	0.16	40.2	3.5	TO-220F
LSE65R180GT	650	20	208	0.16	40.2	3.5	TO-263
LSF65R180GT	650	20	208	0.16	40.2	3.5	TO-262
LSF65R180HT	650	20	192	0.15	36.5	3.5	TO-262
LSD65R180HT	650	20	33	0.15	36.5	3.5	TO-220F
LSE65R180HT	650	20	192	0.15	36.5	3.5	TO-263
LSB65R200HT	650	18	162	0.173	28.6	3.5	TO-247
LSG65R200HT	650	18	162	0.173	28.6	3.5	TO-252
LSC65R280HT	650	15	138	0.24	22	3.5	TO-220
LSD65R280HT	650	15	29.8	0.24	22	3.5	TO-220F
LSE65R280HT	650	15	138	0.24	22	3.5	TO-263
LSG65R280HT	650	15	125	0.24	22	3.5	TO-252
LSNC65R280HT	650	15	78	0.24	22	3.5	DFN8*8
LSD65R380HT	650	11	28	0.33	16.9	3.5	TO-220F
LSE65R380HT	650	11	114	0.33	16.9	3.5	TO-263
LSF65R380HT	650	11	114	0.33	16.9	3.5	TO-262
LSG65R380HT	650	11	96	0.33	16.9	3.5	TO-252

LSH65R380HT	650	11	96	0.33	16.9	3.5	TO-251
LSN65R380HT	650	11	66	0.33	16.9	3.5	DFN5x6
LSB65R380HT	650	11	90	0.33	14.7	3.5	TO-247
LSNC65R380HT	650	11	66	0.33	16.9	3.5	DFN8x8
LSDN65R380HT	650	11	28	0.33	16.9	3.5	TO-220NF
LSC65R380GT	650	11	125	0.34	21	3.5	TO-220
LSD65R380GT	650	11	30	0.34	21	3.5	TO-220F
LSE65R380GT	650	11	125	0.34	21	3.5	TO-263
LSG65R380GT	650	11	114	0.34	21	3.5	TO-252
LSH65R380GT	650	11	114	0.34	21	3.5	TO-251
LSF65R380GT	650	11	125	0.34	21	3.5	TO-262
LSF65R380GF	650	11	125	0.34	21	3.5	TO-262
LSD65R380GF	650	11	30	0.34	21	3.5	TO-220F
LSE65R380GF	650	11	125	0.34	21	3.5	TO-263
LSG65R380GF	650	11	114	0.34	21	3.5	TO-252
LSD65R310GM	650	11	30.8	0.26	21.8	3	TO-220F
LSG65R310GM	650	11	138	0.26	21.8	3	TO-252
LSNC65R380GM	650	11	73.5	0.32	19.9	3	DFN8x8
LSDN65R380GM	650	11	29	0.32	19.9	3	TO-220NF
LSD65R380GM	650	11	29	0.32	19.9	3	TO-220F
LSG65R380GM	650	11	113	0.32	19.9	3	TO-252
LSD65R360WE	650	11	29.7	0.31	24	3.4	TO-220F
LSD65R650HT	650	7	26	0.55	10.2	3.5	TO-220F
LSG65R650HT	650	7	69	0.55	10.2	3.5	TO-252
LSD65R570GM	650	7	28	0.5	14.9	3	TO-220F
LSG65R570GM	650	7	83	0.5	14.9	3	TO-252
LSH65R570GM	650	7	83	0.5	14.9	3	TO-251
LSD65R950HT	650	4	24	0.86	9.1	3.5	TO-220F
LSG65R950HT	650	4	50	0.86	9.1	3.5	TO-252
LSS65R950HT	650	4	6	0.86	9.1	3.5	SOT223
LSH65R950HT	650	4	50	0.86	9.1	3.5	TO-251
LSG65R1K5HT	650	3	39	1.2	6.6	3.5	TO-252
LSC70R380GT	700	11	139	0.34	23.8	3.5	TO-220
LSD70R380GT	700	11	30.5	0.34	23.8	3.5	TO-220F
LSG70R380GT	700	11	139	0.34	23.8	3.5	TO-252
LSE70R380GT	700	11	139	0.34	23.8	3.5	TO-263
LSD70R310GM	700	11	30.5	0.26	25	3.5	TO-220F
LSG70R310GM	700	11	125	0.26	25	3.5	TO-252
LSC70R310GM	700	11	139	0.26	25	3.5	TO-220
LSD70R380GM	700	11	29	0.32	19.9	3	TO-220F
LSG70R380GM	700	11	113	0.32	19.9	3	TO-252
LSDN70R380GM	700	11	29	0.32	19.9	3	TO-220NF
LSG70R450GT	700	11	125	0.4	21	3.5	TO-252

LSG70R570GM	700	7	83	0.5	14.9	3	TO-252
LSH70R570GM	700	7	83	0.5	14.9	3	TO-251
LSDN70R570GM	700	7	28	0.5	14.9	3	TO-220NF
LSD70R570GM	700	7	28	0.5	14.9	3	TO-220F
LSG70R1KGM	700	4	56	0.9	10.3	3	TO-252
LSD70R1KGM	700	4	25	0.9	10.3	3	TO-220F
LSH70R1KGM	700	4	56	0.9	10.3	3	TO-251
LSG70R1KGT-D	700	4	50	0.9	13	3.5	TO-252
LSB80R350GT	800	15	160	0.28	39	3.5	TO-247
LSC80R350GT	800	15	160	0.28	39	3.5	TO-220
LSD80R350GT	800	15	33	0.28	39	3.5	TO-220F
LSE80R350GT	800	15	160	0.28	39	3.5	TO-263
LSF80R350GT	800	15	160	0.28	39	3.5	TO-262
LSD80R680GT	800	8	29	0.58	21	3.5	TO-220F
LSE80R680GT	800	8	125	0.58	21	3.5	TO-263
LSG80R680GT	800	8	125	0.58	21	3.5	TO-252
LSD80R980GT	800	5	29	0.85	14.5	3.5	TO-220F
LSG80R980GT	800	5	50	0.85	14.5	3.5	TO-252
LSH80R980GT	800	5	83	0.85	14.5	3.5	TO-251

注：以上信息出自龙腾半导体市场部，转载请注明出处。