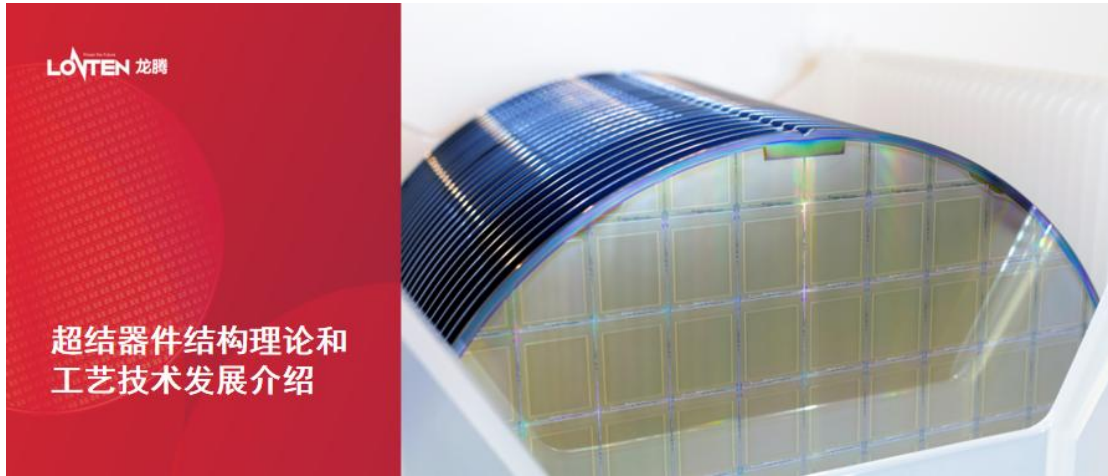


# 超结器件结构理论和工艺技术发展介绍



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<sup>[1]</sup>:

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

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。

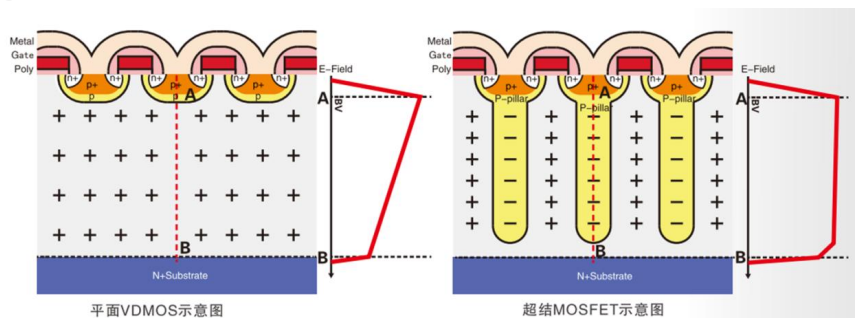


图:平面 VDMOS 结构与超结 MOSFET 电场分布图

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<sup>[2]</sup>，首次在横向高压 MOSFET 中提出采用交替的 PN 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<sup>[3]</sup>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<sup>[4]</sup>，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<sup>[5]</sup>。

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<sup>[6]</sup>。

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<sup>[7]</sup>：

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

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 mΩ·cm<sup>2</sup>。

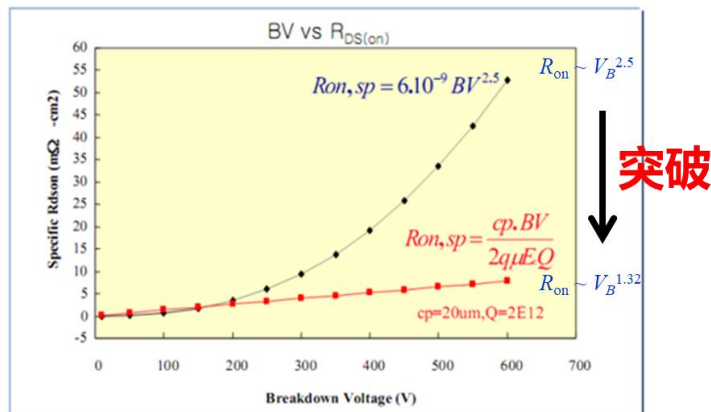


图:超结 MOSFET 突破常规 VDMOS 硅限

## 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 40 μm 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。

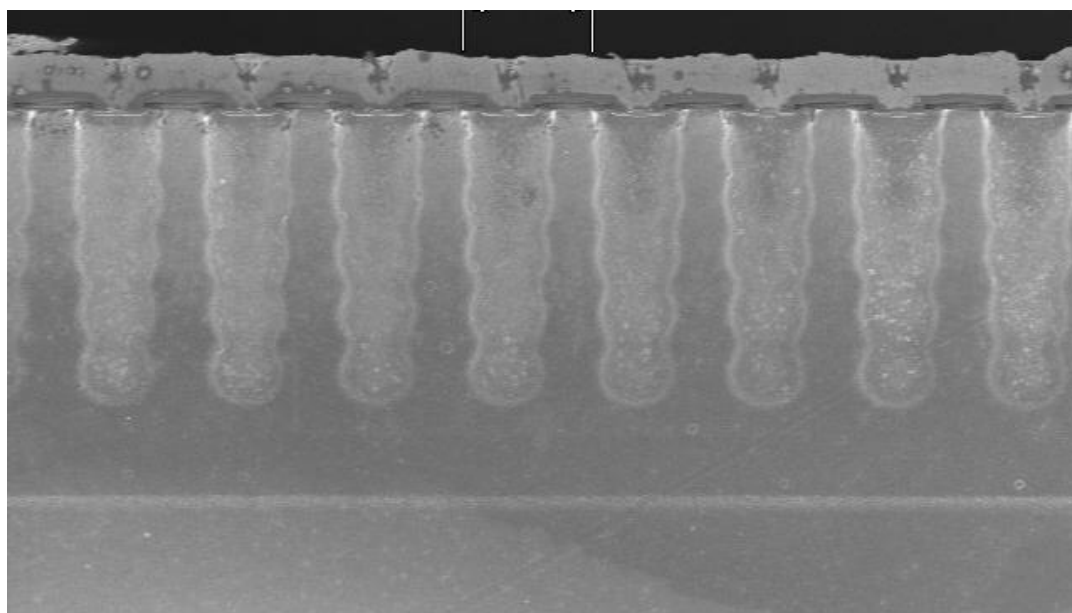


图:多次外延工艺超结 VDMOS

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  $40\mu\text{m}$  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。

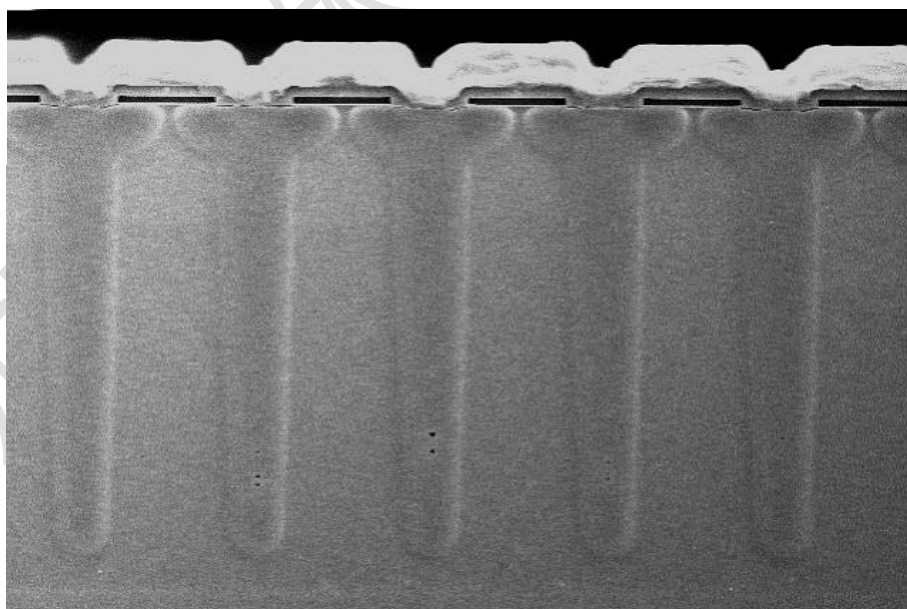


图:深槽外延工艺超结 VDMOS

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)<br>25°C | PD (W)<br>25°C | RDS(ON) (Ω)       | Qg(nC)            | VGS(th) (V) | Package  |
|--------------|---------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------|----------|
|              |         |                |                | (VGS=10V)<br>Typ. | (VGS=10V)<br>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   | DFN8×8   |
| 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，转载请注明出处。

龙腾半导体

龙腾半导体