

应对BLDC高性能驱动中的MOSFET应用

锐骏学院

銳意進取 · 駿馬騰飛





加载及堵转测试

堵转是必测试项目：

- ✓ 加载、持续阻力加载力和堵转、完全堵死测试
- ✓ 低速带载（堵转/缺相/相跟相短路）实验
- ✓ 测试电机和MOSFET持续升温情况与电流增加情况
- ✓ 测试电路对温度和电流的保护有效性

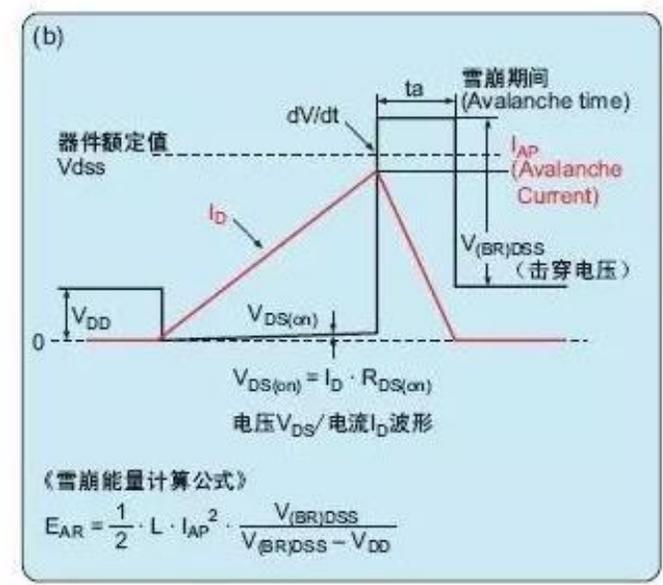
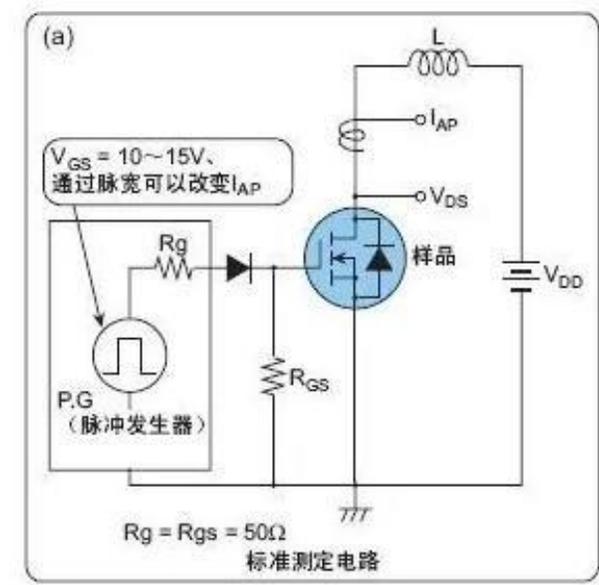
测试方法：

- ✓ 按照标准或者企业标准，用自制测试治具或设备
- ✓ 按照各公司自有的经验，增加阻力，堵死等手段
- ✓ 针对MOSFET管替换的对比温升



雪崩 (EAS) 失效的预防措施

- 雪崩 (EAS) 重点是能量聚集而失效:
- ▶ 一个超越 V_{DSS} 的电压，电流的迅速增加能耐受的参数
 - ▶ 合理降额使用，电机一般选取70%-80%的降额，直接从驱动电压来看在50-60%;
 - ▶ 短的粗的供电及负载回路;
 - ▶ 选择合理的栅极电阻 R_g ;



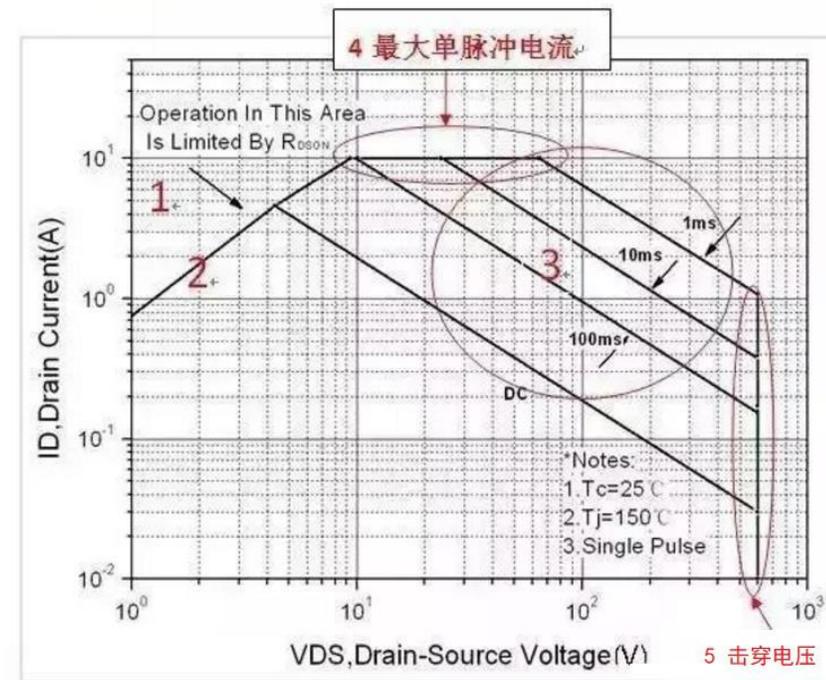
雪崩破坏耐量测定电路和波形



SOA电流失效

SOA失效是指电源在运行时异常的大电流和电压同时叠加在MOSFET上面，造成瞬时局部发热而导致的破坏模式。或者是芯片与散热器及封装不能及时达到热平衡导致热积累，持续的发热使温度超过氧化层限制而导的热击穿模式。

- 1: 受限于最大额定电流及脉冲电流
- 2: 受限于最大节温下的 $R_{\text{DS(on)}}$
- 3: 受限于器件最大的耗散功率。
- 4: 受限于最大单个脉冲电流。
- 5: 击穿电压 BV_{DSS} 限制区





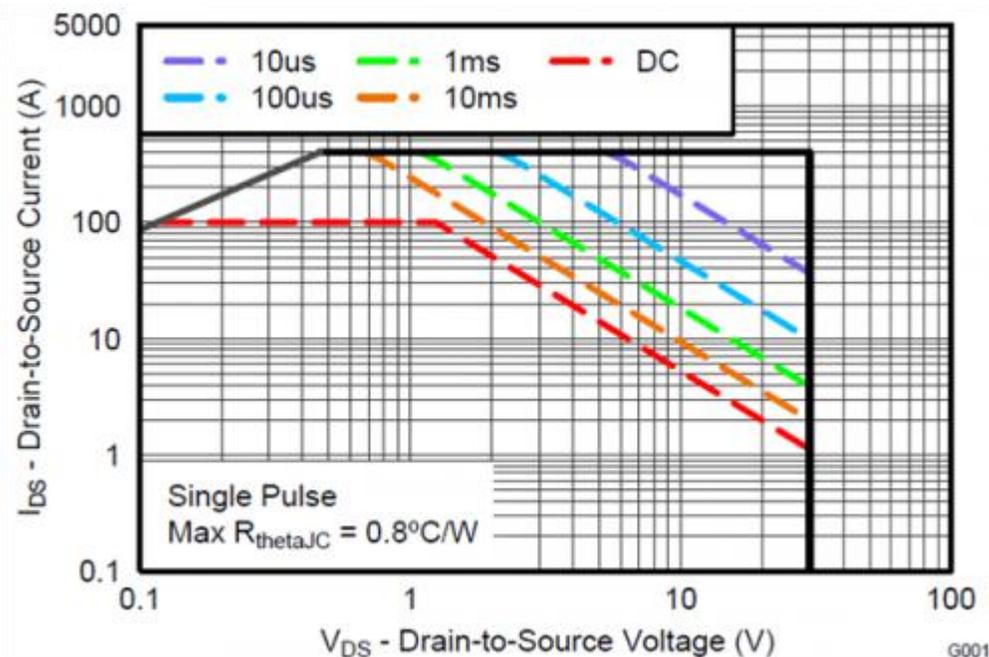
SOA电流应用计算

确定MOSFET SOA曲线

- 这些SOA曲线通常假定结温从25°C的环境温度上升到额定最大结温，在这个情况下为150°C。然而，散热要求常常需要在更高的起始温度上运行，并且图中的数据必须根据等式： $SOA_T = SOA_{J_{MAX}} \times (T_{J_{MAX}} - T) / (T_{J_{MAX}} - T_A)$
- 针对较低的温度上升值进行调整，其中 SOA_T 代表在任意温度T上的SOA性能， $SOA_{J_{MAX}}$ 代表制造商SOA曲线的一个特定点上的性能，而 $T_{J_{MAX}}$ 和 T_A 代表峰值和环境结温。

例如：

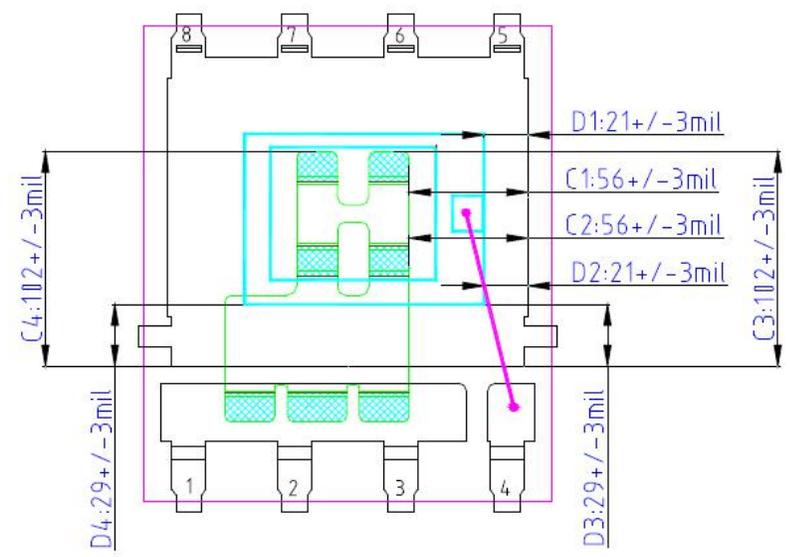
- SOA曲线显示RUH30150M在25°C，1ms脉冲，最大输入12V的条件下能够耐受15A（或180W）的电流。
- 比如说，当MOSFET工作结温为79°C时，功率性能降为：
 $102W = 180W \times (150 - 79) / (150 - 25)$ 。



选择CLIP封装工艺提高导热能力

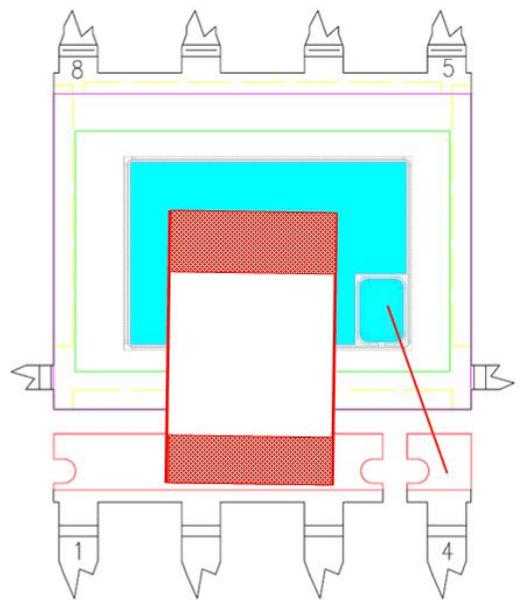
1. CLIP铜带工艺

芯片D和S分别被基导和铜片夹在中间，当前最好的一种功率器件封装方式。比铝带提升10-12%内阻。

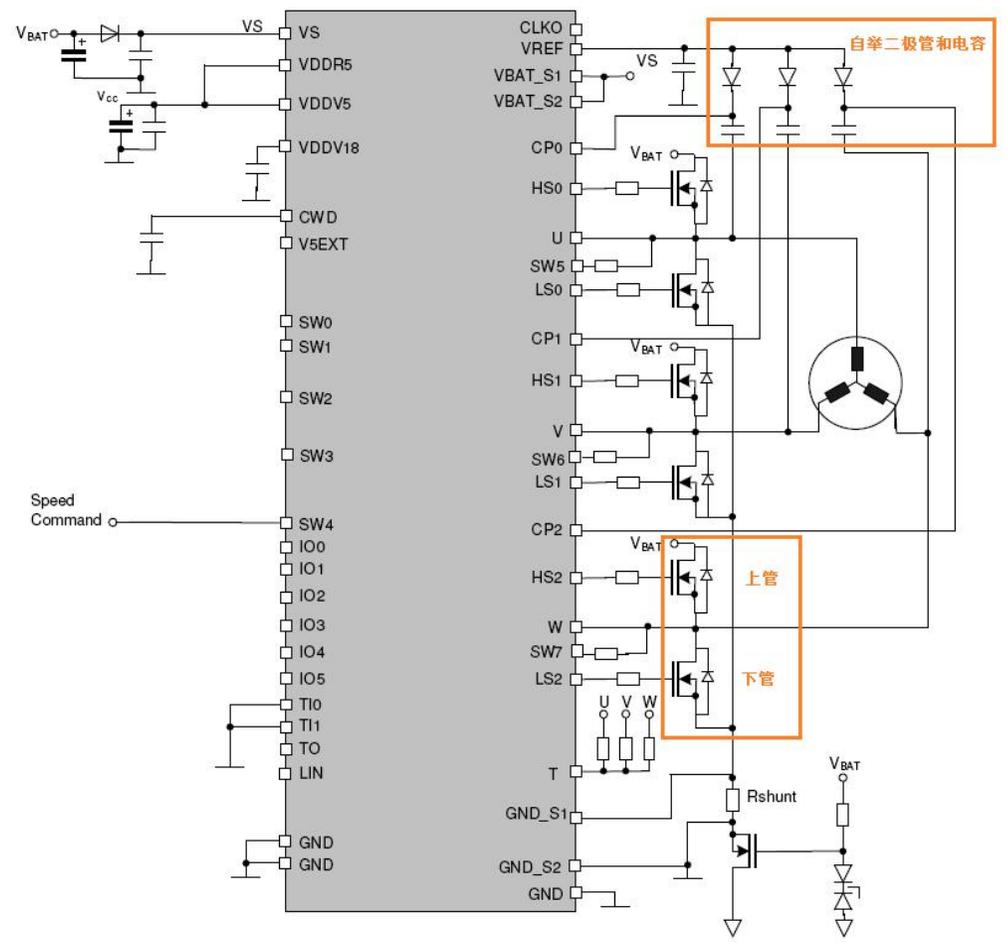


2. 铝带工艺

比打线散热有比较大的提升，降低内阻



上、下臂MOSFET



- ### 上、下MOSFET管选择
- 自举电路较占面积，上管为P-MOS可以节省掉自举线路，获得更高的集成度，推荐小型BLDC采用。
 - N-MOS有低的 $R_{DS(ON)}$ 和性价比优势，那么自举电路就必不可少，是最常用的设计方式。
 - 其中一组上管需要与另外两组下管组合开关动作，开关速度配合。接近的规格参数下，较容易实现死区时间的调整，从而提高驱动效率。
 - 优质的供货厂家，保证MOSFET参数的一致性很重要。

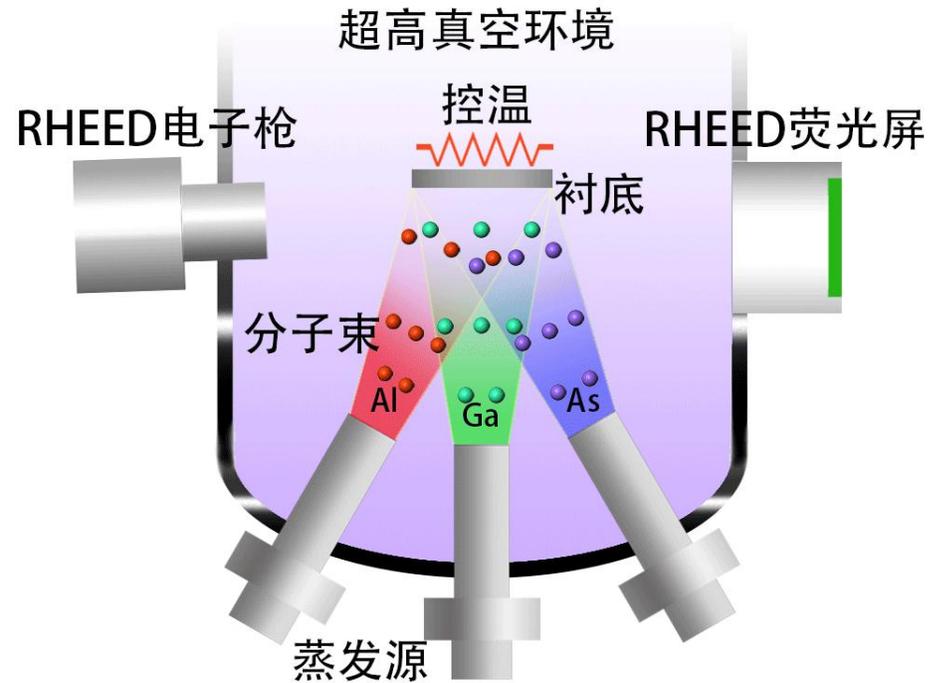
为什么多选择N-MOSFET

- 晶圆片是本征硅（4价）
- 生长添加3价物（二硼烷 B_2H_2 ）为P型外延片，
- 生长添加5价物（磷烷 PH_3 ，砷烷 ASH_3 ）为N型外延片。

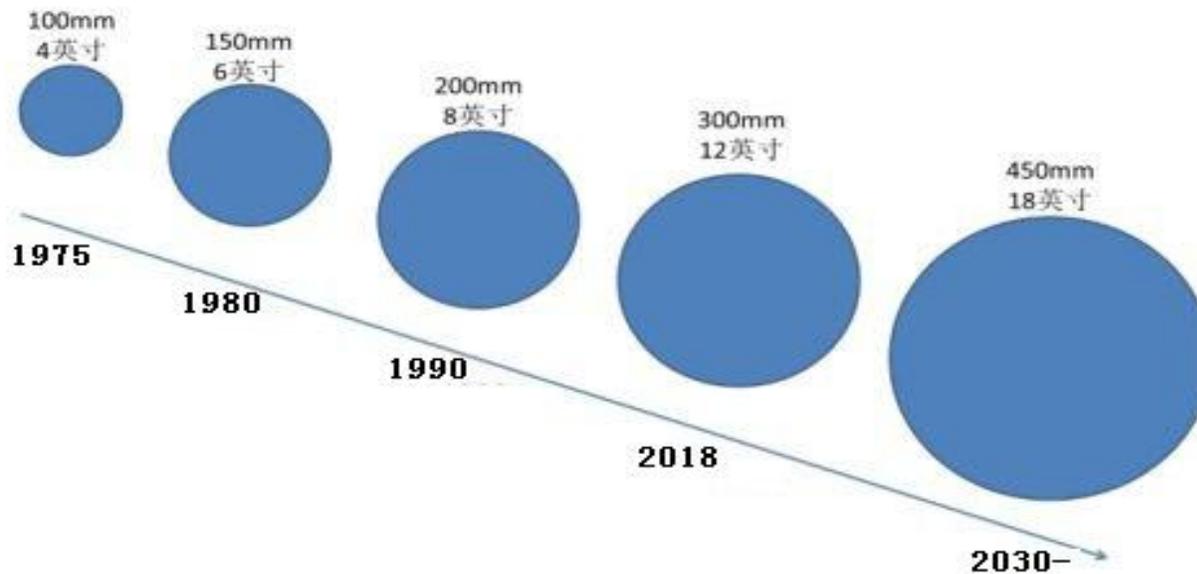
- 硅片外延生长时，常需要控制掺杂，以保证控制电阻率。

- P型多为空穴，N型则为多自由电子。
自由电子迁移率是空穴迁移率的2-3倍（同等面积下），因此P型MOS管面积大、成本会高。

- 外延生长是指在单晶衬底（基片）上生长一层有一定要求的、与衬底晶向相同的单晶层，犹如原来的晶体向外延伸了一段。



晶圆发展历程



- 锐骏产品现已6”、8”、12”全覆盖，其中6”为.35um IC产品系列，8”为single Trench MOS, SGT, Super Junction等产品，12”已成功开发出中压 MOSFET。
- 按照面积，6” wafer gross die为2.2K，8”为4.1K，12”为9.4K，约为8”的2.25倍；
- 对于生产同样一片晶圆，12”所用的生产时间，能源消耗、气体、酸液及环境支持成本等于8”一样，产出芯片颗粒数却增加了2.3倍，故从长远角度来看，12”芯片具有更大的技术、经济和环保优势。

12吋的光刻优势

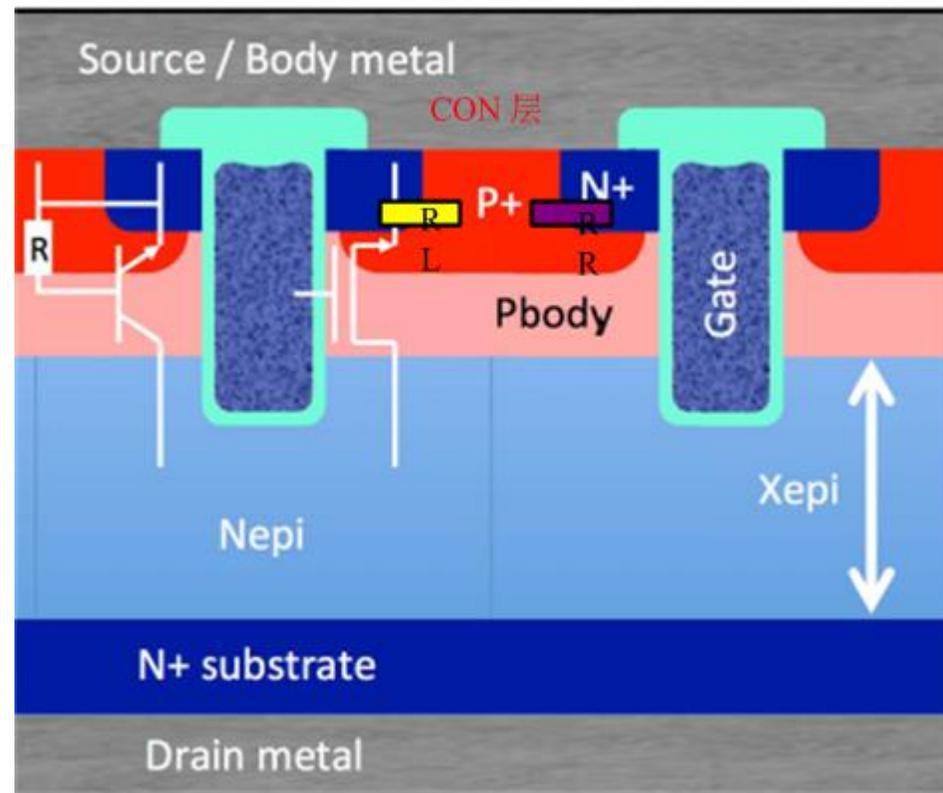
➤ 半导体芯片的制程中包括光刻，刻蚀，扩散，薄膜等几大模组，其中光刻是决定芯片制造精度和均匀性的关键制程，光刻通常由光刻机完成，光源决定了制造精度。

光源	波长
G线（可见光）	436nm
I线（UV,紫外线）	365nm
DUV(深紫外)	193/248nm
EUV(极紫外)	10~15um

Mask layer	8" litho	12" litho
TRN	I LINE	DUV
NSD	I LINE	DUV
CON	I LINE/DUV	DUV
ME	I LINE	DUV
PAS	I LINE	DUV

在功率MOSFET制程上，12寸全部层次采用技术程度更高，光波长更小，光刻精度更高的DUV深紫外光刻，决定了在器件制程的尺寸控制上具有跨越式的进步。

12吋优势能有效提升EAS 10%以上

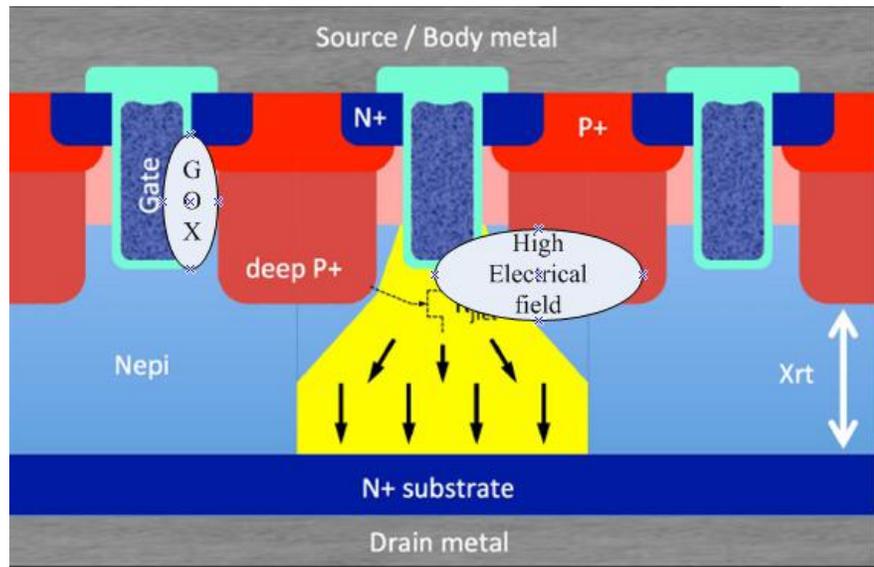


- MOSFET的EAS崩坏机制为寄生体三极管的基极电阻耐压超过0.7V，触发NPN三极管导通继而MOS不受栅控正常关闭而导致，为灾难性不可逆损伤，是功率器件耐受性的重要指标。
- 如左图所示的R即为寄生NPN管的基区电阻，该电阻越大，流通相同电流下产生电压就越大，越不利于EAS。
- MOSFET每个元胞都有并列的两个Rb，如图示的RL,RR，左右各一个，理论上两个电阻完全一样大，但是受制程中的对位限制，往往造成一边稍长一边稍短，那么长的一方电阻大，会造成寄生三极管提前导通，限制EAS能力。
- 同样的设计下，十二吋制程的EAS能力可以提高10%以上。（短期内成本本居高临下，但是未来趋势随着规模上去后，成本下降巨大）



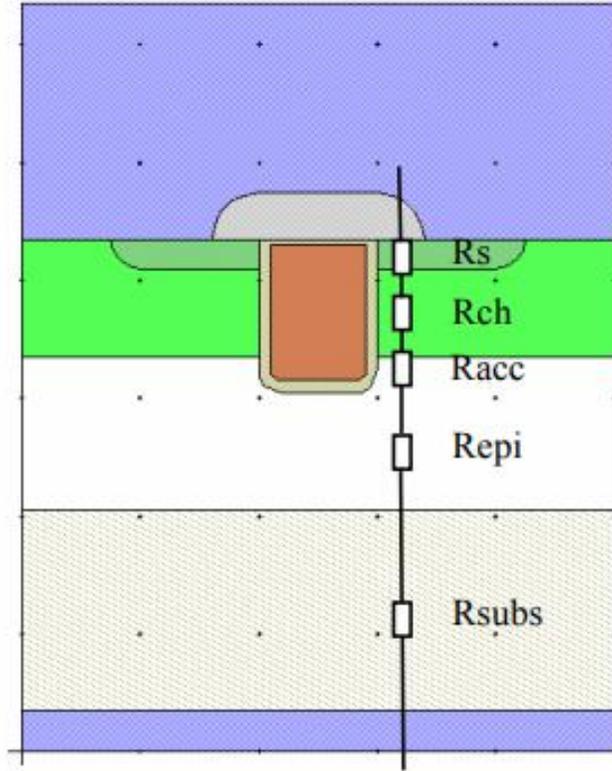
12吋晶圆工艺优势

十二吋for 功率器件制程配置了LAM主流深槽刻蚀机，最大槽深可以到20um，最大极限支持32nm 沟槽宽度，并配有CDE槽底grounding设备，使得MOSFET具有更流畅，精确的形貌控制继而获得最优的参数。



- 如图示的High Electrical field 高电场位置，在沟槽的底部拐角区域，该区域要求最佳的圆滑形貌来尽可能的降低电场曲率效应，十二吋深槽刻蚀机台在该方面有优异的表现。SGT 耐压更高，比如：250V 大约10-15um 沟槽深度。
- 如图示的GOX区域为器件的栅极氧化层，决定着开启电压 V_{TH} 和调控各结电容，该位置的氧化层厚度的生长均匀性和质量至关重要。目前该参数的均匀性控制8”在5%，12”可以做到3%；综上12”器件的各个元胞的工艺**一致性极佳**，在性能上十分均匀，也因此有了更高的可靠性。

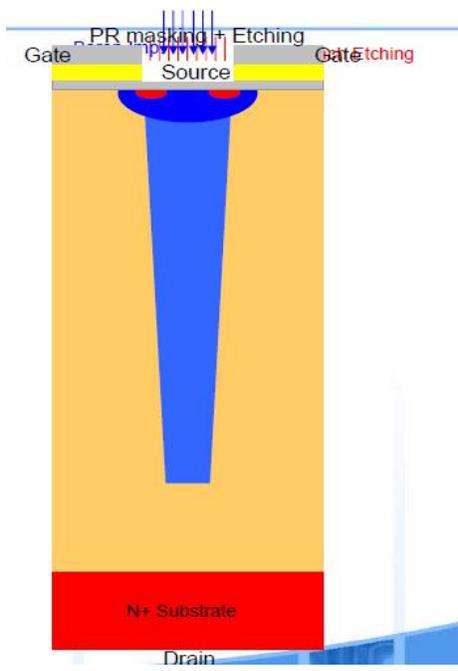
12吋的高密度元胞开发预期



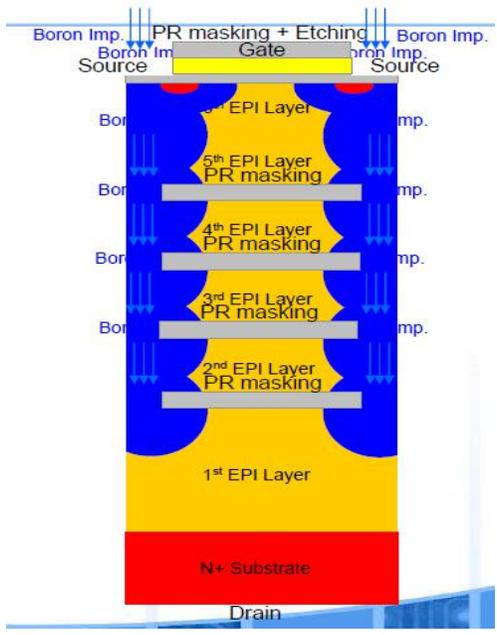
- 总所周知，导通电阻RON是考察MOSFET的重要静态参数之一，左图为Trench MOSFET的导通电阻构成，其中Rch为沟道电阻，该电阻在低压Trench MOS中占有相当大的比例，约有30%左右。
- 沟道电阻Rch受元胞密度调控，元胞尺寸cell pitch越小，同面积下元胞密度越高，相当于并联的沟道越高，则沟道电阻越小,电流密度更大。
- 目前业界低压MOS 最小cell pitch主流约在0.9um。
- 我们现在已经着手产品开发的是0.7um元胞尺寸MOSFET，鉴于12” DUV深紫外光刻+ 32nm 沟槽刻蚀机的组合，后续在高密度方向有希望在低压平台开发出0.7→0.5um…的cell pitch，产出更优RSP更高性价比的MOSFET产品。

扩展-十二寸 Super Junction Multi layer process 预研

Trench-filling Technology



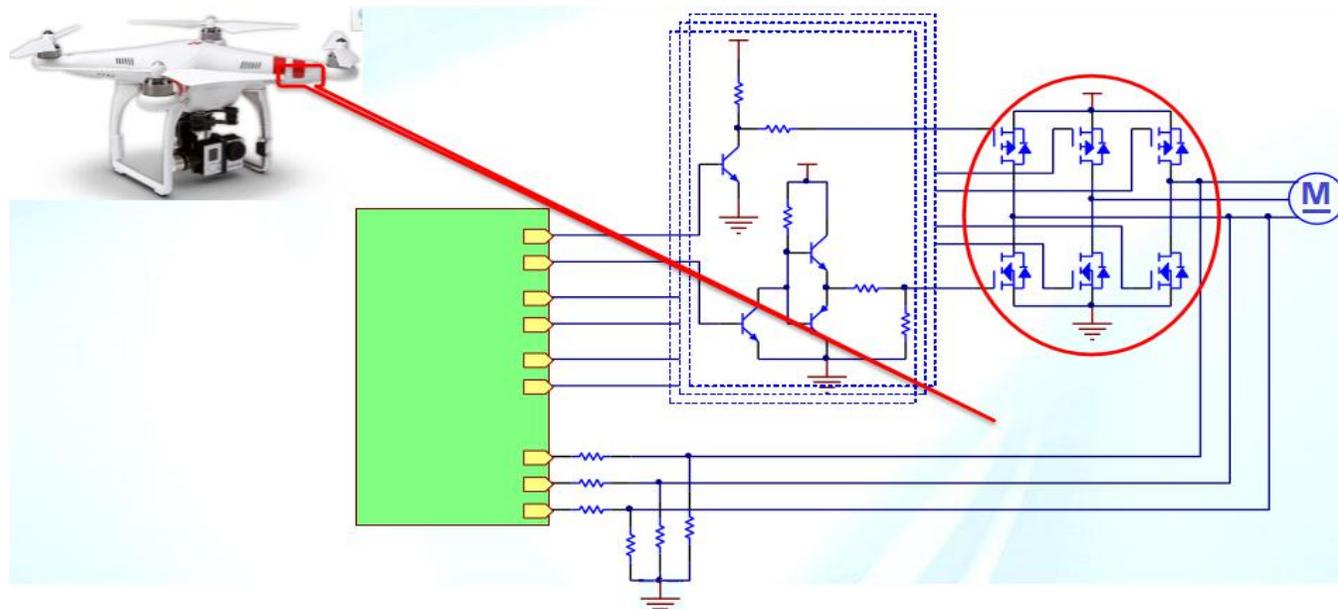
Multi-Epi Technology



目前国内超结主要采用Trench刻蚀+硅外延淀积的方式制程，受本身缺陷影响EMI/EAS能力较差，Multi-layer process（多层3D构造）制程的超结器件具有较高的EMI/EAS能力，但制程复杂，多次光刻对位精度要求高，采用12”的光刻和外延先进制程可以弥补这一短板，实现弯道超车。

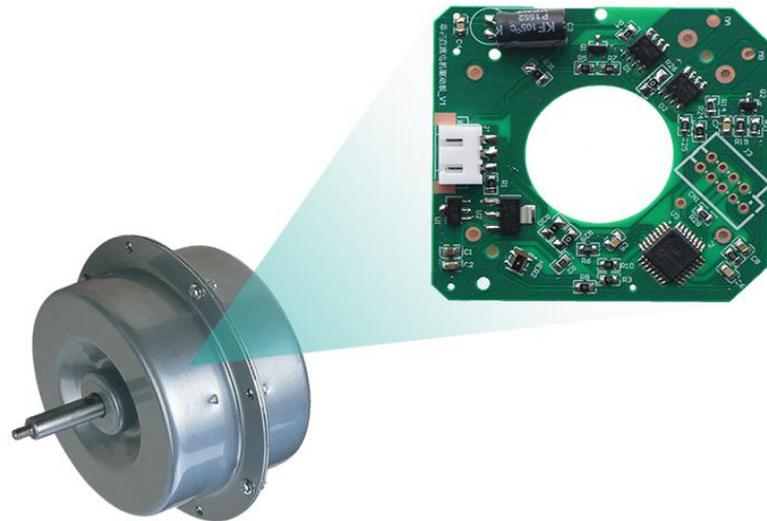


产品应用领域-无人机



型号	Type	BVDSS [V]	I _D [A]	R _{DS(on)} [mΩ]	封装
RU30L30M	PMOS+ESD	-30V	-30A	12mΩ	DFN3*3
RU3030M2	N-MOS	30V	30A	7mΩ	DFN3*3
RU3091M	N-MOS	30V	90A	3.4mΩ	DFN5*6
RU3090M	N-MOS	30V	98A	1.7mΩ	DFN5*6
RUH30150M	N-MOS	30V	150A	0.9mΩ	DFN5*6
RUH3051M	N-MOS	30V	50A	4.2mΩ	DFN5*6

产品应用领域- 风扇电机



型号	Type	BVDSS [V]	I _D [A]	R _{DS(on)} [mΩ]	封装
RU3030M2	N-MOS	30V	30A	7mΩ	DFN3*3
RU3020H	N-MOS	30V	20A	9mΩ	SO-8
RU30D20M2	N-MOS	30V	20A	9mΩ	DFN3*3
RU40D40M	N-MOS	40V	40A	6.5mΩ	DFN5*6
RUH3051M	N-MOS	30V	50A	4.2mΩ	DFN5*6
RU40C40L4	N+P MOS	40V	40+40A	P17mΩ+N13 mΩ	SOP8/DFN5*6/TO252-4

产品应用领域 - 扭扭车、平衡车、自行车

➤ 锐骏半导体拳头产品

型号	Type	BVDSS [V]	I _D [A]	R _{DS(ON)} [mΩ]	封装
RU6888R	NMOS	68V	88A	6mΩ	TO-220
RU7088R	NMOS	70V	80A	6.5mΩ	TO-220
RU7080R	NMOS	70V	80A	7mΩ	TO-220
RU7588R	NMOS	80V	80A	7mΩ	TO-220
RU75N08R	NMOS	75V	80A	8mΩ	TO-220
RUH1H88M	NMOS	100V	88A	8mΩ	TO-220
RUH1H150M	NMOS	100V	150A	4.5mΩ	TO-220



深圳市锐骏半导体股份有限公司

Shenzhen ruichips Semiconductor Co., Ltd.

联系电话: (86-0755) 8290-7976

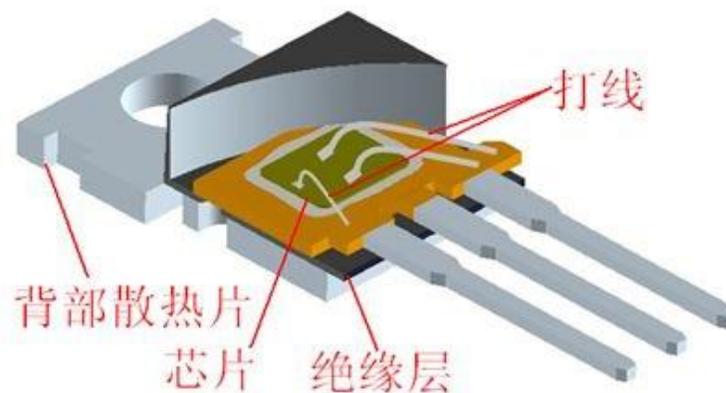
公司传真: (86-0755) 8311-4278

网 址: <http://www.ruichips.com>



TO220(R3)金属内绝缘封装

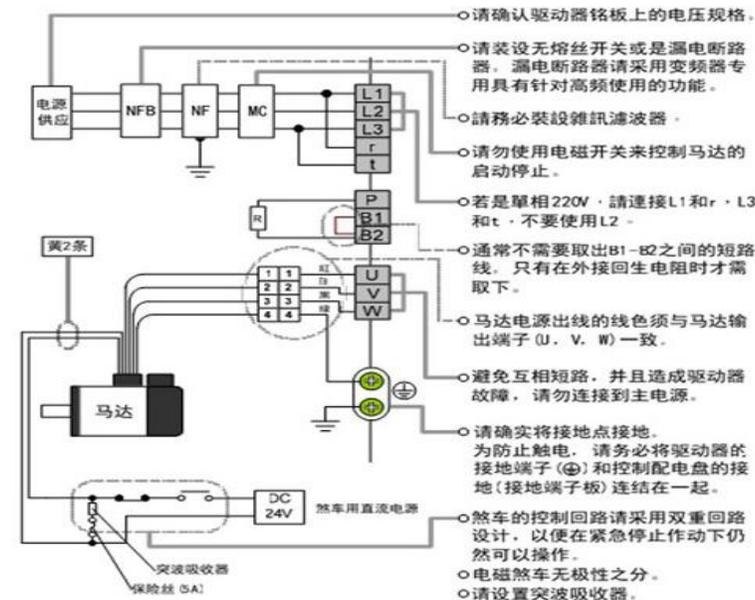
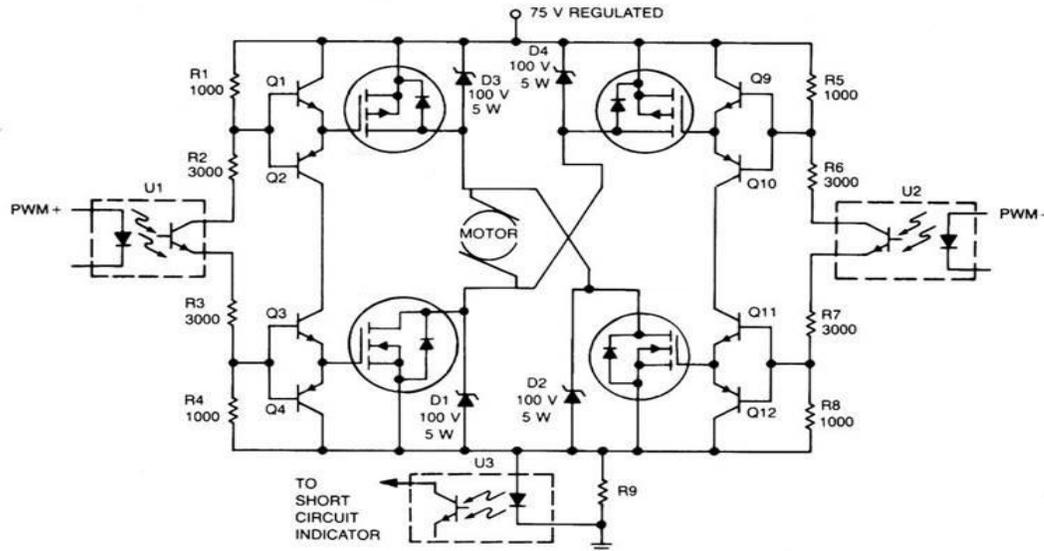
- 锐骏半导体后缀为-R3 的金属内绝缘封装技术，装配时不需要额外增加绝缘垫片，达到同等金属TO220封装导热效果。
- 绝缘强度 > 1000V DC。
- 独家专利产品。



锐骏内绝缘技术，散热更好，效率更高，装配简单



MOSFET在无刷伺服电机应用



- 请确认驱动器铭板上的电压规格。
- 请装设无熔丝开关或是漏电断路器。漏电断路器请采用变频器专用具有针对高频使用的功能。
- 请务必装设磁珠滤波器。
- 请勿使用电磁开关来控制马达的启动停止。
- 若是单相220V，请连接L1和r，L3和t，不要使用L2。
- 通常不需要取出B1-B2之间的短路线。只有在外接再生电阻时才需取下。
- 马达电源出线的线色须与马达输出端子(U, V, W)一致。
- 避免互相短路，并且造成驱动器故障，请勿连接到主电源。
- 请确实将接地点接地。为防止触电，请务必将驱动器的接地端子(⊕)和控制配电盘的接地(接地端子板)连结在一起。
- 煞车的控制回路请采用双重回路设计，以便在紧急停止动作下仍然可以操作。
- 电磁煞车无极性之分。
- 请设置突波吸收器。

型号	Type	BVDSS [V]	I _D [A]	R _{DS(ON)} [mΩ]	封装
RUH3051M	N-MOS	30V	50A	4.2mΩ	DFN5*6
RUH30100M	N-MOS	30V	95A	2.7mΩ	DFN5*6
RUH30120M	N-MOS	30V	120A	2mΩ	DFN5*6
RUH30150M	N-MOS	30V	150A	0.9mΩ	DFN5*6



锐骏在电动工具电机所用型号

型号	Type	BVDSS [V]	I _D [A]	R _{DS(on)} [mΩ]	封装	应用
RU6888R/R3	N-MOS	68V	88A	6 mΩ	TO220	48V电机
RU55110R	N-MOS	55V	110A	5 mΩ	TO220	
RU7088R/R3	N-MOS	70V	80A	6.5 mΩ	TO220	
RU7588R/R3	N-MOS	80V	80A	7 mΩ	TO220	60-64V电机
RU8590R	N-MOS	85V	90A	5.8 mΩ	TO220	
RU85120R/R3	N-MOS	80V	120A	5.5 mΩ	TO220	
RU75150R/R3	N-MOS	75V	148A	5.5 mΩ	TO220	
RU75210R/R3	N-MOS	75V	210A	3.5 mΩ	TO220	
RU75400Q	N-MOS	75V	400A	1.5 mΩ	TO247	
RU1H80R	N-MOS	100V	80A	9 mΩ	TO220	72V电机
RU1H140R/R3	N-MOS	100V	140A	7 mΩ	TO220	
RU1H160R	N-MOS	100V	160A	6 mΩ	TO220	
RU1H180R	N-MOS	100V	180A	4.5 mΩ	TO220	
RU1H190R	N-MOS	100V	190A	5 mΩ	TO220	
RU1H130R	N-MOS	100V	130A	10 mΩ	TO220	84V电机
RU1H140R	N-MOS	100V	140A	7 mΩ	TO220	
RU12150R	N-MOS	120V	150A	8.5 mΩ	TO220	96V电机
RU13150R	N-MOS	130V	150A	8 mΩ	TO220	
RU1Z120R/R3	N-MOS	150V	120A	11 mΩ	TO220	114-120V电机
RU1Z120R/R3	N-MOS	150V	120A	11 mΩ	TO220	
RU1Z200Q	N-MOS	150V	200A	5.5 mΩ	TO247	

谢 谢!

深圳市锐骏半导体股份有限公司

地址：深圳市南山区科技园高新中一道2号长园新材料信息港8栋4楼

电话：0755-82907976 传真：0755-83114278

E-mail: Sales-SZ@ruichips.com

网址: <http://www.ruichips.com>

邮编：518057