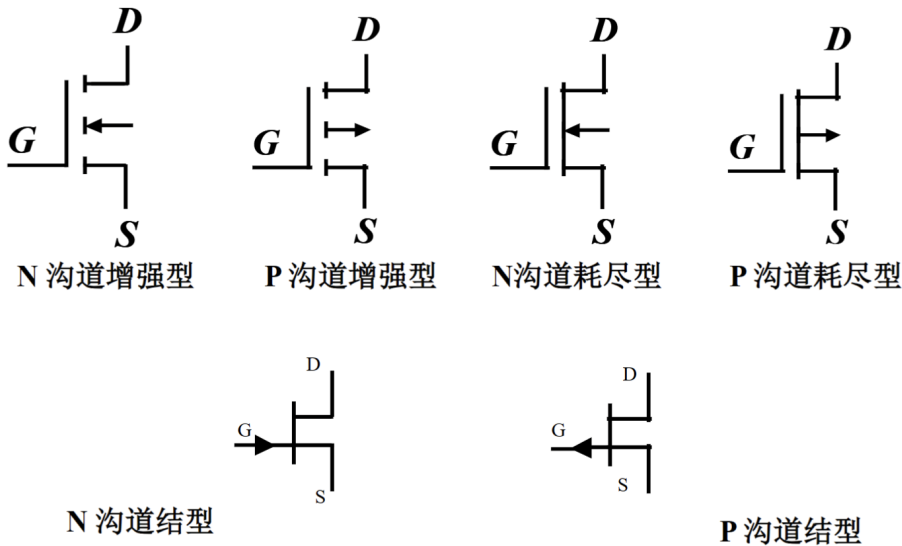


场效应管

场效应管工作仅取决于多子，是单极性器件

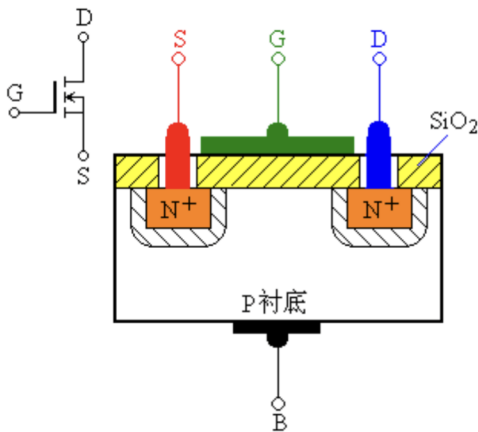
电路符号



栅极对应基极，源极对应发射极，漏极对应集电极，电路符号上，栅极偏向原极

箭头指向N型半导体，也表示电子流动方向

工作原理



以N沟道增强型为例。为了使 PN^+ 结反偏，衬底接在最低电位，源极接衬底。在 S 和 G 之间加上电压 V_{GS} ，随着 V_{GS} 增大，两个 N^+ 区和衬底的电子会吸向衬底表面，填充 P 区的空穴，在表面形成负离子，并与两个 PN^+ 结的阻挡层相连通，再增大 V_{GS} ，直到负离子区自由电子浓度大于空穴，使源极和漏极之间形成导电沟道（电子导电），称为反型层。此时外加正值 V_{DS} 时，源区的电子会通过导电沟道漂移到漏极区。

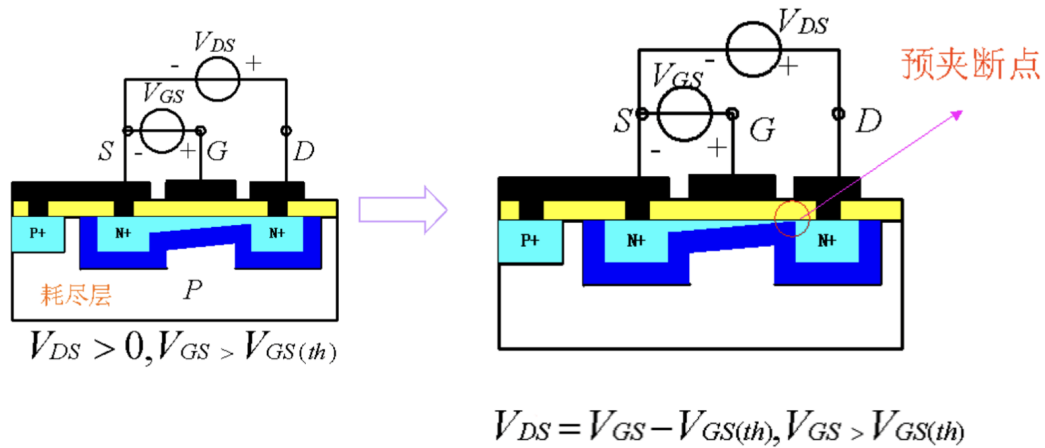
将开始形成反型层所需的电压 V_{GS} 称为开启电压，用 $V_{GS(th)}$ 表示。当 V_{GS} 小于 $V_{GS(th)}$ 时， i_D 并不会突变到0，而是与 $V(GS)$ 之间服从指数关系，这个区域称为弱反型层区。

在 V_{DS} 很小且不变时，当 V_{GS} 增大， V_{GS} 沟道加深，电阻减小（压控电阻）。场效应管输出曲线原点附近的曲线为线性的。

控制 V_{GS} 不变，沟道可以看成一个个电阻串联起来，所以栅极到漏极的压降

$$V_{GD} = V_{GS} - V_{DS}$$

增大 V_{DS} ， V_{GD} 减小。当 V_{GD} 减小到 $V_{GS(th)}$ ，在近漏端就会产生夹断，电阻增大。这种夹断与前面的全部夹断不同，前面的导电，但是这种夹断可以导电，称为预夹断。



再增加 V_{GD} ，多出来的电压都会加在夹端点上，沟道中的电流基本不变，这个电流称为饱和电流。

实际上当 V_{DS} 增大时，夹断点会向源极移动，源极一侧沟道加深，电阻减小，电流增大。称为沟道长度调制效应。

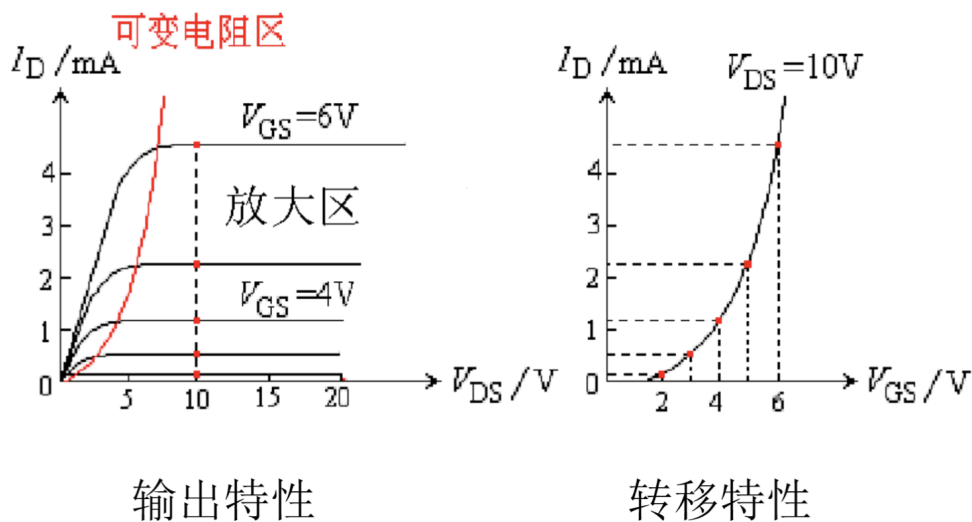
EMOS场效应管的特性

场效应管也有三种连接方式：共源、共栅、共漏，分别对应三极管的共发、共基、共集。 MOS 管的伏安特性也可以用输入曲线和输出曲线来表示，但是 MOS 管的输入电流是栅极电容板的充放电电流，静态时基近似为0，因此再共源连接时不考虑输入特性，而研究输出特性和转移特性。

输出特性

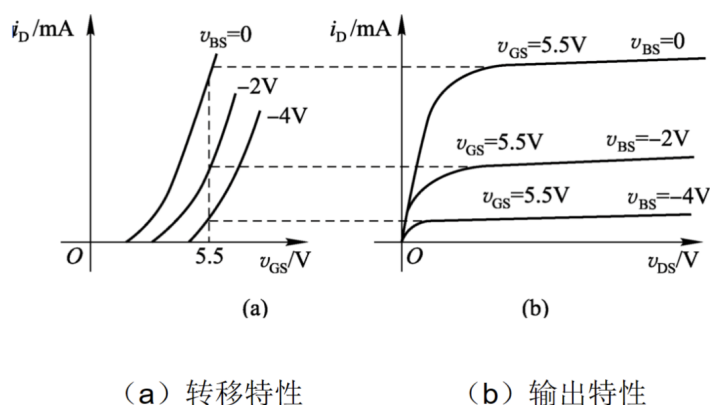
输出特性曲线分为四个区非饱和区、饱和区、截止区和击穿区。

$V_{GS} < V_{GS(th)}$ 并且 $V_{DS} < V_{GS} - V_{GS(th)}$ 时处在非饱和区， $V_{GS} < V_{GS(th)}$ 并且 $V_{DS} < V_{GS} - V_{GS(th)}$ 时，产生预夹断，进入饱和区。 $V_{GS} < V_{GS(th)}$ 时，导电沟道未形成， $i_D = 0$ ，截止区。当 V_{DS} 过大时，预夹断点移动到源区，直接将电子拉到漏区，或者是因为 V_{GS} 过大，引发 SiO_2 绝缘层击穿，击穿区。



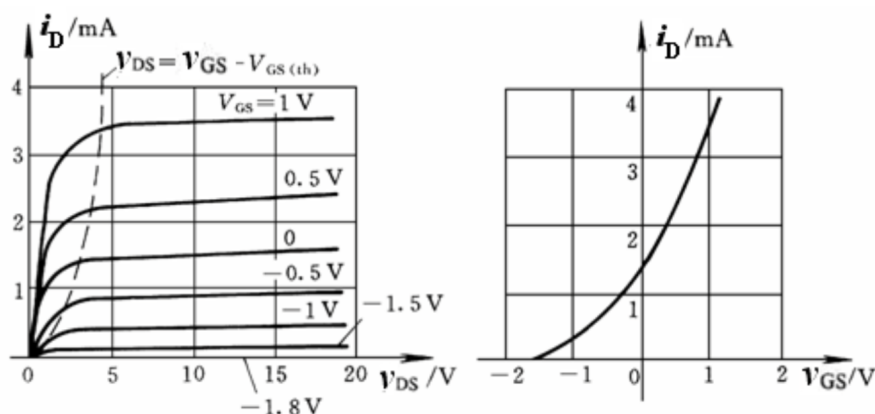
衬底效应

当源极没有与栅极相连时，会产生负值电压 V_{BS} ，相当于在 PN^+ 结上加上反偏电压，阻挡层宽度增加，使得 $V_{GS(th)}$ 增大，当 V_{GS} 不变时， V_{BS} 增大， i_D 减小。所以 V_{BS} 对 i_D 也有控制作用，但是比 V_{GS} 的作用小的多，又称衬底为背栅极。



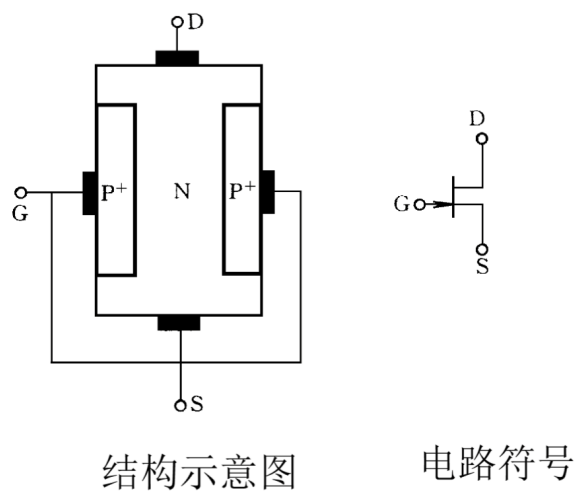
DMOS

在制作时就有沟道，电路符号与 $EMOS$ 不同的是，虚线用实线代替。增大 V_{GS} 时，沟道加深， V_{GS} 减小，沟道变浅， $V_{GS} < V_{GS(th)}$ 时，沟道消失，此时 V_{GS} 为负值。



结型管

结构

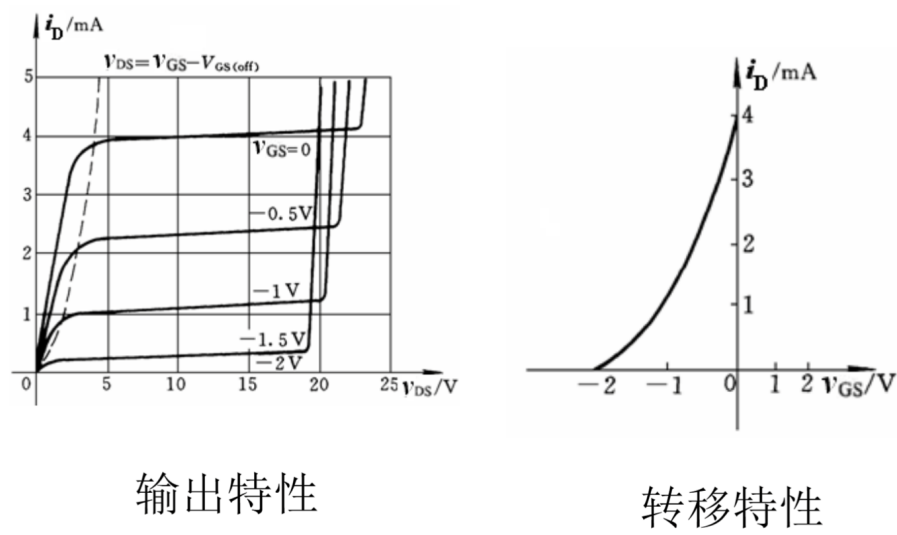


两个 P^+ 区连在一起作为栅极。 PN 结需要反偏，反偏电压增加，阻挡层宽度增加，增加到一定大小时，两边空间电荷区靠在一起，沟道夹断，这个电压称为 $V_{GS(off)}$ 。

如果给管子加上 V_{DS} ，和 $EMOS$ 类似， $V_{GD} = V_{GS} - V_{DS}$ ， V_{GS} 本身就是负的，当 V_{DS} 增加时， V_{GD} 增加，阻挡层宽度增加，靠近 D 处的阻挡层变窄，当 $V_{GD} = V_{GS(off)}$ ，近漏端夹断。结型场效应管同样也有沟道长度调制效应。

特性

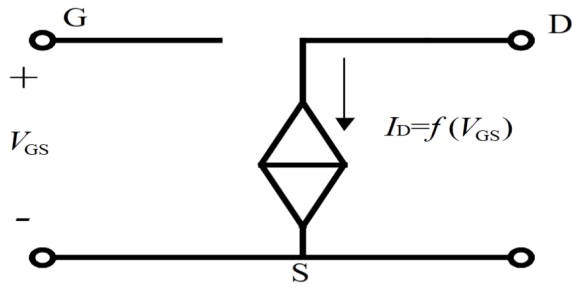
虚线左边是非饱和区，虚线右边是饱和区，又叫放大区， $i_D = 0$ 对应 $V_{GS(off)}$ ，当 V_{DS} 达到某一值时，管子会击穿， V_{GS} 绝对值约大，击穿所需 V_{DS} 的值越小。



如果输出特性坐标 V_{GS} 是负的，那就是 P 沟道管。

等效电路

大信号等效电路



$$I_D = \frac{\mu_n C_{ox} W}{2l} (V_{GS} - V_{GS(th)})^2$$

$$I_g = 0$$

若考虑沟道长度调制效应（做题一般不考虑），上式修正为

$$I_D = \frac{\mu_n C_{ox} W}{2l} (V_{GS} - V_{GS(th)})^2 (1 - \frac{V_{DS}}{V_A}) = \frac{\mu_n C_{ox} W}{2l} (V_{GS} - V_{GS(th)})^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

其中 $\lambda = -\frac{1}{V_A}$ ，称为沟道长度调制系数， V_A 由工艺决定。

小信号等效电路

$$i_d = g_m v_{gs} + \frac{v_{ds}}{r_{ds}}$$

$$g_m = 2 \frac{\mu_n G_{ox} W}{2l} (V_{GS} - V_{GS(th)}) = 2 \sqrt{\frac{\mu_n G_{ox} W}{2l} I_{DQ}}$$

其中 $V_{GS} = V_{GSAQ}$

四种场效应管比较

类型	电路符号	转移特性
<i>NEMOS</i>	箭头向内，中间虚线	$V_{GS} > 0$ ，曲线上升
<i>NDMOS</i>	箭头向内，中间实线	V_{GS} 可以小于0，曲线上升
<i>PEMOS</i>	箭头向外，中间虚线	V_{GS} 小于0，曲线下降
<i>PDMOS</i>	箭头向外，中间实线	V_{GS} 可以大于0，曲线下降

如果 v_{GS} 与 V_{DS} 异号，则是JEFT

判断工作区域

区域	条件
临界饱和和工作条件	V_{GS} 使沟道开启, $ V_{DS} = V_{GS} - V_{GS(th)} $
饱和区（放大区）条件	V_{GS} 使沟道开启, $ V_{DS} > V_{GS} - V_{GS(th)} $
非饱和区（可变电阻区）	V_{GS} 使沟道开启, $ V_{DS} < V_{GS} - V_{GS(th)} $

不管是*N*型还是*P*型，增强型还是耗尽型，上式都成立