

场效应管

场效应晶体管是利用电场效应来控制电流的一种半导体器件，即是电压控制元件。它的输出电流决定于输入电压的大小，基本上不需要信号源提供电流，所以它的输入电阻高，且温度稳定性好。

按结构不同场效应管有两种：

结型场效应管(Junction type Field Effect Transistor)绝缘栅型场效应管(Insulated Gate Field Effect Transistor)绝缘栅型场效应管也称金属-氧化物-半导体三极管 MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET)。

绝缘栅型场效应管按工作状态可分为增强型和耗尽型两类，每类又有 N 沟道和 P 沟道之分。

1. 绝缘栅场效晶体管

绝缘栅场效应分为：增强型 N 沟道、P 沟道
耗尽型 N 沟道、P 沟道

(1) 增强型绝缘栅场效晶体管

(1) 结构

图 1 所示是 N 沟道增强型绝缘栅场效晶体管的结构示意图。

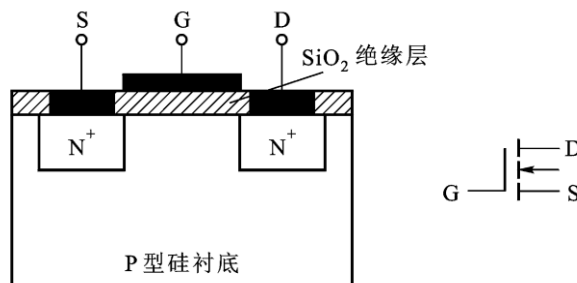


图 1 沟道增强型绝缘栅场效晶体的结构示意图和符号

N 沟道增强型绝缘栅场效晶体是在 P 型半导体(衬底)上生成一层 SiO_2 薄膜绝缘层，然后用光刻工艺扩散两个高掺杂的 N 型区，从 N 型区引出电极，一个是漏极 D(相当晶体三极管的集电极)，一个是源极 S(相当于晶体三极管的发射极)。在源极和漏极之间的绝缘层上镀一层金属铝作为栅极 G(相当于晶体三极管的基极)。

栅极和其它电极及硅片之间是绝缘的，称绝缘栅型场效应管。

由于金属栅极和半导体之间的绝缘层目前常用二氧化硅，故又称金属-氧化物-半导体场效应管，简称 MOS 场效应管。(2) 工作原理

由结构图可见，N+型漏区和 N+型源区之间被 P 型衬底隔开，漏极和源极之间是两个背靠背的 PN 结。当栅源电压 $U_{GS} = 0$ 时，不管漏极和源极之间所加电

压的极性如何，其中总有一个 PN 结是反向偏置的，反向电阻很高，漏极电流近似为零。

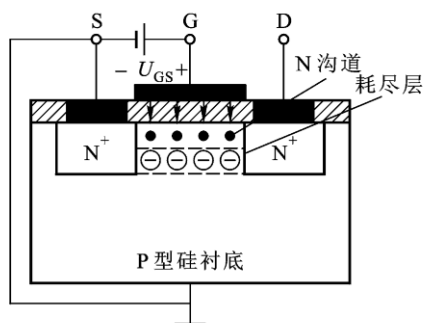


图 2

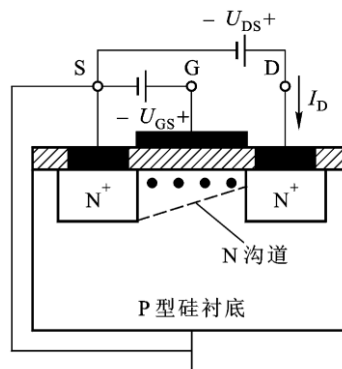


图 3

当 $U_{GS} > 0$ 时，P 型衬底中的电子受到电场力的吸引到达表层，填补空穴形成负离子的耗尽层；当 $U_{GS} > U_{GS(th)}$ 时，还在表面形成一个 N 型层，称反型层，即沟通源区和漏区的 N 型导电沟道，将 D-S 连接起来。 U_{GS} 愈高，导电沟道愈宽，如图 2 所示。

当 $U_{GS} > U_{GS(th)}$ 后，场效应管才形成导电沟道，开始导通，若漏-源之间加上一定的电压 U_{DS} ，则有漏极电流 I_D 产生，如图 4 所示。

在一定的 U_{DS} 下漏极电流 I_D 的大小与栅源电压 U_{GS} 有关。所以，场效应管是一种电压控制电流的器件。

在一定的漏-源电压 U_{DS} 下，使管子由不导通变为导通的临界栅源电压称为开启电压 $U_{GS(th)}$ 。

P 沟道 MOSFET 的工作原理与 N 沟道 MOSFET 完全相同，只不过导电的载流子不同，供电电压极性不同而已。这如同双极型三极管有 NPN 型和 PNP 型一样。

(3) 特性曲线

图 4 是 N 沟道增强型绝缘栅场效晶体的转移特性曲线和输出特性曲线。

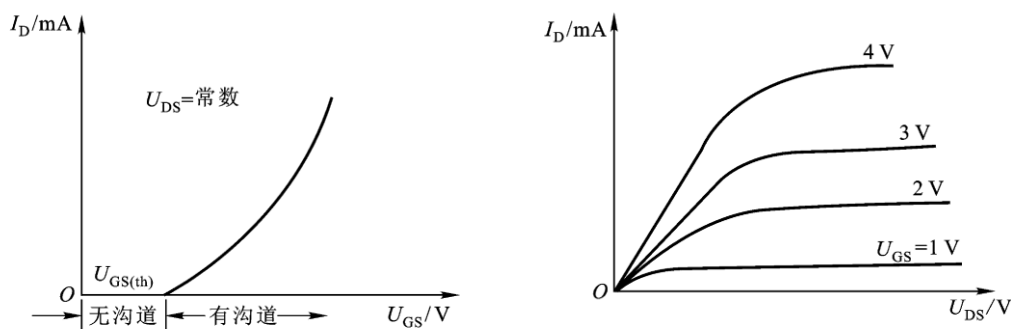


图 4 N 沟道增强型绝缘栅场效晶体的转移特性曲线和输出特性曲线

(a) 转移特性曲线

(b) 输出特性曲线

N 沟道增强型绝缘栅场效晶体不具有原始导电沟道，只有当 $U_{GS} > U_{GS(th)}$ 时，才

有漏极电流 I_D ，在一定漏-源 U_{DS} 作用下，使场效应管又不导通变为导通的临界栅-源电压称为开启电压 $U_{GS(st)}$ ，如图 1(a)所示。转移特性反映着 U_{GS} 对 I_D 的控制特性。

图 5 是 P 沟道增强型绝缘栅场效应晶体管的结构示意图，它的工作原理与 N 沟道增强型绝缘栅场效应晶体管的的工作原理相似，只是要调换电源的极性，电流的方向也相反吗。

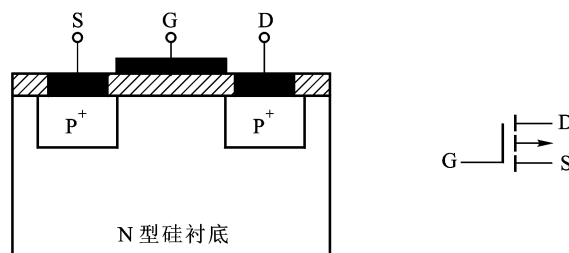


图 5 P 沟道增强型绝缘栅场效应晶体管的结构及其符号

2. 耗尽型绝缘栅场效应晶体管

如果如果场效晶体管在制造时导电沟道就已形成，称为耗尽型场效晶体管。

(1) 结构

图 6 所示是 N 沟道耗尽型绝缘栅场效应晶体管的结构示意图。

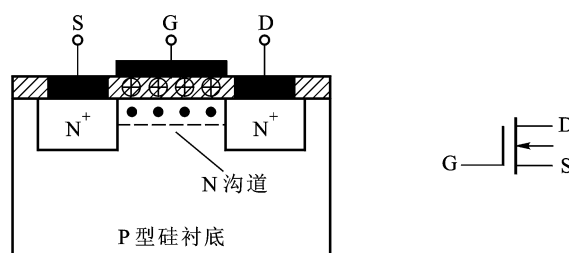


图 6 N 沟道耗尽型绝缘栅场效应晶体管的结构及其符号

(2) 工作原理

由于耗尽型场效晶体管预埋了导电沟道，所以在 $U_{GS} = 0$ 时，若漏-源极之间加上一定的电压 U_{DS} ，也会有漏极电流 I_D 产生。这时的漏极电流用 I_{DSS} 表示，称为饱和漏极电流。

当 $U_{GS} > 0$ 时，使导电沟道变宽， I_D 增大；当 $U_{GS} < 0$ 时，使导电沟道变窄， I_D 减小； U_{GS} 负值愈高，沟道愈窄， I_D 就愈小。

当 U_{GS} 达到一定负值时，N 型导电沟道消失， $I_D = 0$ ，称为场效晶体管处于夹断状态(即截止)。这时的 U_{GS} 称为夹断电压，用 $U_{GS(off)}$ 表示。

(3) 特性曲线

耗尽型场效管由于具有原始导电沟道，因此 $U_{GS} = 0$ 时有导电沟道，加反向电压到一定值时才能夹断。N 沟道耗尽型场效管的转移特性曲线和输出特性曲线

如图 7 所示。

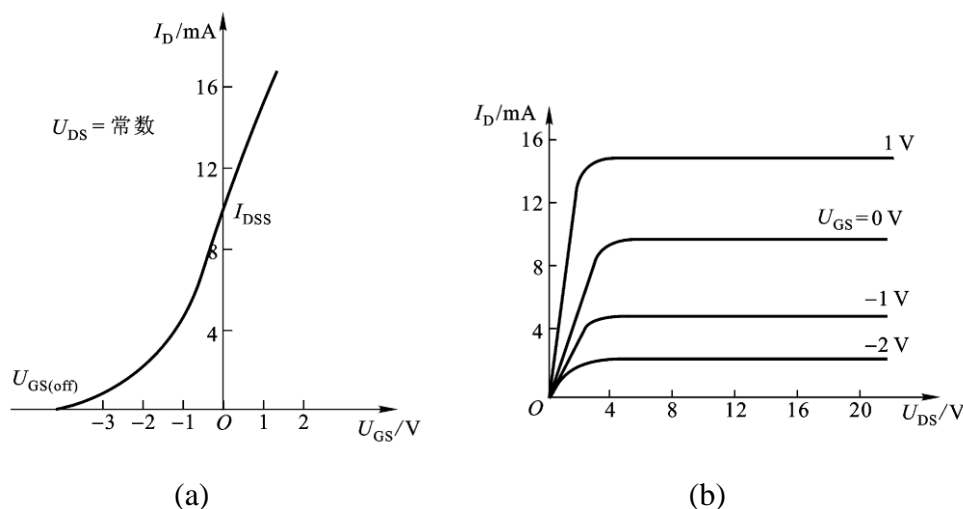


图 7 N 沟道耗尽型场效管的转移特性曲线和输出特性曲线

(a) 转移特性曲线

(b) 输出特性曲线

当 U_{GS} 减小到某一数值, N 型沟道消失, $I_D \approx 0$, 耗尽型场效管处于夹断状态(即截止), 此时的栅—源电压称夹断电压 $U_{GS(off)}$, 如图 2(a)所示。可见, 耗尽型场效管无论栅—源电压 U_{GS} 是正是负还是零, 都能控制漏极电流 I_D 。这个特性使其应用具有更大的灵活性。

与增强型场效管一样, 耗尽型也有 N 沟道和 P 沟道之分。无论哪种类型的场效应管, 使用时必须注意所加电压的极性。

增强型和耗尽型场效应管的主要区别在于是否有原始导电沟道。

3. 场效应管的主要参数

(1) 主要参数

① 开启电压 $V_{GS(th)}$ (或 V_T)

开启电压是 MOS 增强型管的参数, 栅源电压小于开启电压的绝对值, 场效应管不能导通。

② 夹断电压 $V_{GS(off)}$ (或 V_P)

夹断电压是耗尽型场效应管的参数, 当 $V_{GS}=V_{GS(off)}$ 时, 漏极电流为零。

③ 饱和漏极电流 I_{DSS}

耗尽型场效应三极管, 当 $V_{GS}=0$ 时所对应的漏极电流。

④ 输入电阻 r_{GS}

场效应三极管的栅源输入电阻的典型值, 对于结型场效应三极管, 反偏时 r_{GS} 约大于 $10^7 \Omega$, 对于绝缘栅场效应三极管, r_{GS} 约是 $10^9 \sim 10^{15} \Omega$ 。

⑤ 低频跨导 g_m

低频跨导反映了栅压对漏极电流的控制作用, 这一点与电子管的控制作用十

分相像。 g_m 可以在转移特性曲线上求取，单位是 mS (毫西门子)。

⑥ 最大漏极功耗 P_{DM}

最大漏极功耗可由 $P_{DM} = V_{DS} I_D$ 决定，与双极型三极管的 P_{CM} 相当。

(2) 双极型和场效应型三极管的比较

	双极型三极管	场效应三极管
结构	NPN 型 PNP 型	结型耗尽型 N 沟道 P 沟道 绝缘栅增强型 N 沟道 P 沟道 绝缘栅耗尽型 N 沟道 P 沟道
	C、E 一般不可倒置使用	D、S 一般可倒置使用
载流子	多子扩散、少子漂移	多子漂移
输入量	电流输入	电压输入
控制	电流控制电流源 $CCCS(\beta)$	电压控制电流源 $VCCS(g_m)$
噪声	较大	较小
温度特性	受温度影响较大	较小，并有零温度系数点
输入电阻	几十到几千欧姆	几兆欧姆以上
静电影响	不受静电影响	易受静电影响
集成工艺	不易大规模集成	适宜大规模和超大规模集成