

# 第11章 场效应管及其放大器

## 本章内容

11.1 N沟道结型场效应管

11.2 绝缘栅型场效应管

11.3 场效应管放大器的直流指标

11.4 场效应管放大器三种用法的交流指标

11.5 CMOS共源极放大器

场效应管：一种载流子参与导电，利用输入回路的电场效应来控制输出回路电流的三极管，又称单极型三极管。

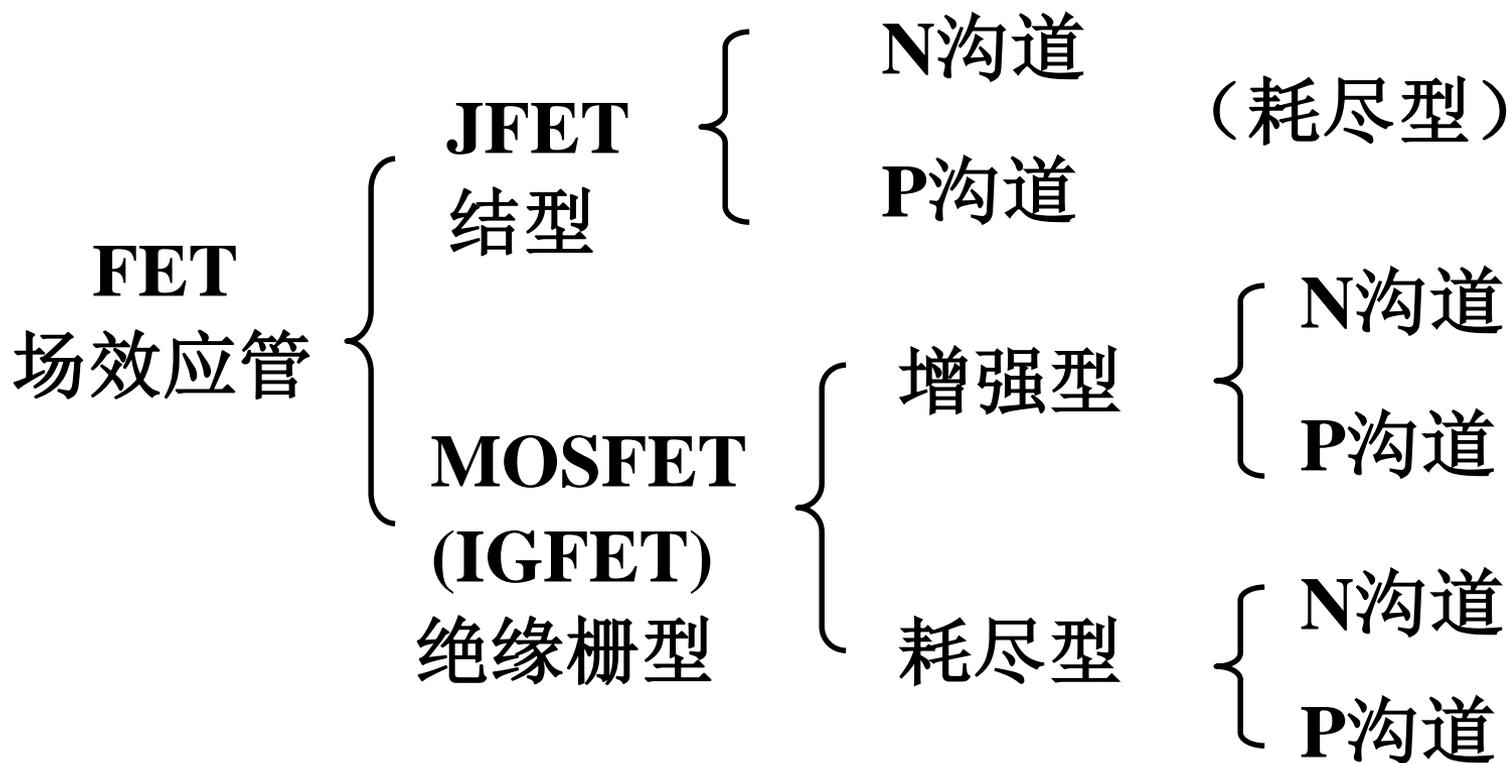
特点

单极型器件(一种载流子导电)；  
电压控制型器件；  
输入电阻高；  
重量轻、体积小、寿命长等优点。

场效应管分类

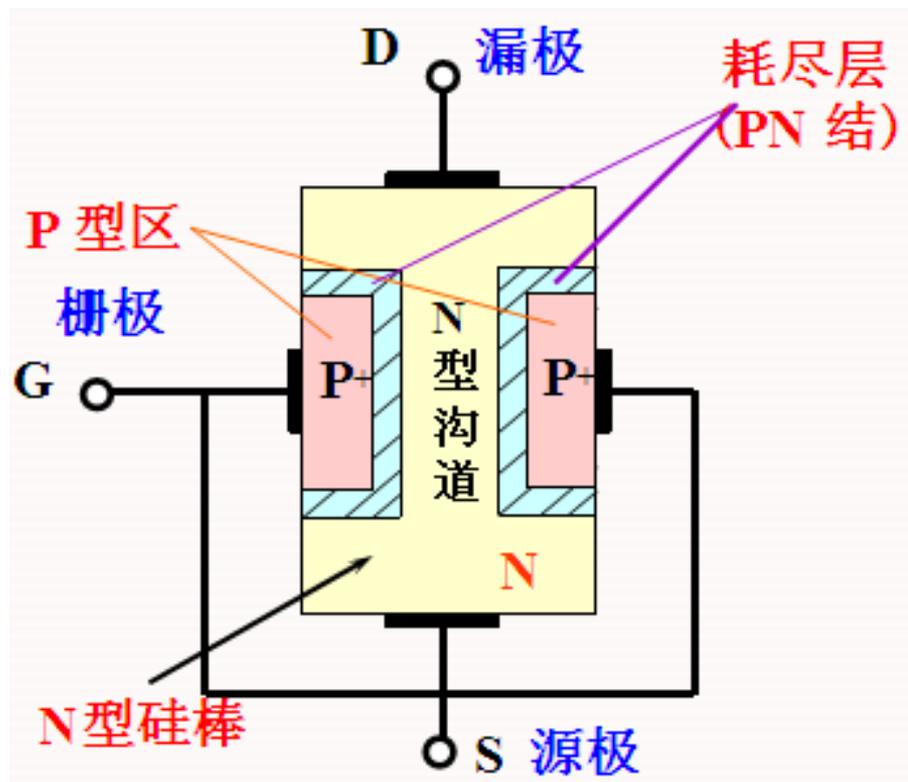
结型场效应管  
绝缘栅场效应管

# 场效应管分类:

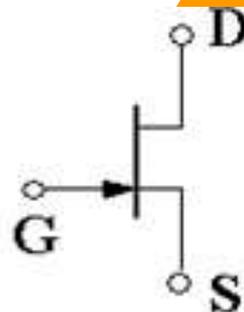


# 11.1 N沟道结型场效应管

## N沟道结构



符号



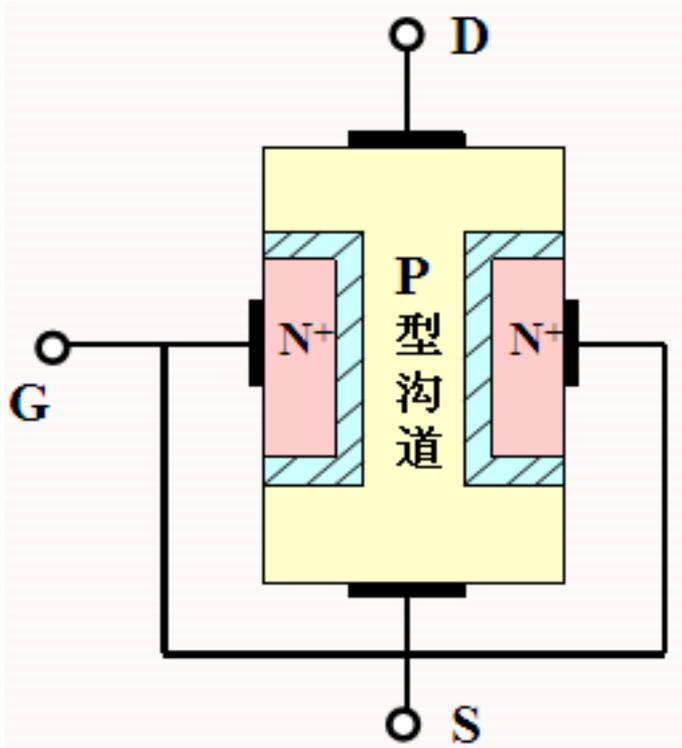
在漏极和源极之间加上一个正向电压，N型半导体中多数载流子电子可以导电。

导电沟道是N型的，称N沟道结型场效应管。

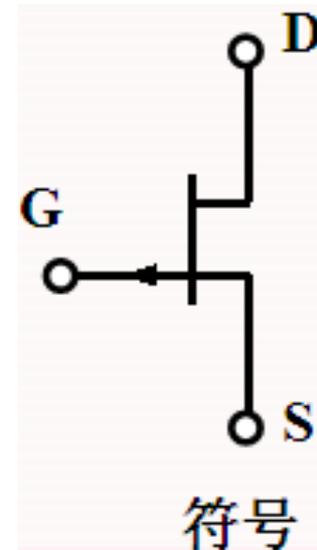
N沟道结型场效应管结构图

## P 沟道场效应管

P 沟道场效应管是在 P 型硅棒的两侧做成高掺杂的 N 型区 ( $N^+$ )，导电沟道为 P 型，多数载流子为空穴。



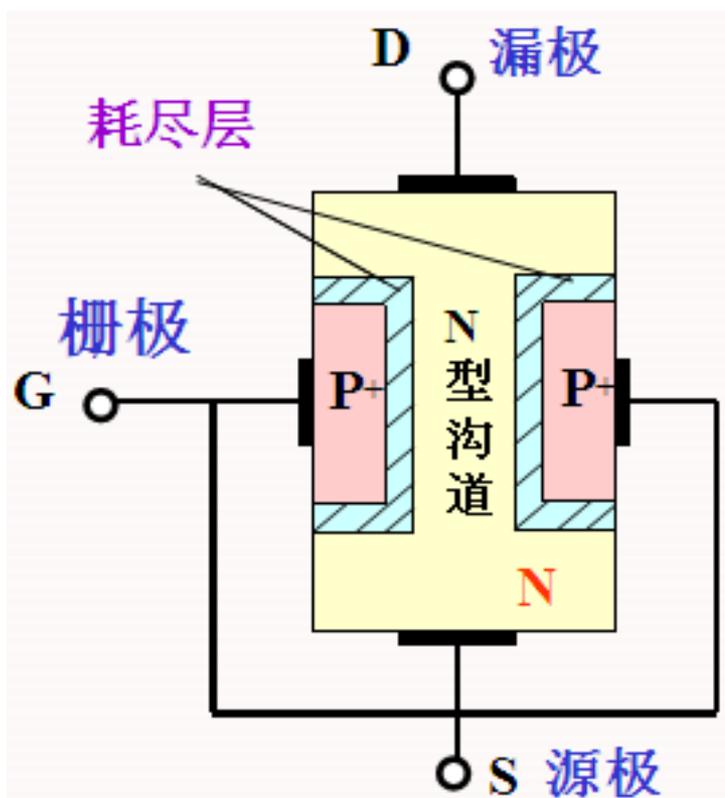
P 沟道结型场效应管结构图



符号

## 一、结型场效应管工作原理

N 沟道结型场效应管用改变  $U_{GS}$  大小来控制漏极电流  $I_D$  的。(VCCS)



\*在栅极和源极之间加反向电压，耗尽层会变宽，导电沟道宽度减小，使沟道本身的电阻值增大，漏极电流  $I_D$  减小，反之，漏极  $I_D$  电流将增加。

\*耗尽层的宽度改变主要在沟道区。

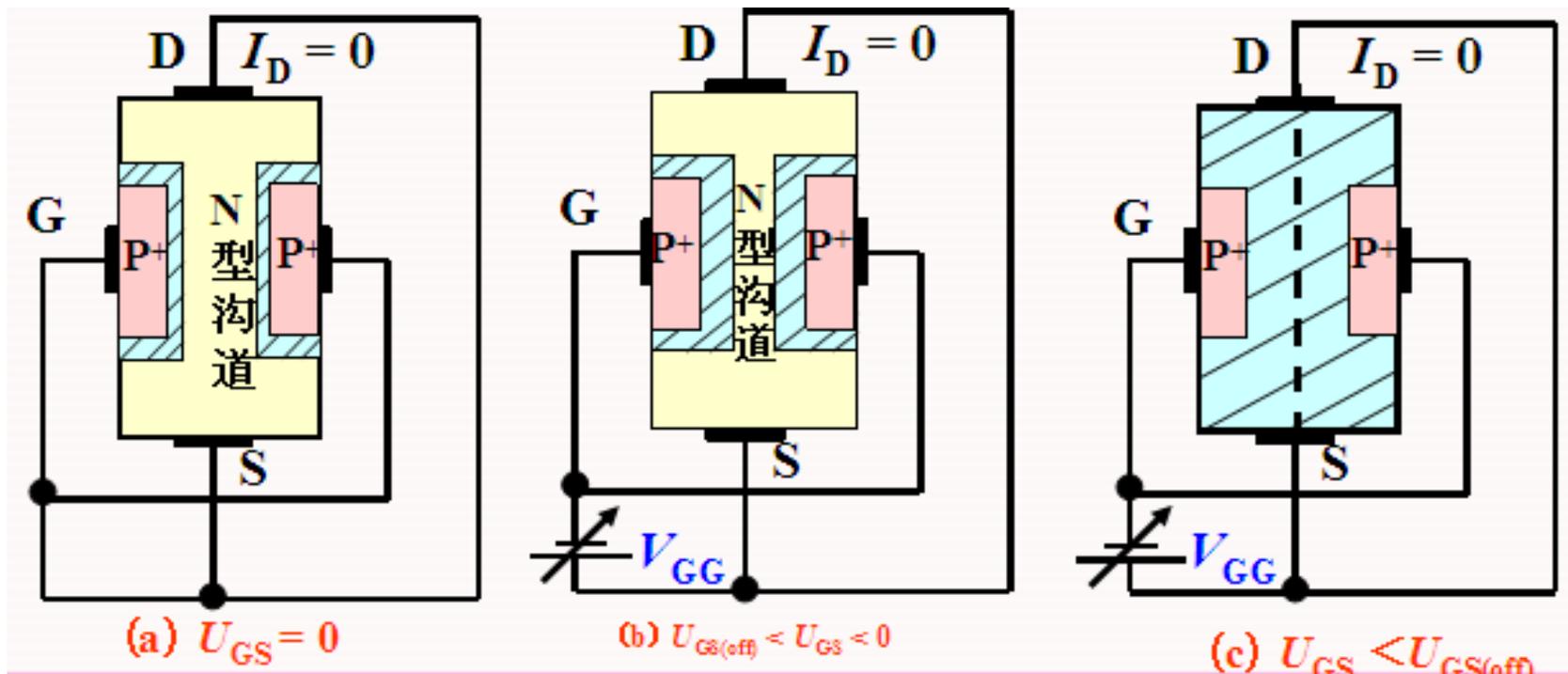
# 1. 当 $U_{DS} = 0$ 时, $u_{GS}$ 对导电沟道的控制作用

$U_{GS(off)}$  为夹断电压, 为负值。  $U_{GS(off)}$  也可用  $U_P$  表示

$U_{GS} = 0$  时, 耗尽层比较窄, 导电沟比较宽

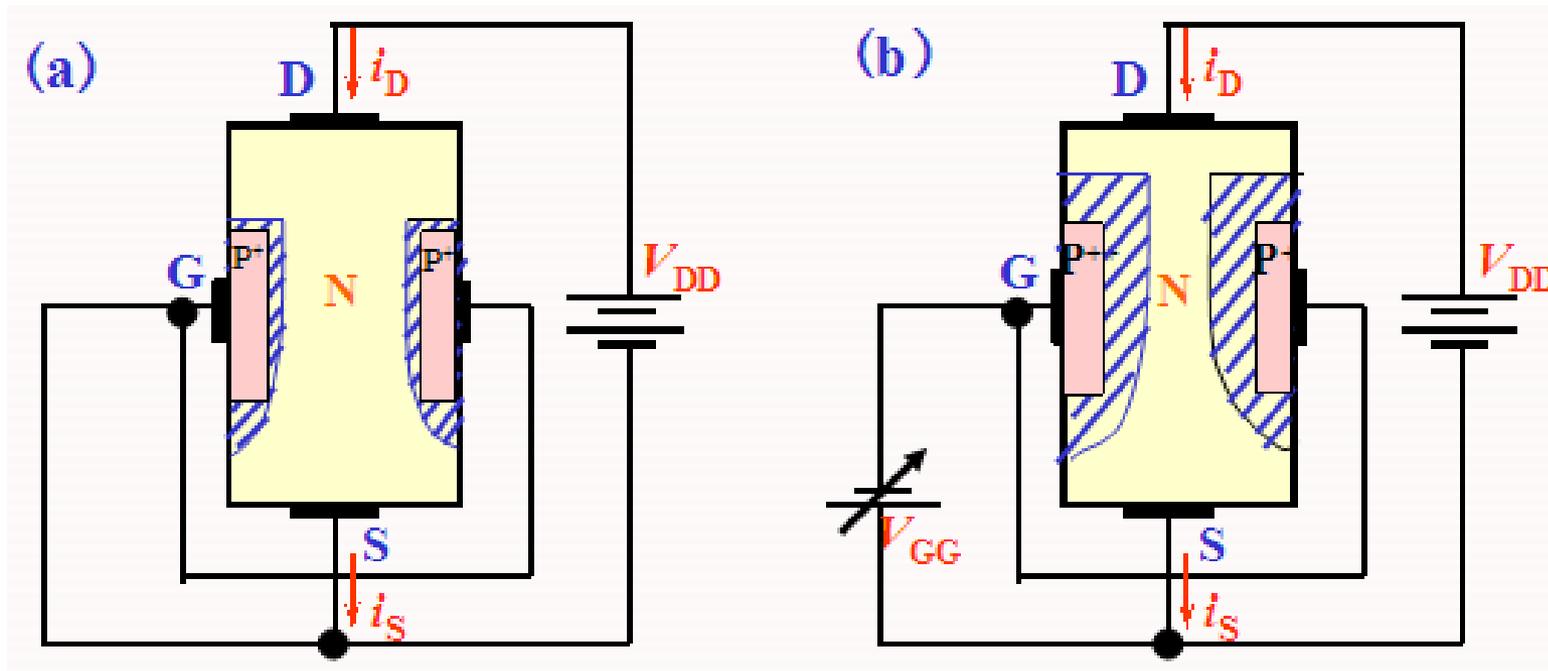
$U_{GS}$  由零逐渐减小, 耗尽层逐渐加宽, 导电沟相应变窄。

当  $U_{GS} = U_{GS(off)}$ , 耗尽层合拢, 导电沟被夹断。



2. 当 $u_{GS}$  为 $U_{GS(Off)} \sim 0$ 中一固定值时,  $u_{DS}$  对漏极电流 $i_D$ 的影响。

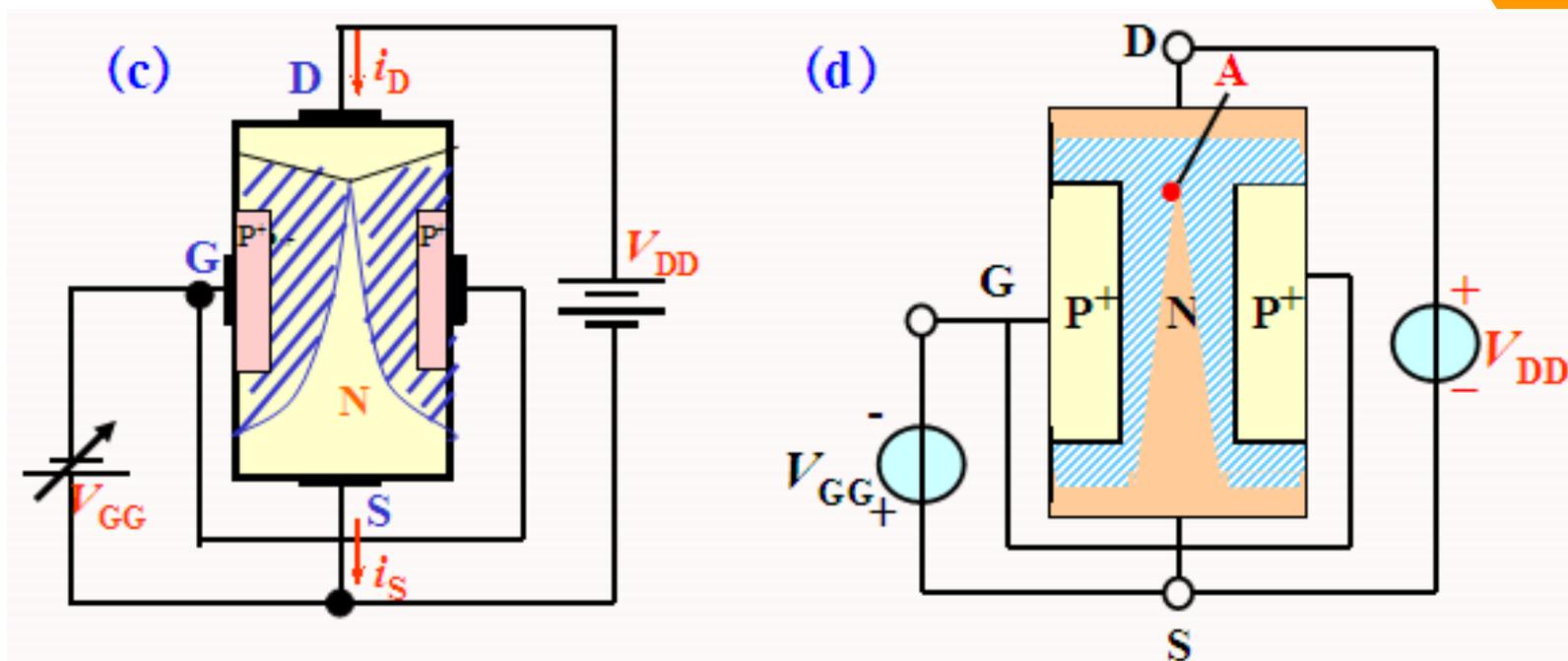
$$u_{GD} = u_{GS} - u_{DS}$$



$u_{GS} = 0$ ,  $u_{GD} > U_{GS(Off)}$ ,  $i_D$  较大。

$u_{GS} < 0$ ,  $u_{GD} > U_{GS(Off)}$ ,  $i_D$  更小。

注意：当 $u_{DS} > 0$ 时, 耗尽层呈现楔形。



$u_{GS} < 0, u_{GD} = U_{GS(off)}$ , 沟道变窄预夹断  $u_{GS} < 0, u_{GD} < u_{GS(off)}$ , 夹断,  $i_D$  几乎不变

- (1) 改变  $u_{GS}$ , 改变了 PN 结中电场, 控制了  $i_D$ , 故称场效应管;
- (2) 结型场效应管栅源之间加反向偏置电压, 使 PN 反偏, 栅极基本不取电流, 因此, 场效应管输入电阻很高。

3.当 $u_{GD} < u_{GS(off)}$ 时, ,  $u_{GS}$  对漏极电流 $i_D$ 的控制作用

$u_{GD} = u_{GS} - u_{DS} < u_{GS(off)}$ , 即: 出现了预夹断之后  
 $u_{DS}$ 为一常量时, 对应于确定的 $u_{GS}$ , 就有确定的 $i_D$ 。

场效应管为电压控制元件(VCCS)。

场效应管用低频跨导 $g_m$ 的大小描述栅源电压对漏极电流的控制作用。

$$g_m = \Delta i_D / \Delta u_{GS} \quad (\text{单位mS})$$

## 小结

- (1) 在  $u_{GD} = u_{GS} - u_{DS} > u_{GS(off)}$  情况下, 即当  $u_{DS} < u_{GS} - u_{GS(off)}$  对应于不同的  $u_{GS}$ , d-s 间等效成不同阻值的电阻。
- (2) 当  $u_{DS}$  使  $u_{GD} = u_{GS(off)}$  时, d-s 之间预夹断
- (3) 当  $u_{DS}$  使  $u_{GD} < u_{GS(off)}$  时,  $i_D$  几乎仅仅决定于  $u_{GS}$ , 而与  $u_{DS}$  无关。此时, 可以把  $i_D$  近似看成  $u_{GS}$  控制的电流源。

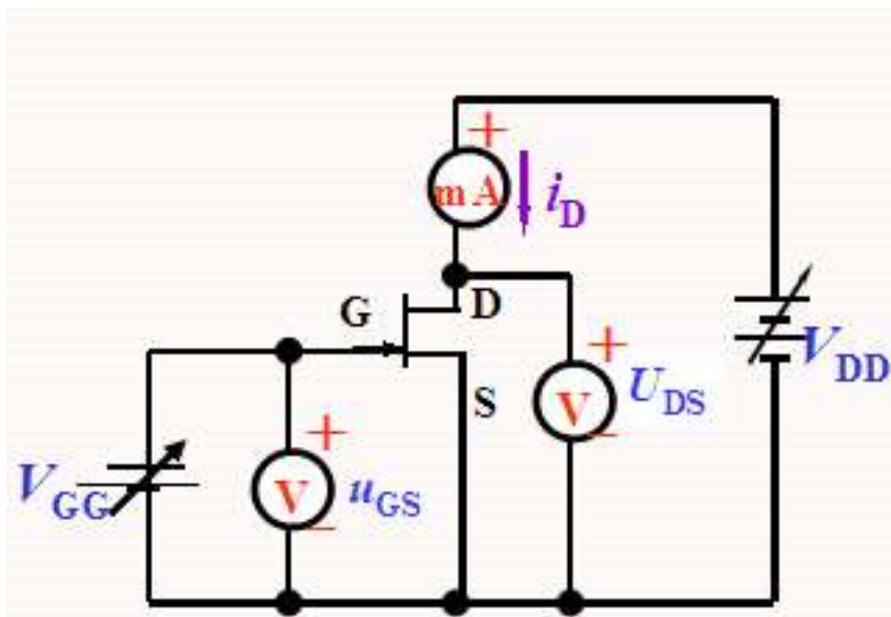
## 二、结型场效应管的特性曲线

### 1. 输出特性曲线

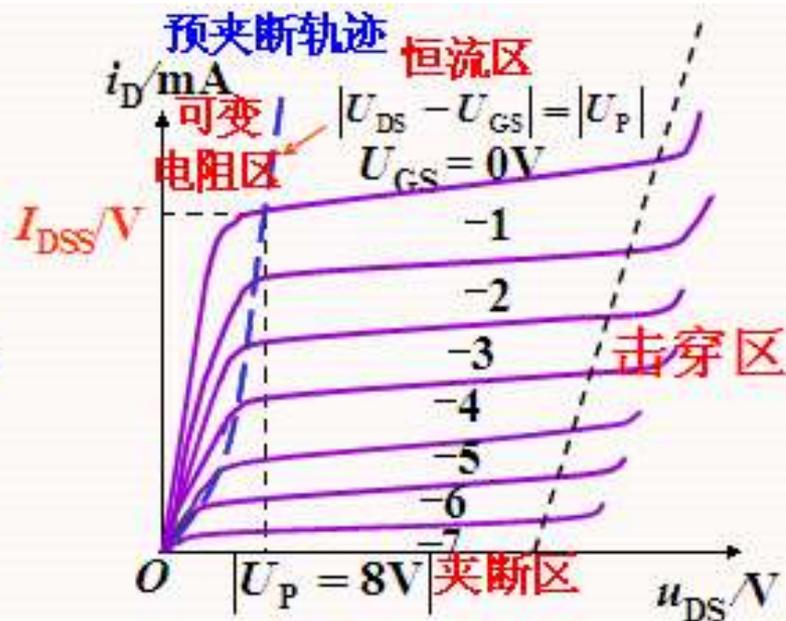
当栅源之间的电压  $U_{GS}$  不变时，漏极电流  $i_D$  与漏源之间电压  $u_{DS}$  的关系，即

$$i_D = f(u_{DS}) \Big|_{U_{GS} = \text{常数}}$$

# 输出特性（漏极特性）曲线



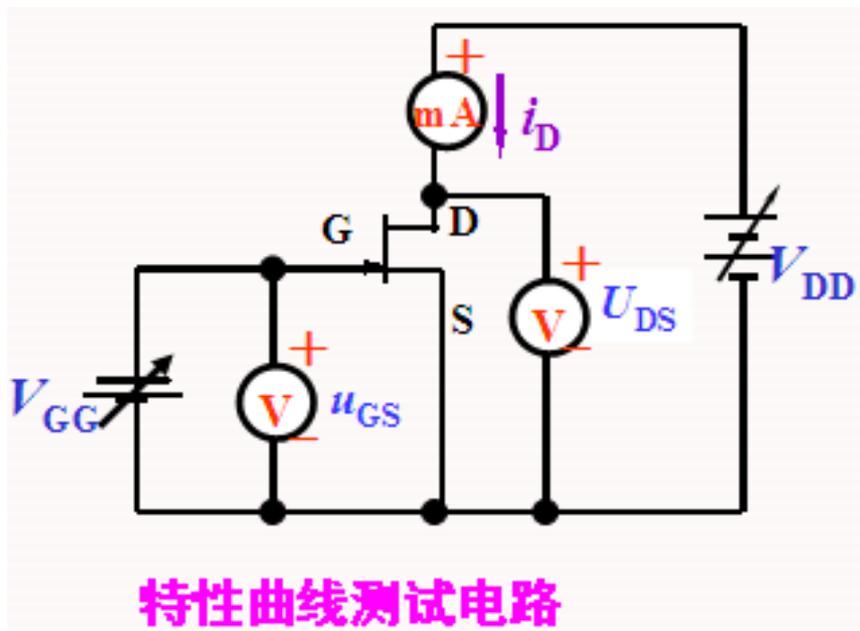
特性曲线测试电路



漏极特性

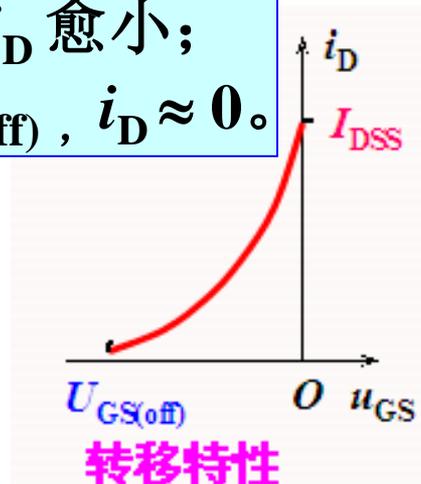
漏极特性也有三个区：可变电阻区、恒流区和夹断区。

## 2. 转移特性 (N 沟道结型场效应管为例)



$$i_D = f(u_{GS}) \Big|_{U_{DS} = \text{常数}}$$

$u_{GS} = 0$  ,  $i_D$  最大;  
 $u_{GS}$  愈负,  $i_D$  愈小;  
 $u_{GS} = U_{GS(\text{off})}$  ,  $i_D \approx 0$ 。



两个重要参数 {

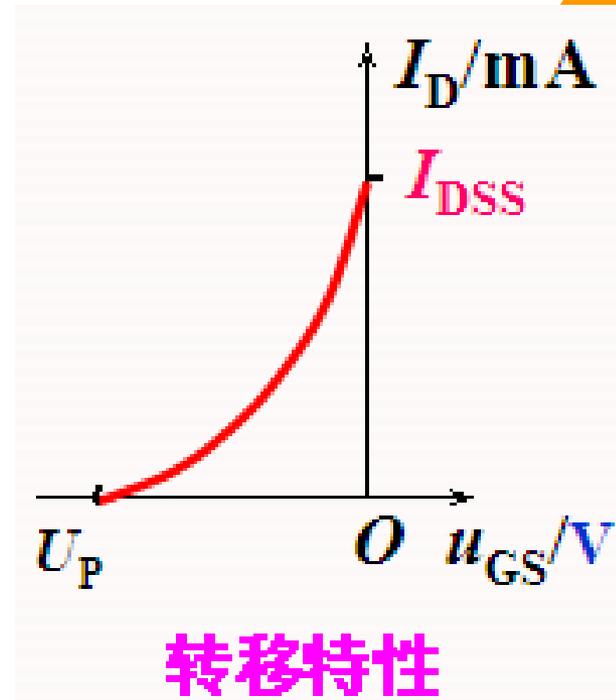
- 夹断电压  $U_{GS(\text{off})}$  ( $I_D = 0$  时的  $U_{GS}$ )
- 饱和漏极电流  $I_{DSS}$  ( $U_{GS} = 0$  时的  $I_D$ )

## 转移特性

结型场效应管转移特性曲线的近似公式:

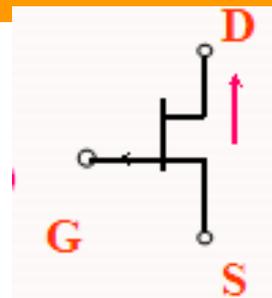
$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS(off)}}\right)^2$$

$$(U_{GS(off)} \leq u_{GS} \leq 0)$$

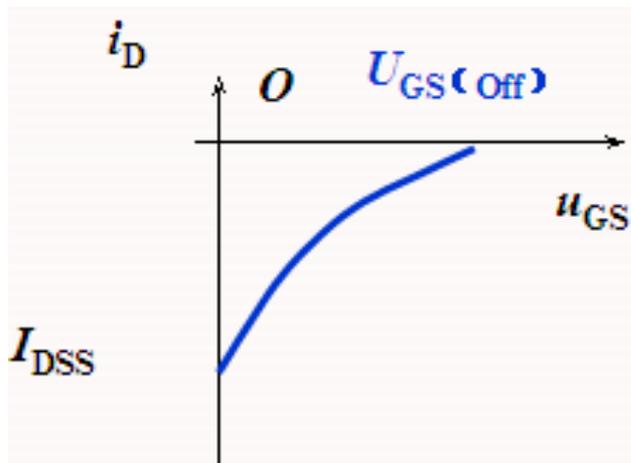


## \* 结型P沟道的特性曲线

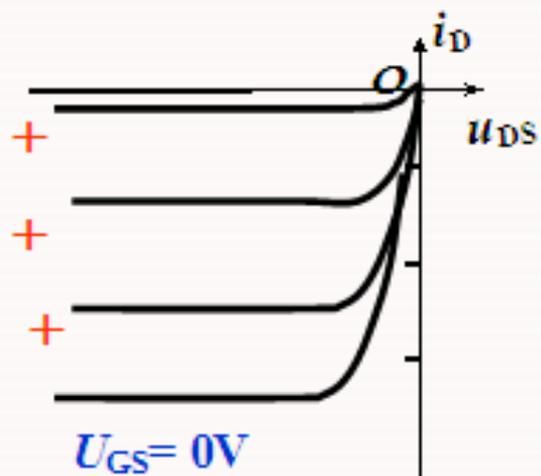
栅源加正偏电压，(PN结反偏)  
漏源加反偏电压。



### 转移特性曲线



### 输出特性曲线



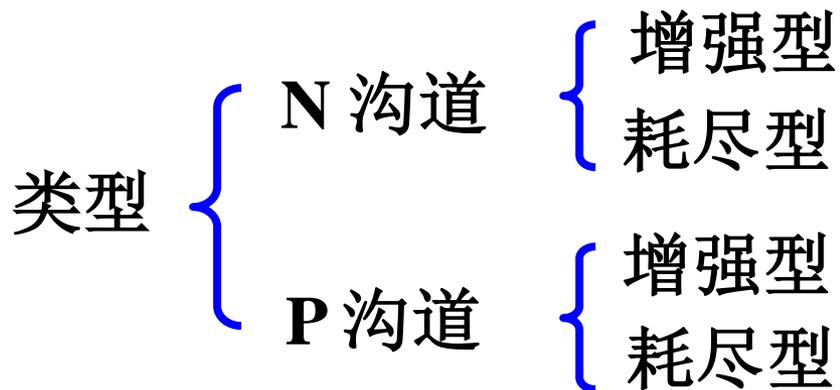
# 11.2 绝缘栅型场效应管

## 绝缘栅型场效应管 MOSFET

Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

由金属、氧化物和半导体制成。称为金属-氧化物-半导体场效应管，或简称 MOS 场效应管。

特点：输入电阻可达  $10^{10} \Omega$  以上。

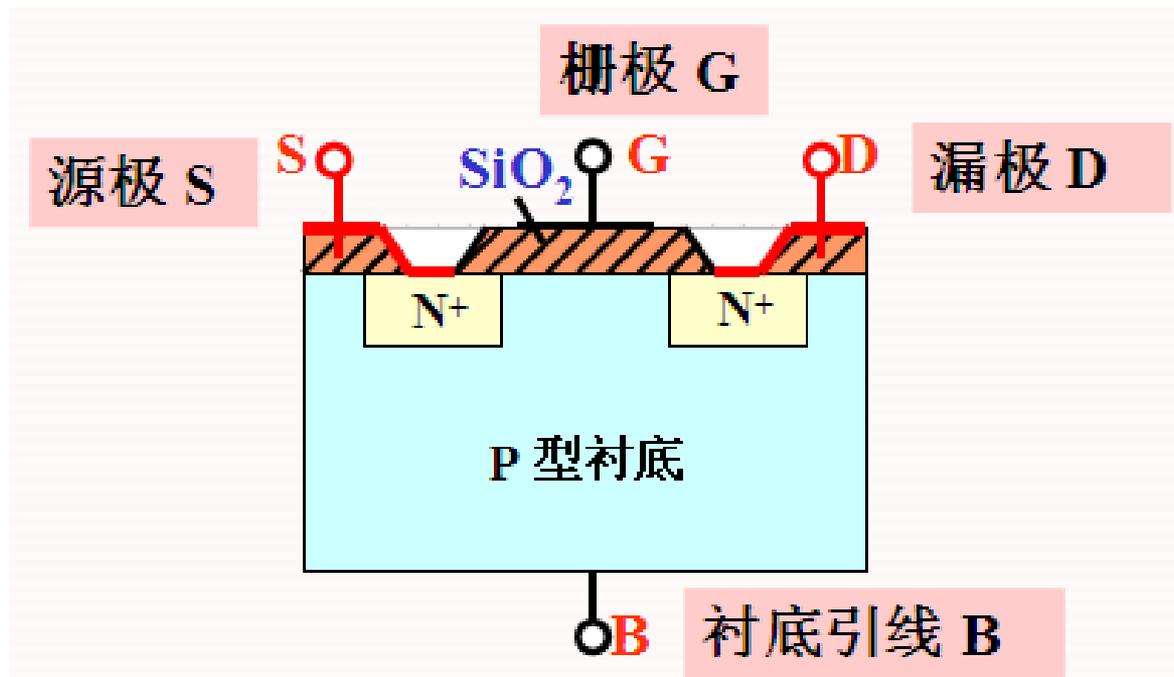
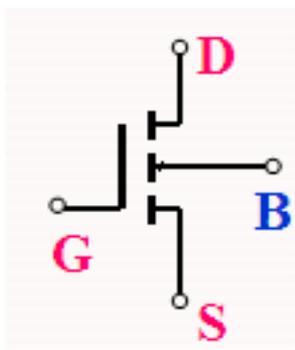


$U_{GS} = 0$  时漏源间存在导电沟道称耗尽型场效应管；

$U_{GS} = 0$  时漏源间不存在导电沟道称增强型场效应管。

# 一、N 沟道增强型 MOS 场效应管

## 结构



N 沟道增强型MOS 场效应管的结构示意图

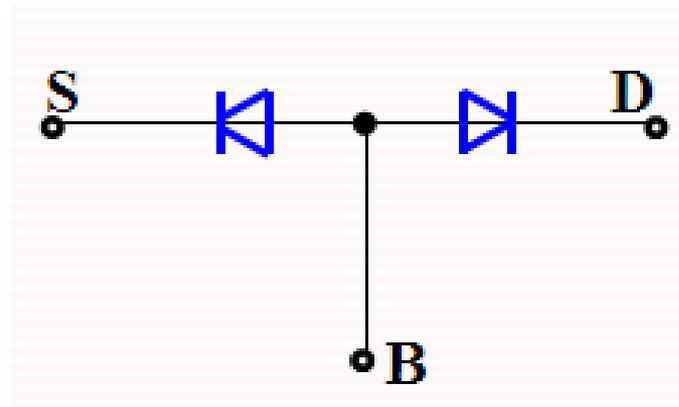
## 1. 工作原理

绝缘栅场效应管利用  $U_{GS}$  来控制“感应电荷”的多少，改变由这些“感应电荷”形成的导电沟道的状况，以控制漏极电流  $I_D$ 。

## 2. 工作原理分析

(1)  $U_{GS} = 0$

漏源之间相当于两个背靠背的 PN 结，无论漏源之间加何种极性电压，总是不导电。



$$(2) U_{DS} = 0, 0 < U_{GS} < U_{GS(th)}$$

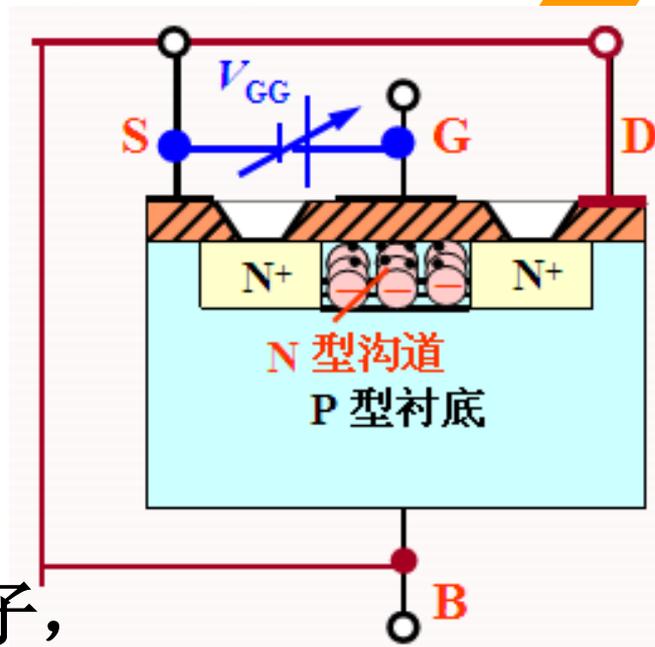
栅极金属层将聚集正电荷，它们排斥P型衬底靠近  $\text{SiO}_2$  一侧的空穴，形成由负离子组成的耗尽层。增大  $U_{GS}$  耗尽层变宽。

$$(3) U_{DS} = 0, U_{GS} \geq U_{GS(th)}$$

由于吸引了足够多P型衬底的电子，会在耗尽层和  $\text{SiO}_2$  之间形成可移动的表面电荷层——反型层、N型导电沟道。

$U_{GS}$  升高，N沟道变宽。因为  $U_{DS} = 0$ ，所以  $I_D = 0$ 。

$U_{GS(th)}$  或  $U_T$  为开始形成反型层所需的  $U_{GS}$ ，称开启电压。



#### (4) $U_{DS}$ 对导电沟道的影响 ( $U_{GS} > U_T$ )

a.  $U_{DS} < U_{GS} - U_T$  , 即  $U_{GD} = U_{GS} - U_{DS} > U_T$

导电沟道呈现一个楔形。

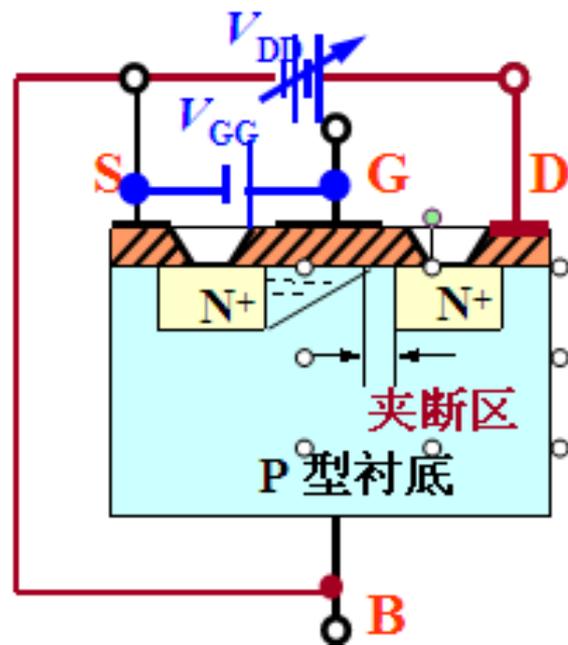
漏极形成电流  $I_D$  。

b.  $U_{DS} = U_{GS} - U_T$  ,  $U_{GD} = U_T$

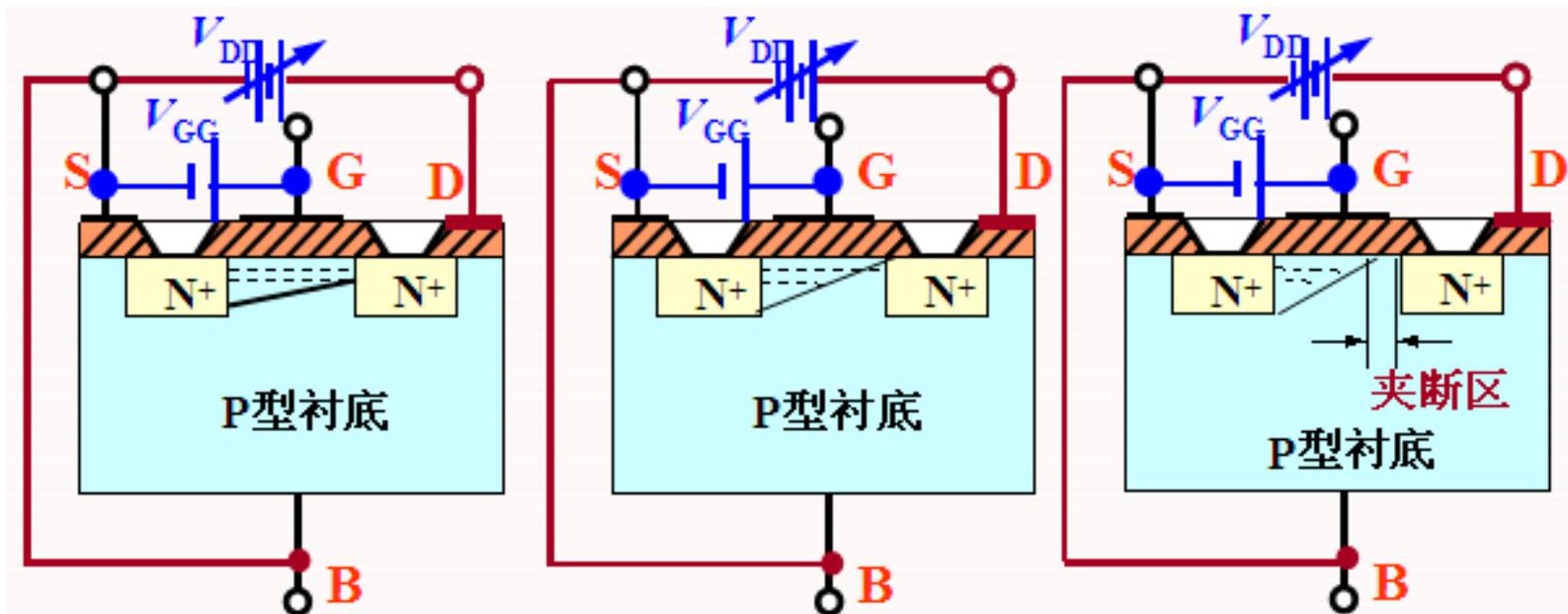
靠近漏极沟道达到临界开启程度, 出现预夹断。

c.  $U_{DS} > U_{GS} - U_T$  ,  $U_{GD} < U_T$

由于夹断区的沟道电阻很大,  $U_{DS}$  逐渐增大时, 导电沟道两端电压基本不变,  $i_D$  因而基本不变。



在  $U_{DS} > U_{GS} - U_T$  时，对应于不同的  $u_{GS}$  就有一个确定的  $i_D$ 。  
 此时，可以把  $i_D$  近似看成是  $u_{GS}$  控制的电流源。



(a)  $U_{GD} > U_T$

(b)  $U_{GD} = U_T$

(c)  $U_{GD} < U_T$

### $U_{DS}$ 对导电沟道的影响

### 3. 特性曲线与电流方程

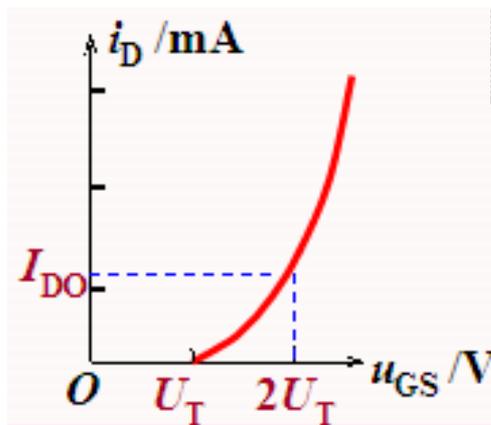
#### (a) 转移特性

$$U_{GS} < U_T, i_D = 0;$$

$U_{GS} \geq U_T$ , 形成导电沟道, 随着  $U_{GS}$  的增加,  $I_D$  逐渐增大。

$$i_D = I_{DO} \left( \frac{u_{GS}}{U_T} - 1 \right)^2$$

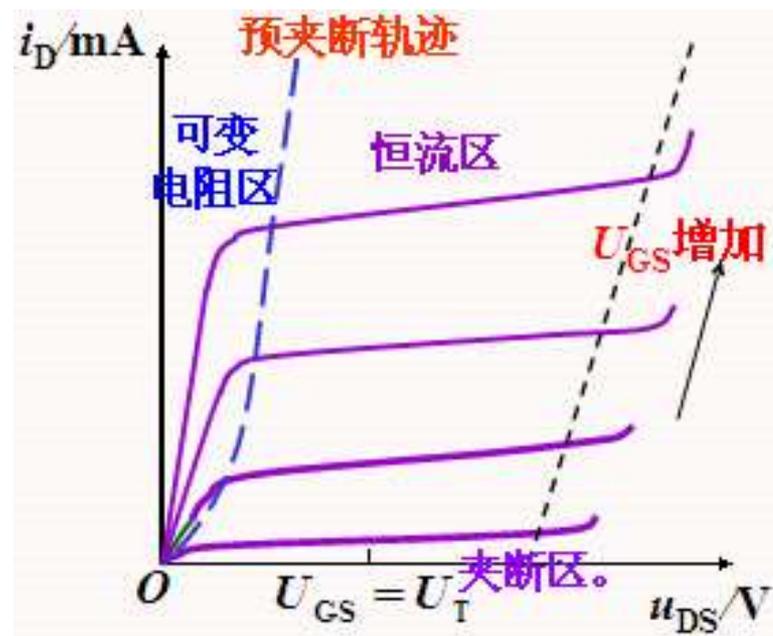
(当  $U_{GS} > U_T$  时)



(a)

#### (b) 输出特性

三个区：可变电阻区、恒流区（或饱和区）、夹断区。



(b)

## 二、N沟道耗尽型 MOS 场效应管

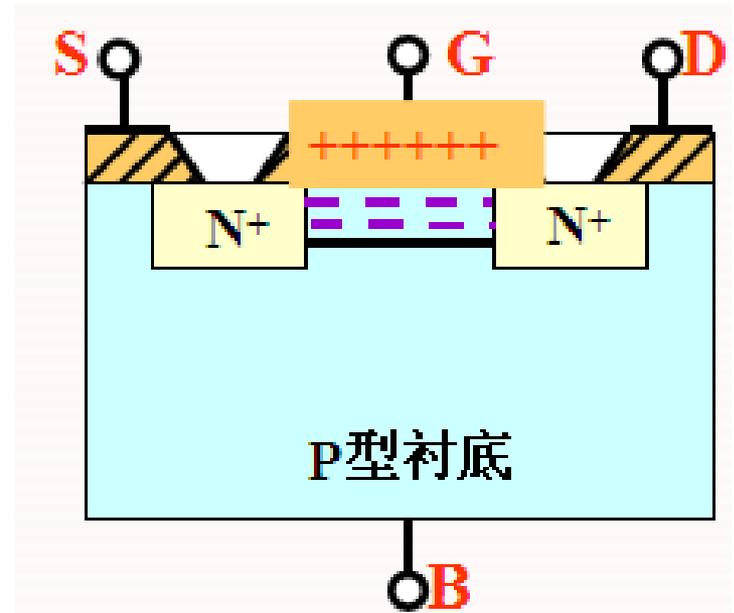
制造过程中预先在二氧化硅的绝缘层中掺入正离子，这些正离子电场在 P 型衬底中“感应”负电荷，形成“反型层”。即使  $U_{GS} = 0$  也会形成 N 型导电沟道。

$U_{GS} = 0$ ， $U_{DS} > 0$ ，产生较大的漏极电流；

$U_{GS} < 0$ ，绝缘层中正离子感应的负电荷减少，导电沟道变窄， $i_D$  减小；

$U_{GS} = U_P$ ，感应电荷被“耗尽”， $i_D \approx 0$ 。

$U_P$  或  $U_{GS(off)}$  称为夹断电压

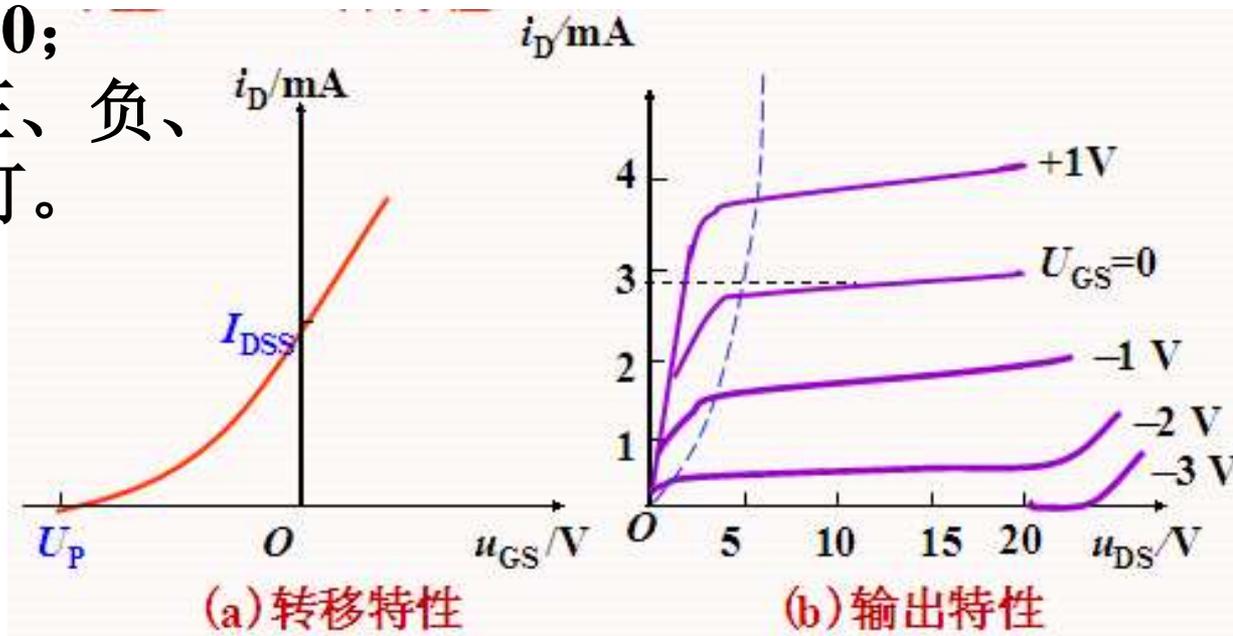


# N 沟道耗尽型 MOS 管特性

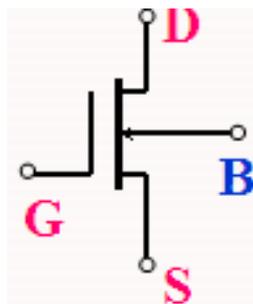
工作条件:

$U_{DS} > 0$ ;

$U_{GS}$  正、负、  
零均可。



耗尽型 MOS  
管的符号

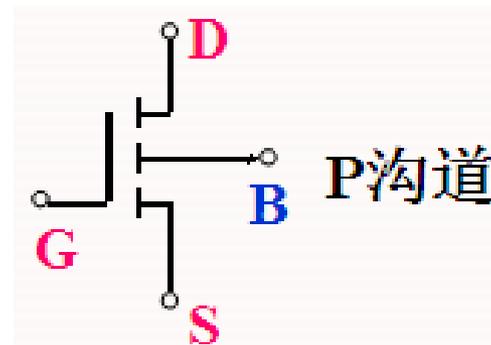


N 沟道耗尽型 MOSFET

### 三、P沟道MOS管

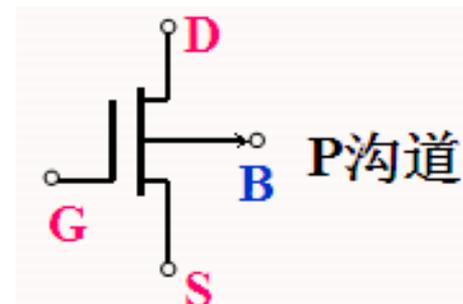
#### 1.P沟道增强型MOS管的开启电压 $U_{GS(th)} < 0$

当 $U_{GS} < U_{GS(th)}$ ，  
漏-源之间应加负电源电压  
管子才导通,空穴导电。



#### 2.P沟道耗尽型MOS管的夹断电压 $U_{GS(off)} > 0$

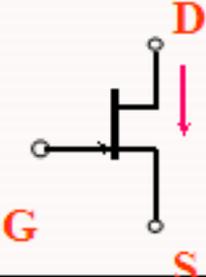
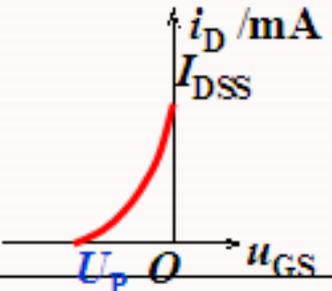
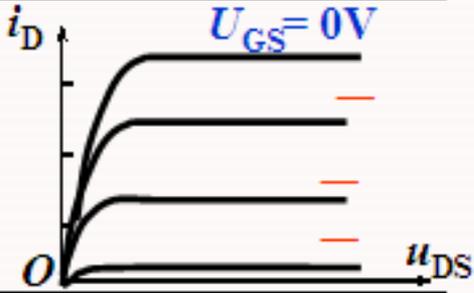
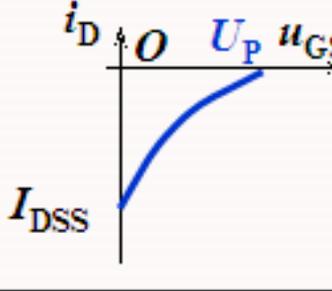
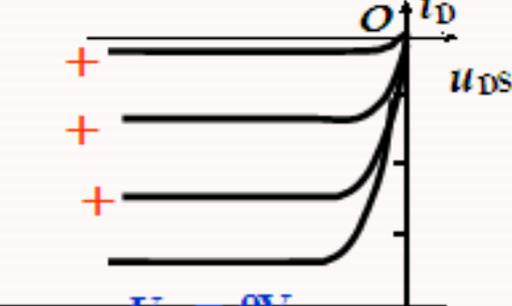
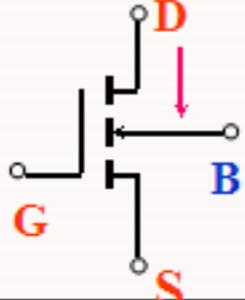
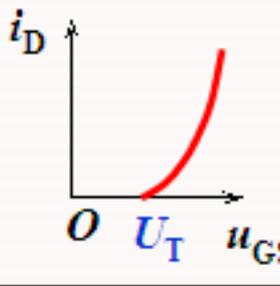
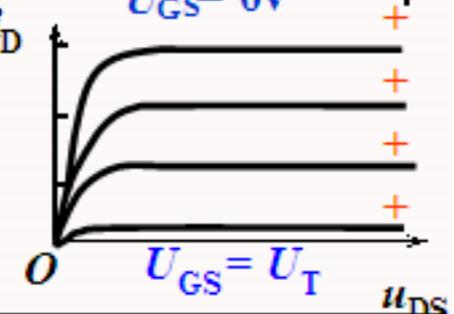
$U_{GS}$  可在正、负值的一定范围内实现对 $i_D$ 的控制，  
漏-源之间应加负电源电压。



### 四、VMOS管

VMOS管漏区散热面积大，  
可制成大功率管。

## 各类场效应管的符号和特性曲线

种类		符号	转移特性曲线	输出特性曲线
结型 N 沟道	耗尽型			
结型 P 沟道	耗尽型			
绝缘 栅型 N 沟道	增强型			

种类		符号	转移特性曲线	输出特性曲线
绝缘栅型 N沟道	耗尽型			
	增强型			
绝缘栅型 P沟道	耗尽型			

## 11.3 场效应管放大器的直流指标

- 场效应管的3个电极，栅极、源极和漏极与晶体管的3个电极，基极、发射极和集电极相对应，在组成放大电路时场效应管也有3种接法：共栅极放大器、共源极放大器、共漏极放大器。3种接法的电路如图11.3.1所示。

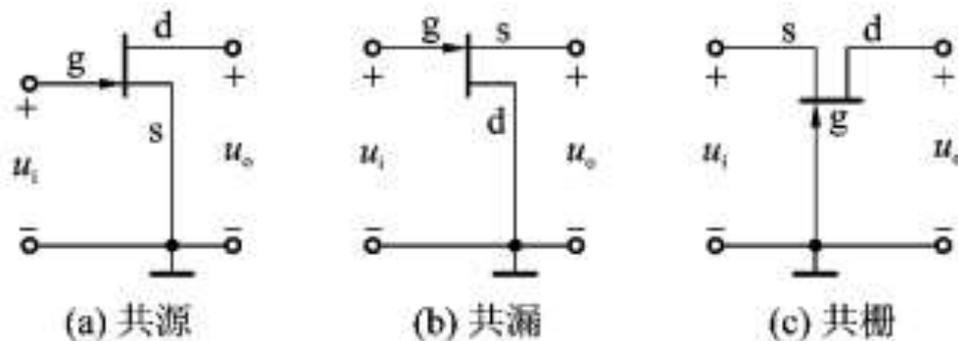


图 11.3.1 场效应管在电路中的 3 种接法

- 1. 直流指标的求法
- 直流分析是指在不考虑交流输入信号的影响下，画出对应场效应管放大器的直流通路，其画法与晶体管放大器的直流通路画法相同。根据直流通路，求静态工作点，即求出在直流信号 $U_{GG}$ 、 $V_{DD}$ 作用下的 $I_{DQ}$ 、 $U_{DSQ}$ 、 $U_{GSQ}$ 。
- 如图11.3.2所示的是N沟道增沟型MOS管构成的共源极放大器。输入回路的栅极电源 $U_{GG}$ 保证 $u_{GS} > 0$ 且 $u_{GS} > U_{GS(th)}$ ，以保证形成导电沟道；加入漏极电源 $V_{DD}$ 保证 $u_{DS}$ 大于预夹断电压，以保证MOS管工作在恒流区。漏极电阻 $R_d$ 的作用是将漏极电流 $i_D$ 的变化转化为电压 $u_{DS}$ 的变化，从而实现电压放大。

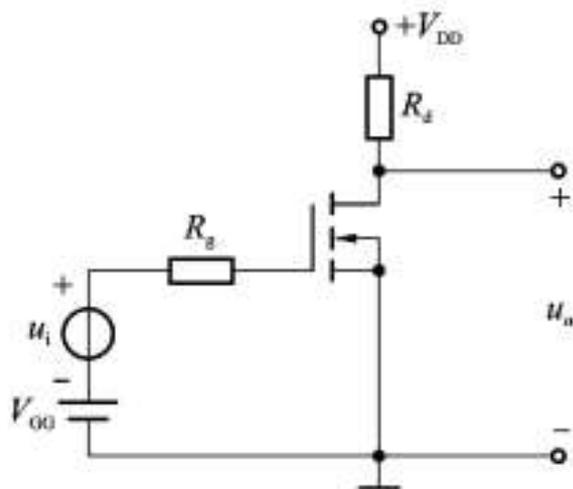


图 11.3.2 N 沟道增沟型 MOS 管构成的共源极放大器

- 上图电路的直流通路

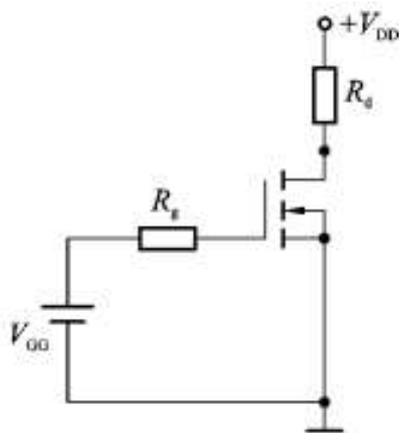


图 11.3.3 N 沟道增沟型 MOS 管共源极放大器的直流通路

- 对直流指标的求法有图解法和估算法两种。

- 1. 图解法
- 图解法是在已知场效应管的输出特性曲线的条件下用作图的方法求其直流指标。分析步骤如下。
- (1) 根据分析, 由于 $I_G \approx 0$ , 所以 $R_g$ 上没有产生压降, 则有 $U_{GSQ} = V_{GG}$ 。然后在输出特性曲线中找到 $U_{GS} = U_{GG}$ 的对应曲线, 若没有, 则需要把该条曲线测试出来并画到输出特性曲线中。
- (2) 根据直流通路, 写出输出回路方程如下。

$$U_{DS} = V_{DD} - I_D R_d$$

- 在坐标轴中取点描点, 在输出特性曲线中画出该条直线, 该直线也就是直流负载线。
- (3) 直流负载线与对应 $U_{GS} = U_{GG}$ 输出特性曲线的交点即为静态工作点。对应的横坐标为 $U_{GSQ}$ , 纵坐标为 $I_{DQ}$ 。

## • 2. 估算法

• 根据直流通路的输入回路可得  $U_{GSQ} = V_{GG}$

• 由式(11.2.1)可得  $I_{DQ} = I_{DO} \left( \frac{V_{GG}}{U_{GS(th)}} - 1 \right)^2$

• 再根据输出回路可列方程  $U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ} (R_d + R_s)$

• 联立方程即可解得  $I_{DQ}$  与  $U_{DSQ}$ 。

• 通常在实际电路中为了使信号源与放大器“共地”，也为了采用单电源供电并设置合适的栅极电压，电路中多采用下面介绍的自给偏压偏置电路和分压式偏置电路。

- 2. 自给偏压偏置电路
- 如图11.3.4所示的是由N沟道耗沟型场效应管组成的自给偏压偏置电路。它是靠源极电阻上的电压为栅源提供一个负栅极电压( $U_{GSQ} = U_{GQ} - U_{SQ} = -I_{DQ}R_s$ )，故称为自给偏压。该电路是自给偏压的一种特例，因为源极电阻 $R_s = 0$ ，因此 $U_{GSQ} = 0$ 。但耗沟型MOS管的 $u_{GS}$ 在正、负值一定范围内均可取值，也可以为零，所以采用自给偏压偏置电路是可行的。增沟型MOS管不适用于自给偏压偏置电路，因为不能设置合适的栅极偏压。
- 图11.3.4 N沟道耗沟型场效应管组成的自给偏压偏置电路对于该电路的直流分析可采用估算法。图11.3.4所示的电路中N沟道耗沟型MOS管的 $I_D$ 和 $U_{GS}$ 的关系可用公式(11.1.4)的近似式表示如下。

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{U_{GSQ}}{U_{GS(off)}} \right)^2$$

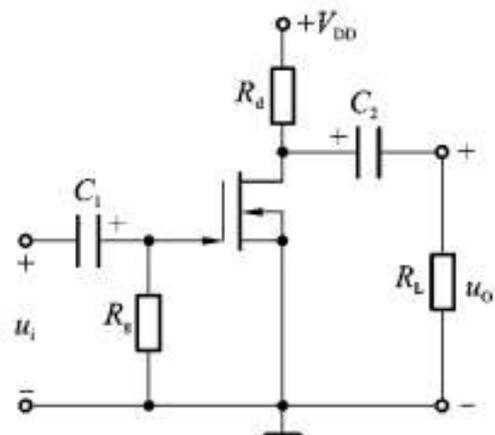


图 11.3.4 N 沟道耗尽型场效应管组成的自给偏压偏置电路

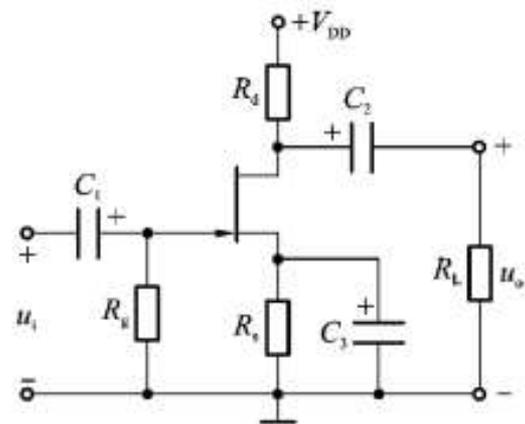


图 11.3.5 N 沟道 JFET 自给偏压偏置电路

- 图11.3.5中所示的是N沟道JFET组成的自给偏压偏置电路。由前面介绍的N沟道JFET的工作原理分析可知，只有在管子栅 源之间的电压 $u_{GS} < 0$ 时才能正常工作，而自给偏压偏置电路能满足N沟道JFET的这一要求。在静态时，由于栅极电流等于零，因此通过栅极电阻 $R_g$ 的电流为零，栅极电位 $U_{GQ}$ 必然也为零，而漏极电流 $I_{DQ}$ 流过源极电阻 $R_d$ 时必然产生电压，使源极电位 $U_{SQ} = I_{DQ}R_S$ ，故可得

$$U_{GSQ} = U_{GQ} - U_{SQ} = 0 - I_{DQ}R_S = -I_{DQ}R_S$$

- 根据输出回路可列如下方程。

$$U_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ}(R_D + R_S)$$

### 3. 分压式偏置电路

分压式偏置电路适用于增沟型和耗沟型MOS管，以及结型场效应管。如图11.3.8所示为N沟道增沟型MOS管构成的共源极放大器。该电路依靠 $R_{g1}$ 和 $R_{g2}$ 对电源 $U_{DD}$ 分压来设置栅极偏压，故称为分压式偏置电路。为了不使分压电阻 $R_{g1}$ 和 $R_{g2}$ 对放大器的输入电阻影响过大，故通过 $R_{gs}$ 与栅极相连，电路中的 $R_{gs}$ 可达几兆欧，从而可以增大输入电阻。可使用图解法和估算法对该电路进行分析。具体分析思路略

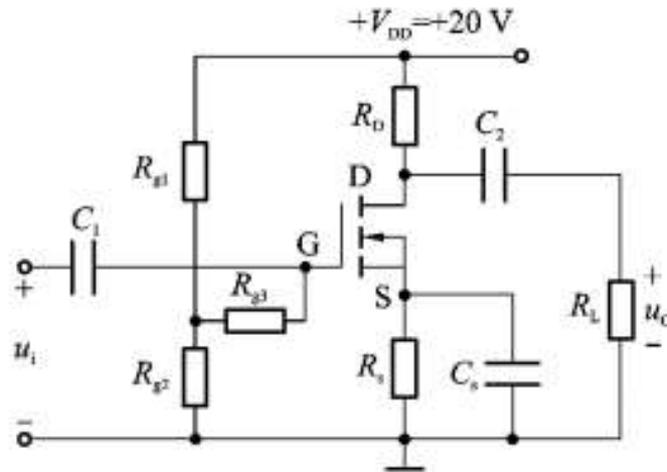


图 11.3.8 分压式偏置电路

# 11.4 场效应管放大器三种用法的交流指标

- 场效应管是非线性元器件，与在分析晶体管放大器动态时将晶体管这个非线性元件进行微变等效相同，在分析场效应管放大器动态时，也将场效应管进行微变等效。
- 讨论交流信号作用时要用全微分表示如下。

$$di_D = \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_{u_{DS}} du_{GS} + \left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{DS}} \right|_{u_{GS}} du_{DS}$$

- 跨导

$$\left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{GS}} \right|_{u_{DS}} du_{GS} = g_m$$

- 漏极电阻

$$\left. \frac{\partial i_D}{\partial u_{DS}} \right|_{u_{GS}} du_{DS} = \frac{1}{r_{DS}}$$

- 场效应管的微变等效电路如图11.4.1所示。

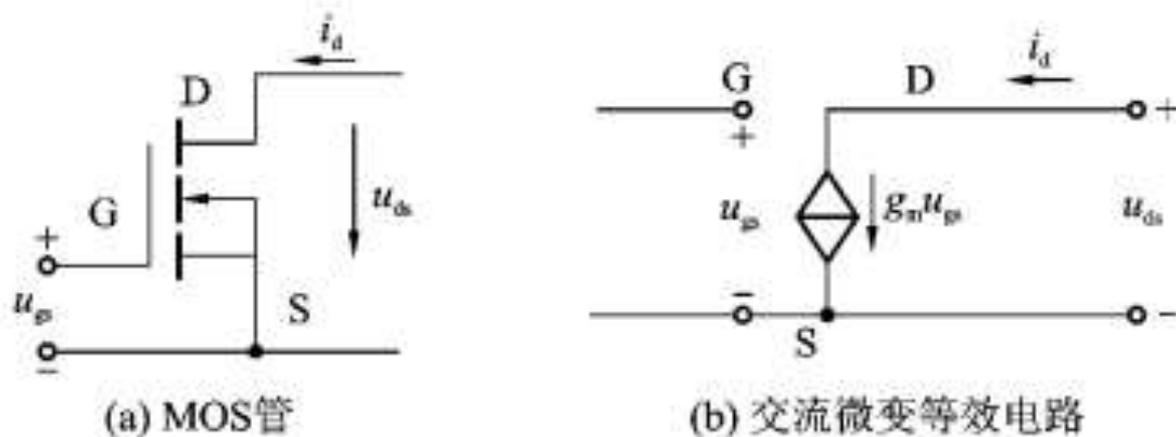


图 11.4.1 场效应管的微变等效电路

- 11.4.1 共源放大器
- 如图11.3.9所示的分压式偏置电路为典型的共源极放大器。根据前面分析的场效应管交流微变等效电路，可以画出如图11.4.2所示的交流等效电路，由图11.4.2可分析图11.3.9所示的共源极放大器的交流性能。

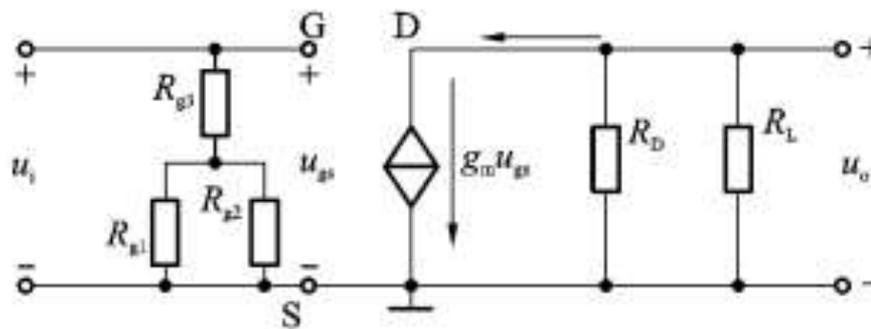


图 11.4.2 图 11.3.9 所示的共源极放大器的微变等效电路

- 1) 电压放大倍数 $A_u$

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-g_m u_{gs} R'_L}{u_{gs}} = -g_m R'_L$$

- 2) 输入电阻 $R_i$

$$R_i = R_{g3} + R_{g1} // R_{g2}$$

- 3) 输出电阻 $R_o$

$$R_o = \left. \frac{u_o}{i_o} \right|_{R_L = \infty, u_s = 0}$$

- 11.4.2共漏极放大器
- 如图11.4.5所示的电路为N沟道耗尽型MOS管组成的共漏极放大器。图11.4.6所示的电路为对应的交流微变等效电路。
- 图11.4.5共漏极放大器图11.4.6交流微变等效电路

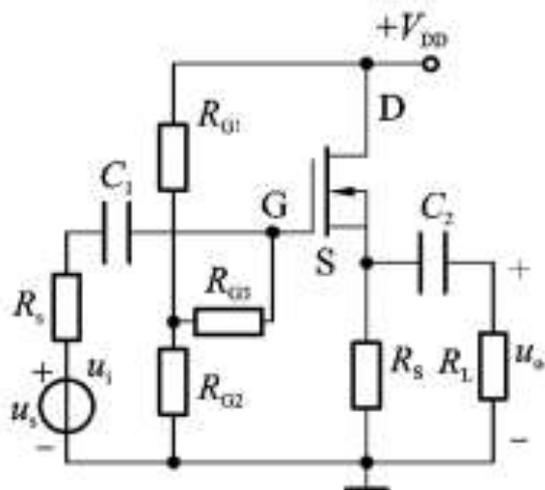


图 11.4.5 共漏极放大器

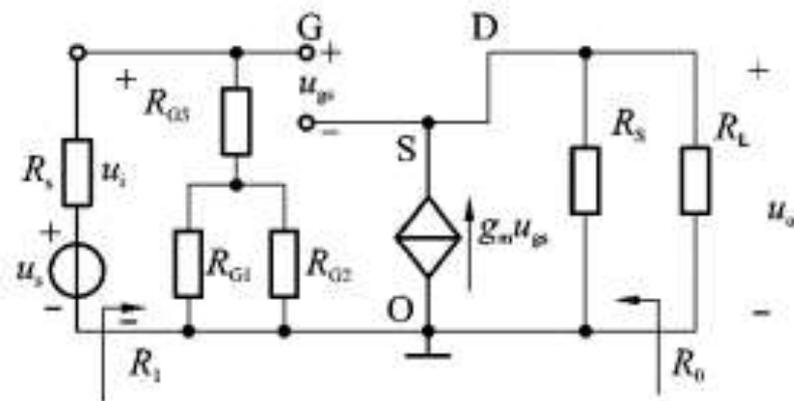


图 11.4.6 交流微变等效电路

- 1) 电压放大倍数 $A_u$

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{g_m u_{gs} R'_L}{u_{gs} + g_m u_{gs} R'_L} = \frac{g_m R'_L}{1 + g_m R'_L}$$

- 2) 输入电阻 $R_i$

$$R_i = R_{G3} + R_{G1} // R_{G2}$$

- 3) 输出电阻 $R_o$

$$R_o = \frac{u_o}{i_o} = \frac{u_o}{\frac{u_o}{R_s} + g_m u_o} = \frac{1}{\frac{1}{R_s} + g_m} = R_s // \frac{1}{g_m}$$

- 11.4.3 共栅极放大器

- 如图11.4.8所示的电路为N沟道增沟型MOS管组成的共栅极放大器。图11.4.9所示的电路为对应的交流微变等效电路。

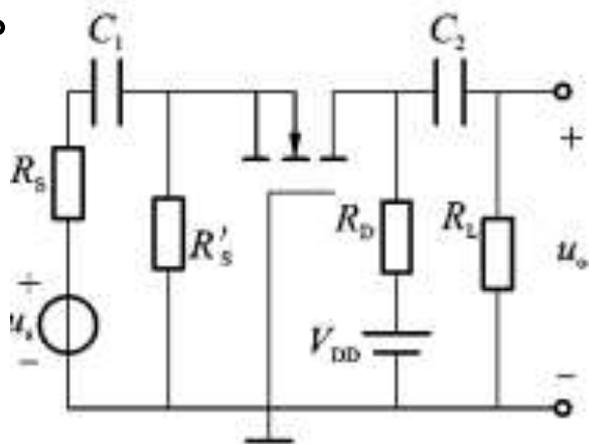


图 11.4.8 共栅极放大器

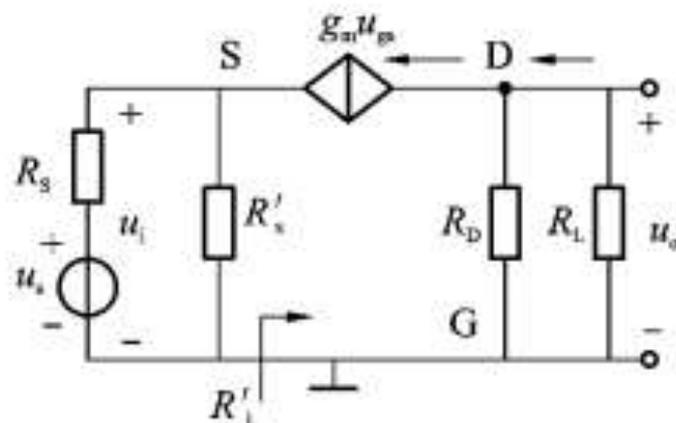


图 11.4.9 交流微变等效电路

- 1) 电压放大倍数  $A_u$

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-g_m u_{gs} R'_L}{-u_{gs}} = g_m R'_L$$

- 2) 输入电阻 $R_i$

$$R_i = R'_s // R'_i = R'_s // \frac{1}{g_m}$$

- 3) 输出电阻 $R_o$

$$R_o = R_D$$

- 11.4.4三种用法交流指标的比较
- 三种组态放大器各有其特点，可应用于不同场合的电路中，为了方便分析比较，将三种组态放大器的性能参数列于同一个表中，如表11.4.1所示。

组态	共 源	共 漏	共 栅
$A_u$	(1)当源极电阻交流接地时,有 $A_u = -g_m R'_L$ (2)当源极有电阻 $R_s$ 时,有 $A_u = -\frac{g_m R'_L}{1 + g_m R_s}$	$A_u = \frac{g_m R'_L}{1 + g_m R'_L}$	$A_u = g_m R'_L$
$R_i$	$R_i = R_{g3} + R_{g1} // R_{g2}$	$R_i = R_{g3} + R_{g1} // R_{g2}$	$R_i = R'_s // \frac{1}{g_m}$ ( $R'_s$ 为源极电阻)
$R_o$	$R_o = R_D$	$R_o = R_s // \frac{1}{g_m}$	$R_o = R_D$
特点	电压增益大;输入电阻大; 输出电阻大	电压增益接近于1;输入电 阻大;输出电阻小,可作阻抗 变换用	电压增益大;输入电阻小; 输出电阻大;因FET的高阻抗 未发挥作用,故较少使用

## 11.5 CMOS共源极放大器

- 在MOS集成电路中，为了提高集成度，一般都采用有源电阻取代占芯片面积较大的集成电阻。根据有源电阻的不同实现方法，集成MOS放大器分为 E/E MOS、E/D MOS 和 CMOS 三种类型电路。
- 将NMOS和PMOS互补对称即可构成互补对称式金属氧化物半导体电路(Complementary Symmetry Metal Oxide Semiconductor Circuit)，简称CMOS电路。CMOS结构如图11.5.2所示。

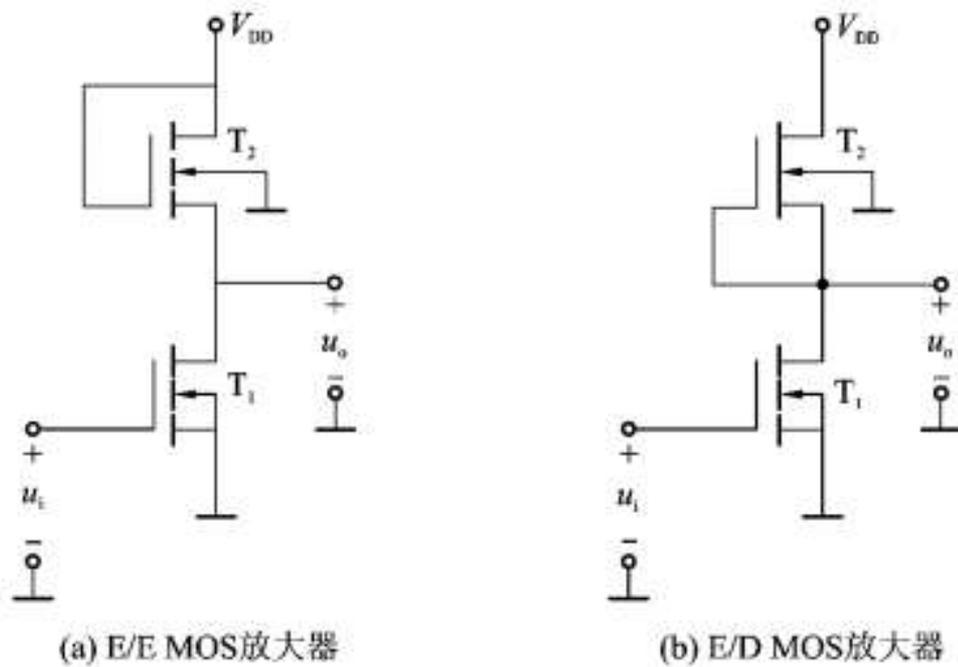


图 11.5.1 N 沟道 MOS 管放大器电路

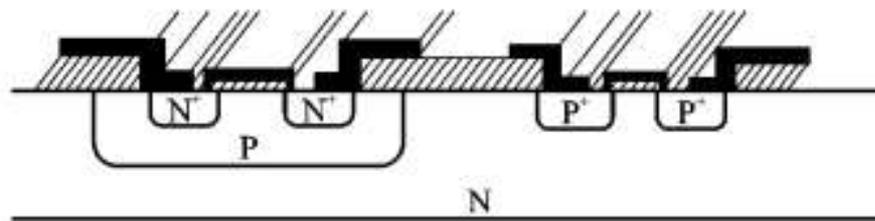


图 11.5.2 CMOS 结构示意图

- 采用互补MOS器件就可以构成与晶体管放大器类似的有源负载共源放大器，如图11.5.3所示。
- 其交流通路如图11.5.4所示。

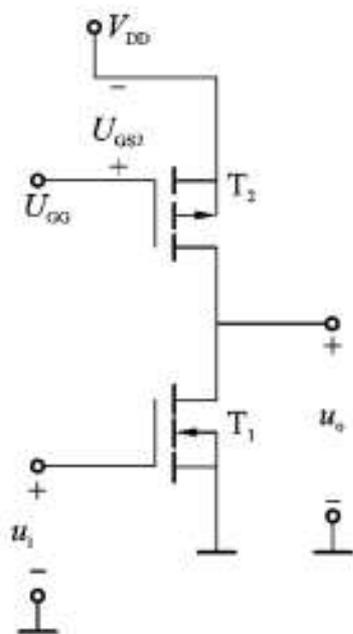


图 11.5.3 CMOS 共源极放大器

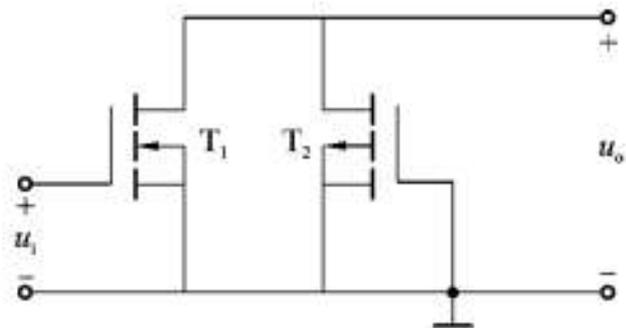


图 11.5.4 CMOS 共源极放大器的交流通路

- 设T1管的低频跨导为 $g_{m1}$ ，漏源等效电阻为 $r_{ds1}$ ，T2管的低频跨导为 $g_{m2}$ ，漏源等效电阻为 $r_{ds2}$ ，根据场效应管的交流微变等效模型可以得出该交流通路的微变等效电路。其中，T2管的栅源之间由于电压为0，故漏源间等效电流源大小也为0。可得出如图11.5.5所示的微变等效电路。

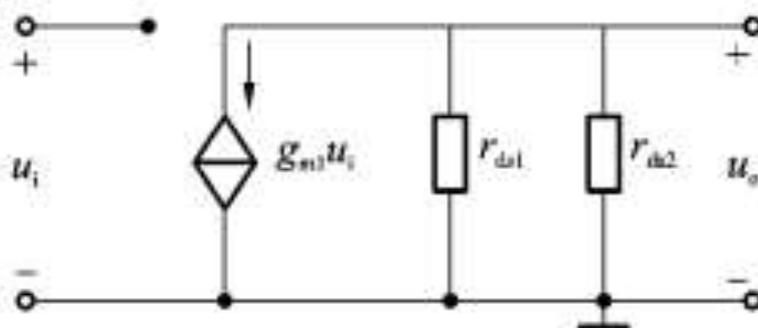


图 11.5.5 微变等效电路

- 由图11.5.5求得CMOS共源放大器的电压放大倍数为

$$A_u = -g_{m1} (r_{ds1} // r_{ds2})$$