

# 4 场效应晶体管

4.1 结型场效应晶体管

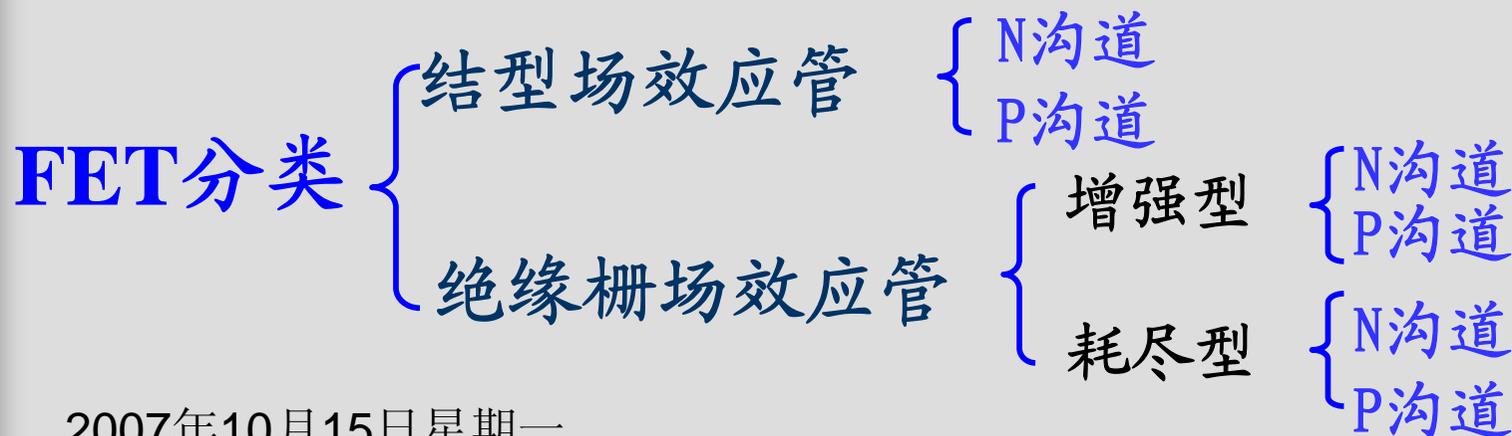
4.2 MOS场效应晶体管

## 4 场效应管

BJT是一种电流控制元件( $i_B \sim i_C$ ), 工作时, 多数载流子和少数载流子都参与运行, 所以被称为双极型器件。

场效应管 (Field Effect Transistor简称FET) 是一种电压控制器件( $u_{GS} \sim i_D$ ), 工作时, 只有一种载流子参与导电, 因此它是单极型器件。

FET因其制造工艺简单, 功耗小, 温度特性好, 输入电阻极高等优点, 得到了广泛应用。

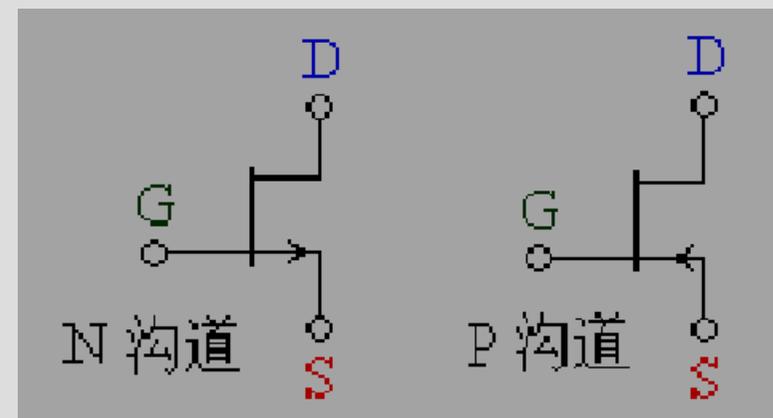
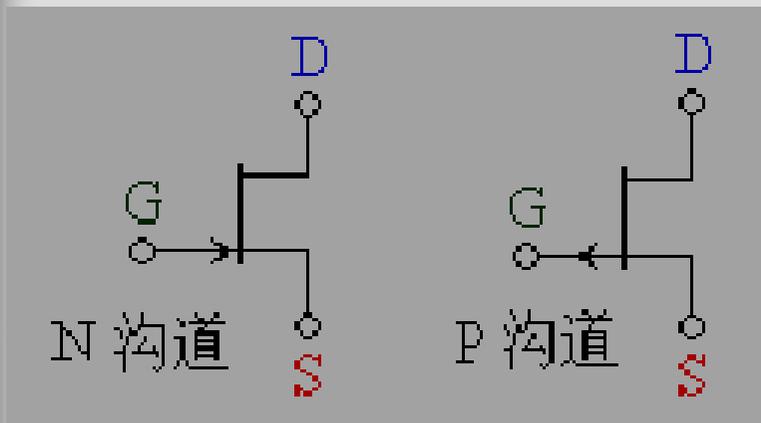
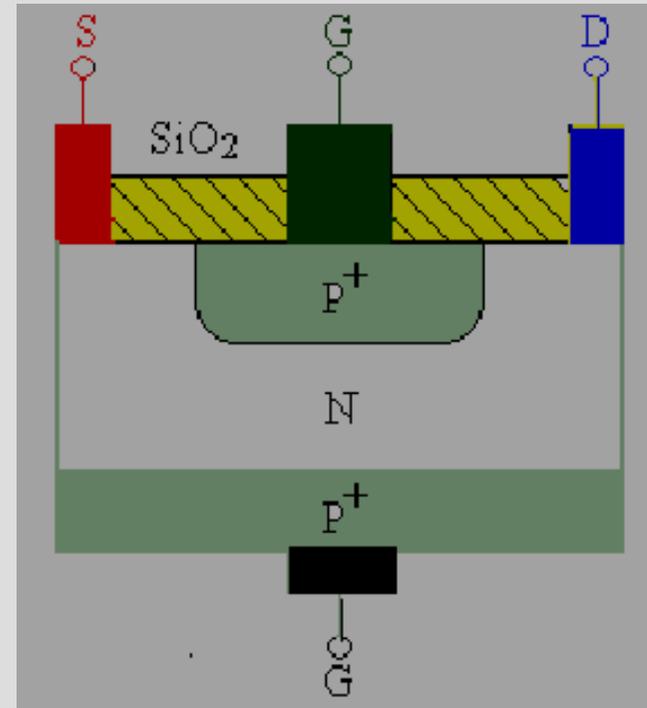


## 4.1 JFET

- 结构与符号
- 工作原理与特性曲线
- 主要参数
- JFET的模型

# 一、结构与符号

JFET分为：  
N沟道  
P沟道

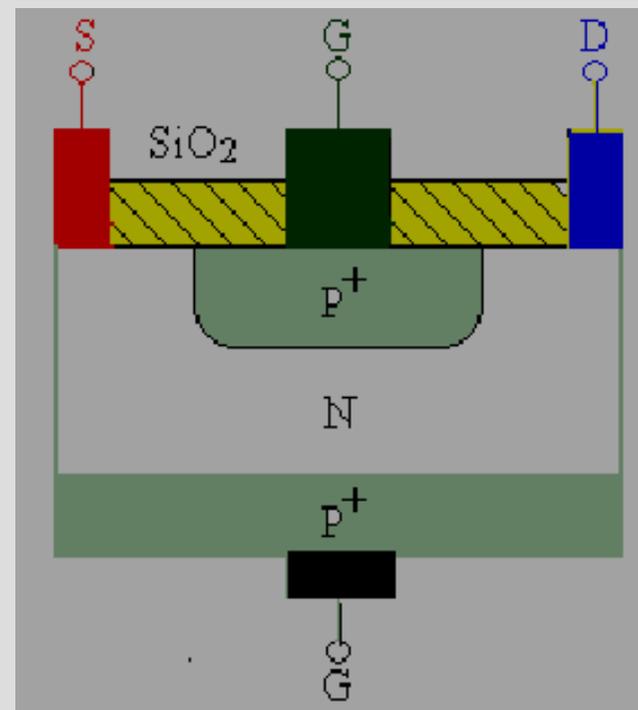
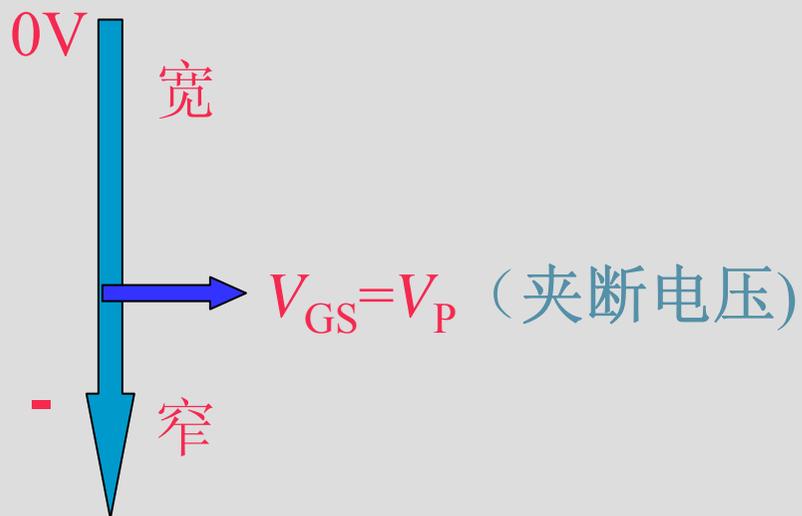


箭头：P→N

## 二、工作原理与特性曲线 N沟道

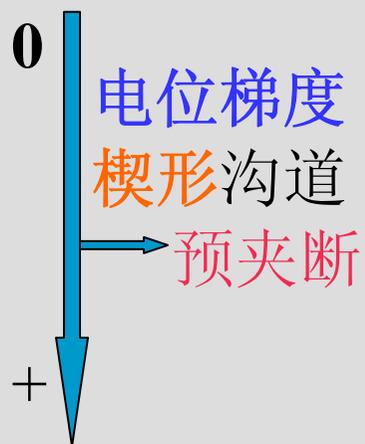
### ➤ 工作原理

#### 1. $V_{GS}$ 控制沟道宽窄

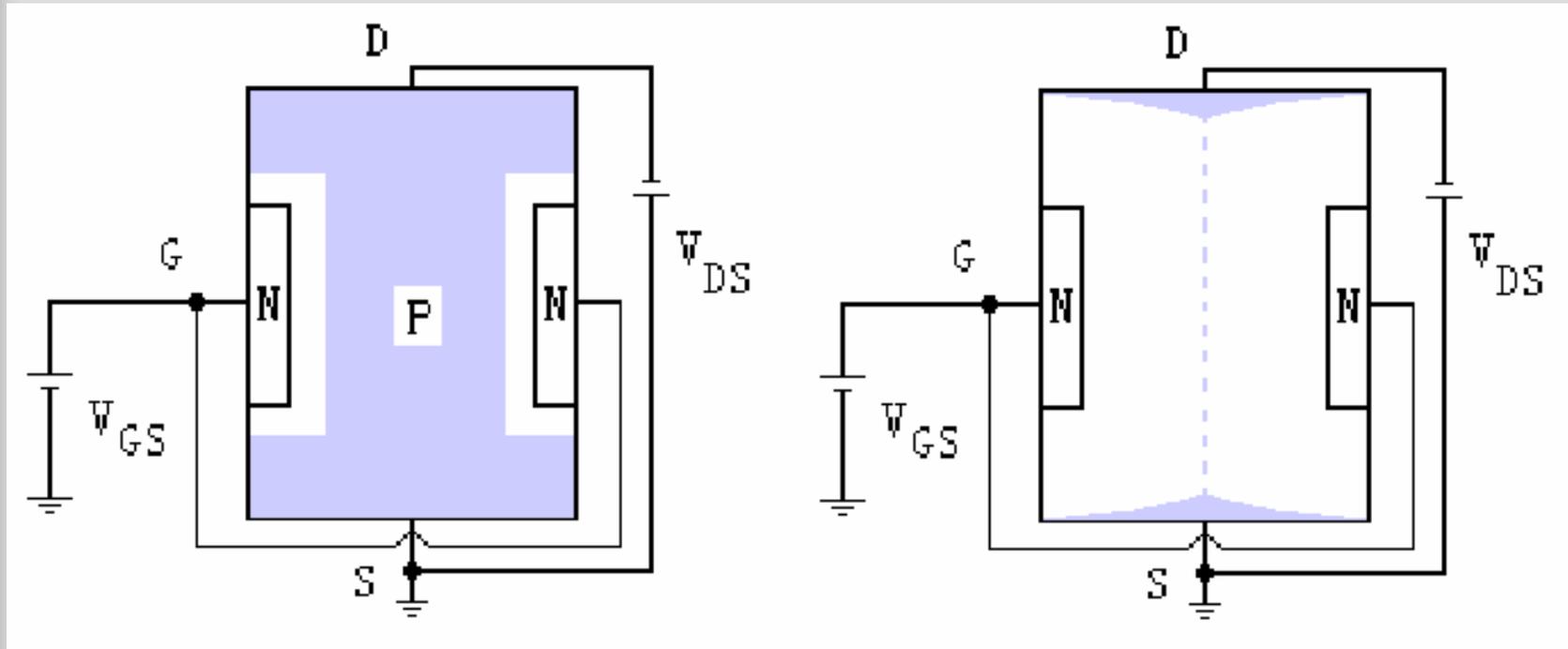


PN结反偏

#### 2. $V_{DS}$ 控制沟道形状



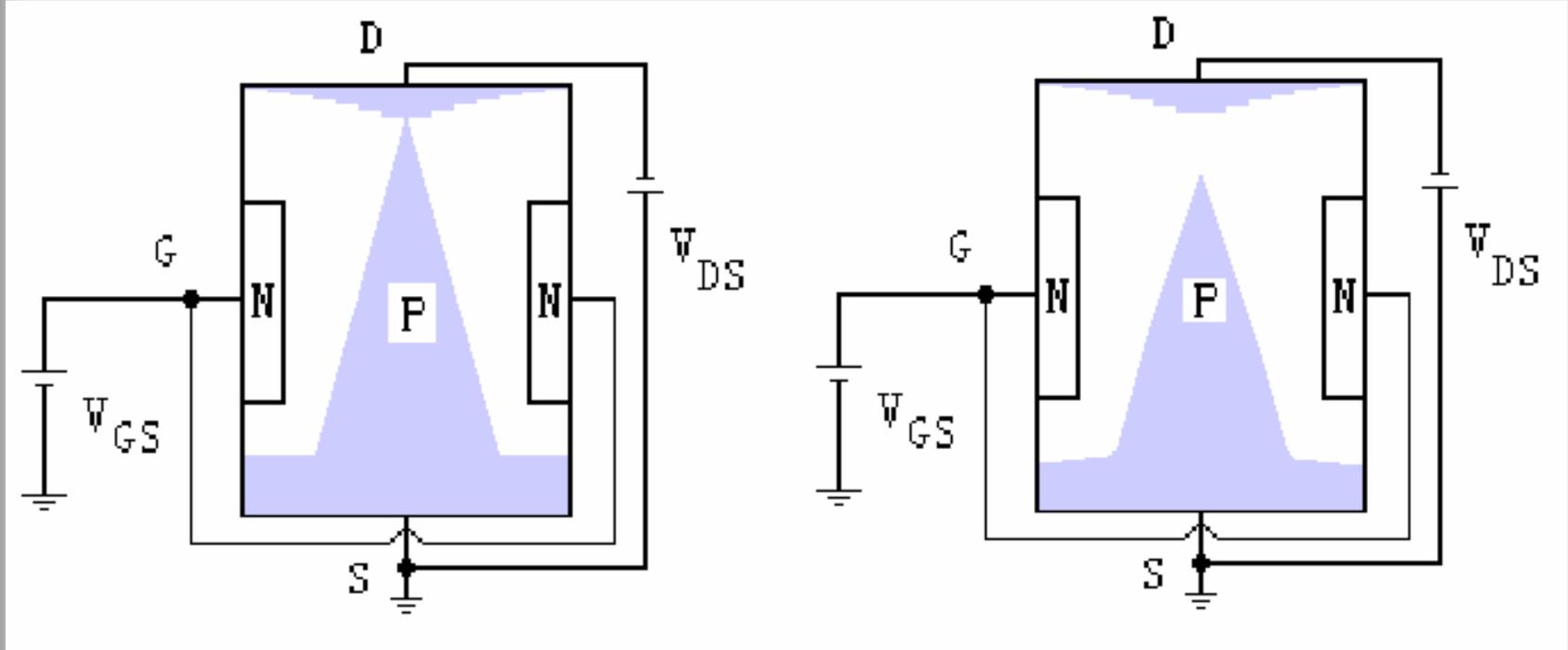
# P沟道JFET



$V_{DS}$ 很小,  $V_{GS} < V_P$   
PN结处于反偏,  
耗尽区将因加栅压而被展宽

$V_{DS}$ 很小  
 $V_{GS} \geq V_P$   
沟道被夹断

# P沟道JFET



$$V_{GS} < V_P$$

$$V_{GD} = V_P$$

上端沟道临界夹断

$$V_{GS} < V_P$$

$$V_{GD} > V_P$$

上端沟道被夹断

# P沟道JFET

截止区

$$V_{GS} > V_P$$

$$V_{GD} > V_P, \quad V_{DS} < V_{GS} - V_P$$

$$(V_{GD} = V_{GS} + V_{SD} = V_{GS} - V_{DS})$$

可变电阻区

$$V_{GS} < V_P$$

$$V_{GD} < V_P, \quad V_{DS} > V_{GS} - V_P$$

夹断区

$$V_{GS} < V_P$$

恒流区

$$V_{GD} > V_P, \quad V_{DS} < V_{GS} - V_P$$

临界区

$$V_{GS} < V_P$$

$$V_{GD} = V_P, \quad V_{DS} = V_{GS} - V_P$$

# N沟道JFET

截止区

$$V_{GS} < V_P$$

$$V_{GD} < V_P, \quad V_{DS} > V_{GS} - V_P$$

$$(V_{GD} = V_{GS} + V_{SD} = V_{GS} - V_{DS})$$

可变电阻区

$$V_{GS} > V_P$$

$$V_{DS} < V_{GS} - V_P$$

夹断区

$$V_{GS} > V_P$$

恒流区

$$V_{DS} > V_{GS} - V_P$$

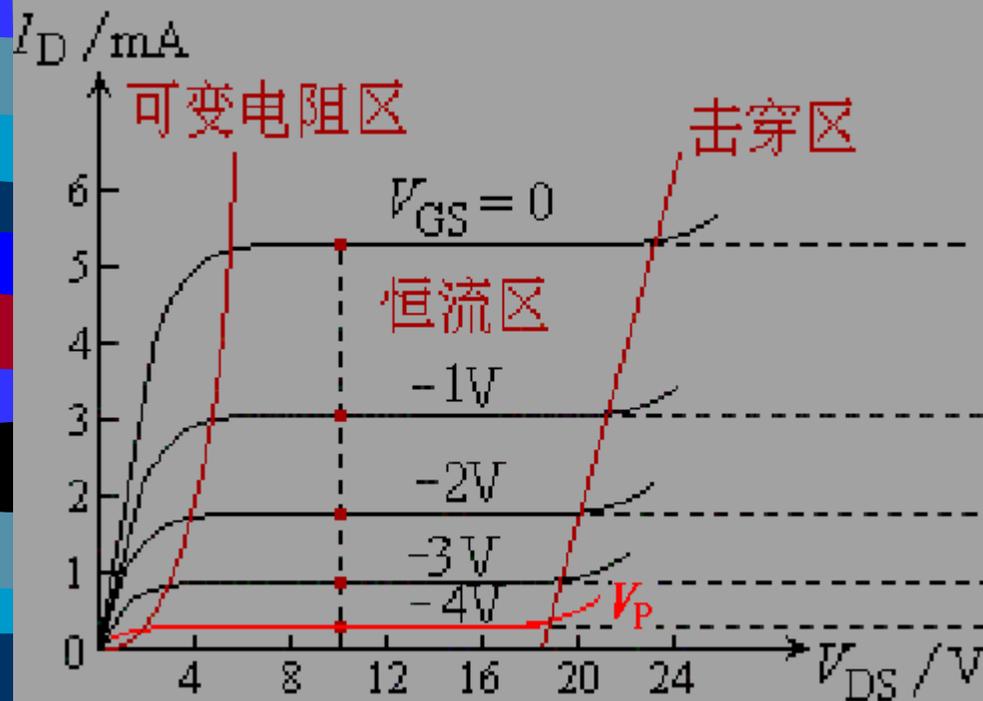
临界区

$$V_{GS} > V_P$$

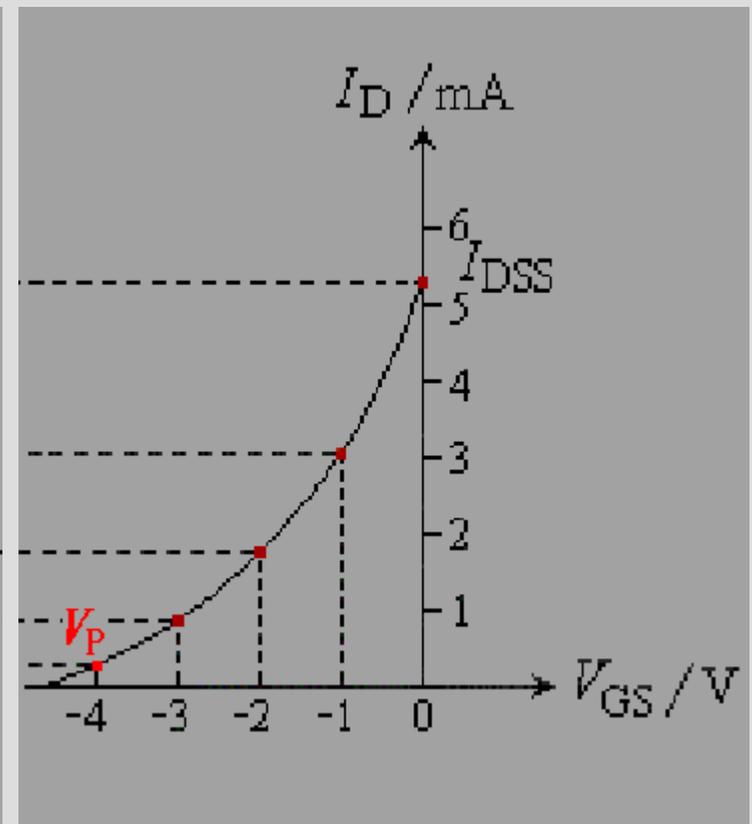
$$V_{DS} = V_{GS} - V_P$$

## 特性曲线 N沟道

$$I_D = I_{DSS} [1 - (V_{GS} / V_P)]^2$$



(a) 漏极输出特性曲线



(b) 转移特性曲线

### 三、 主要参数

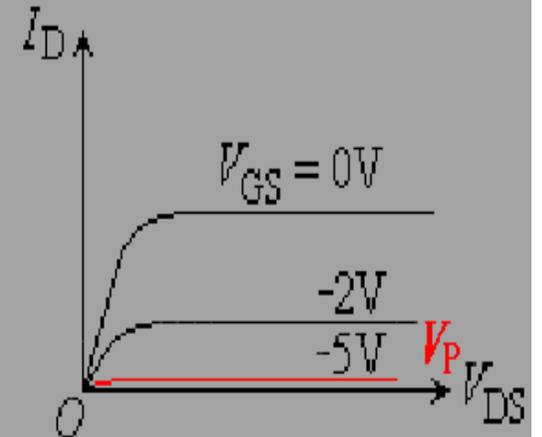
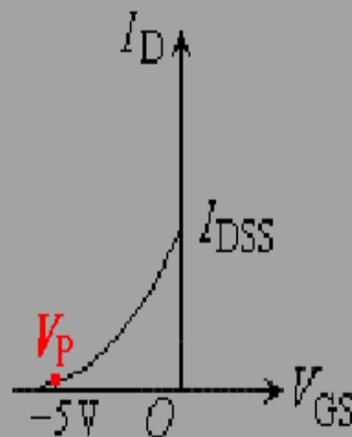
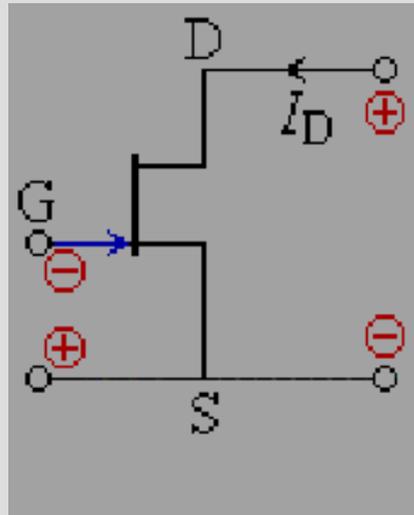
①  $V_p$  夹断电压

耗尽型FET的参数，当  $V_{GS} = V_p$  时， $I_D = 0$

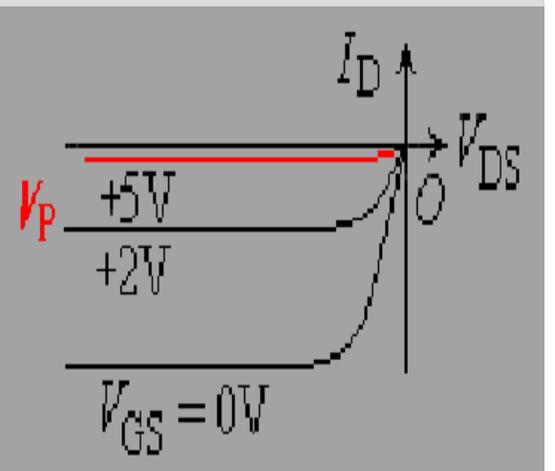
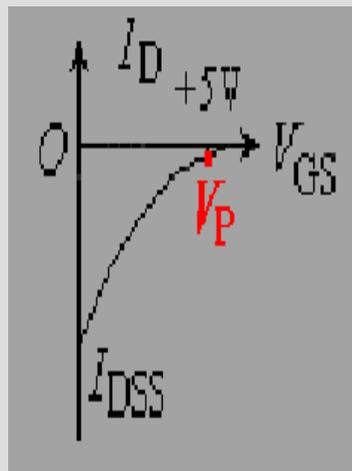
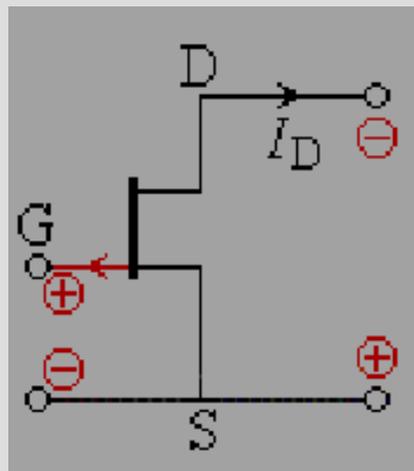
②  $R_{GS}$  输入电阻

$R_{GS}$  约大于  $10^7 \Omega$

N  
沟道



P  
沟道

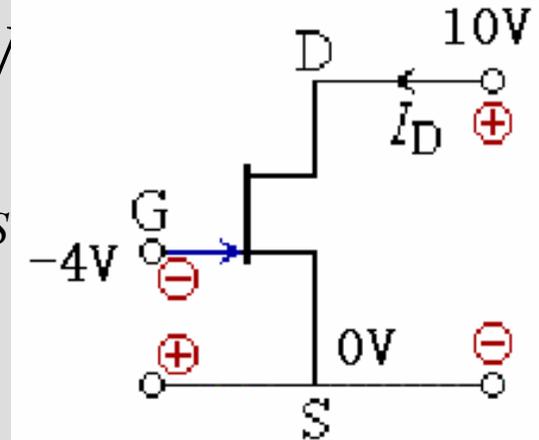


例 N沟道JFET的 $V_p = -3V$ ，判断处在什么区？

$$\because V_p = -3V, V_{GS} = -4V, V_{DS} = 10V$$

$$\because V_{GS} < V_p, \quad V_{GS} - V_p = -1V < V_{DS}$$

截止区

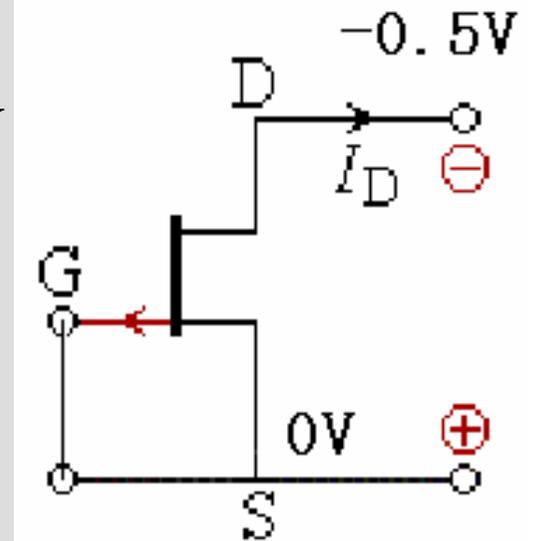


例 P沟道JFET的 $V_p = 4V$ ，判断处在什么区？

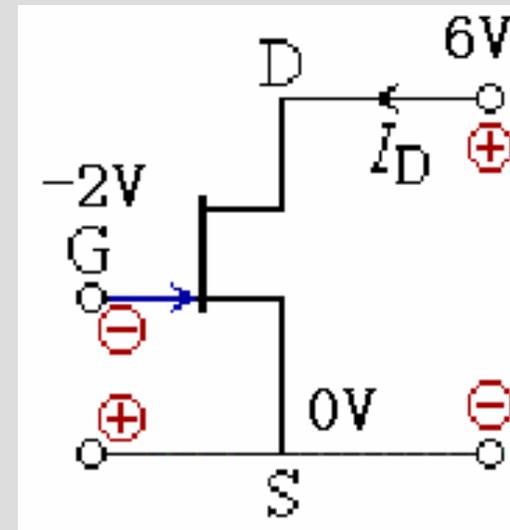
$$\because V_p = 4V, V_{GS} = 0V, V_{DS} = -0.5V$$

$$\because V_{GS} < V_p, \quad V_{GS} - V_p = -4V < V_{DS}$$

可变电阻区



例 N沟道JFET的 $V_p = -3V$ ，判断处在什么区？



$$\therefore V_P = -3V, V_{GS} = -2V, V_{DS} = 6V$$

$$\therefore V_{GS} > V_P, \quad V_{GS} - V_P = 1V < V_{DS}$$

恒流区

## 四、JFET的模型

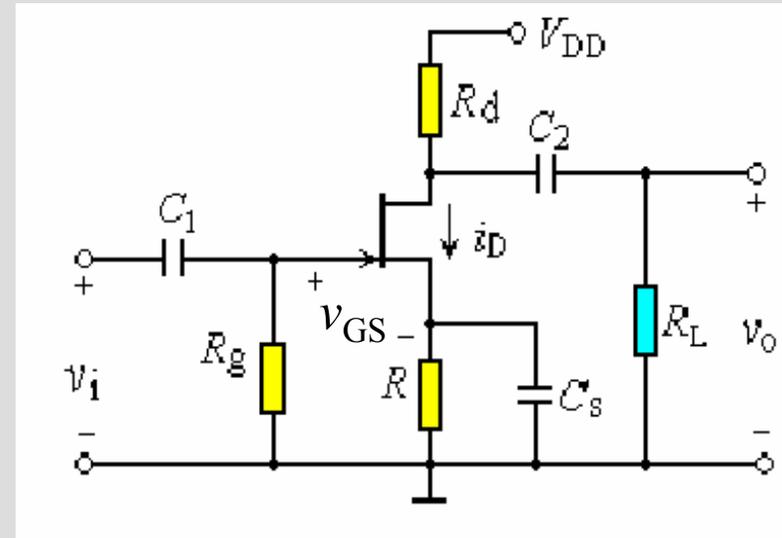
### 1、直流大信号模型

JFET电阻区的大信号特性为：

$$I_D = I_{DSS} \left[ 2 \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) \left( \frac{V_{DS}}{-V_P} \right) - \left( \frac{V_{DS}}{V_P} \right)^2 \right]$$

当 $V_{DS}$ 很小时

$$I_D = 2I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) \left( \frac{V_{DS}}{-V_P} \right)$$



此时的漏极电阻为：

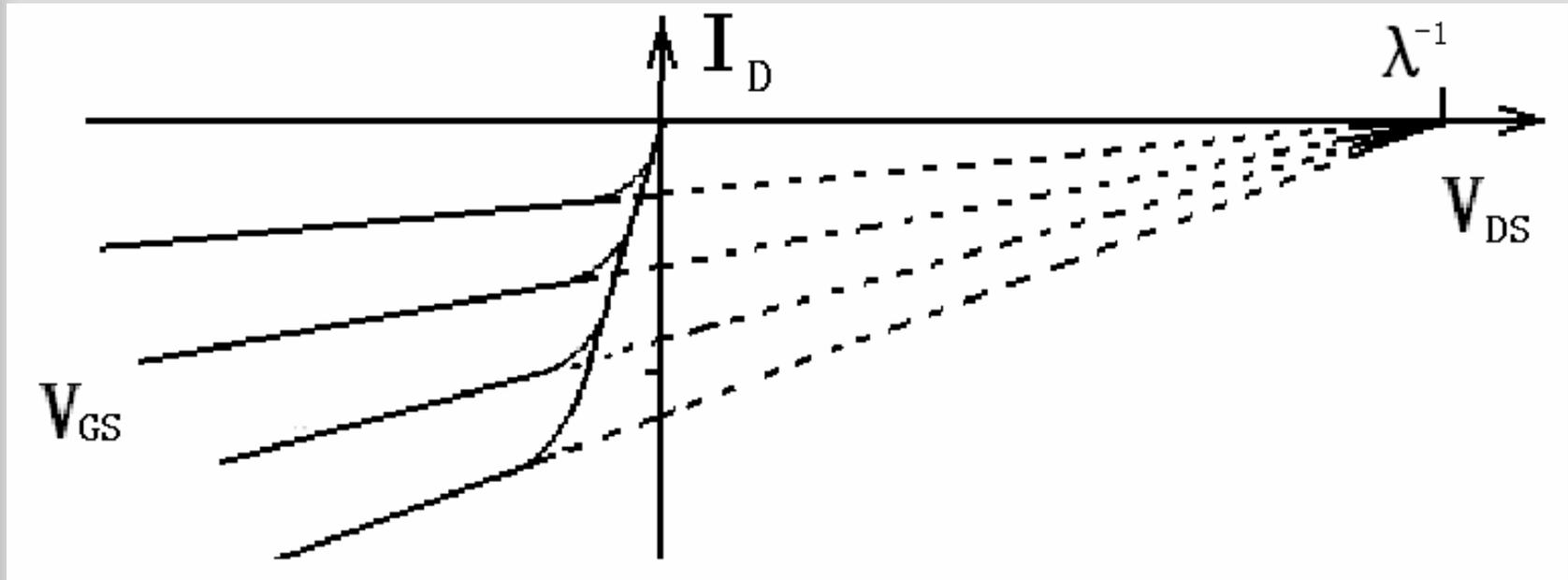
$$R_{DS} = \frac{V_{DS}}{I_D} = \left[ -\frac{2I_{DSS}}{V_P} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) \right]^{-1}$$

对于临界夹断条件为：  $V_{DS} = V_{GS} - V_P$

$$\therefore I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

考虑到沟道长度的调变效应，在恒流区：

$$\therefore I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 (1 + |\lambda V_{DS}|)$$



$I_{DSS}$  是  $V_{GS} = 0$  时夹断区的漏极电流

JFET 的  $\lambda$  约为  $0.02/V \sim 0.01/V$

例 N沟道JFET的 $V_P=-3V$ ， $I_{DSS}=10mA$ ，判断处在什么区？

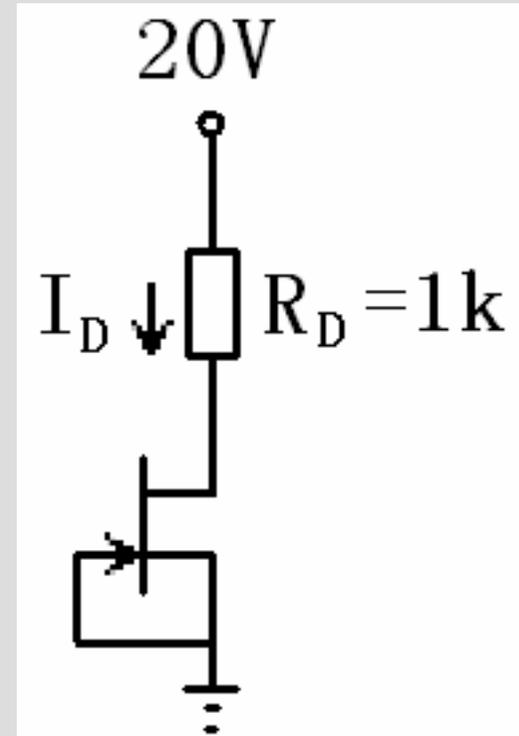
$$\begin{aligned}\therefore I_D \Big|_{V_{GS}=0} &= I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 \Big|_{V_{GS}=0} \\ &= I_{DSS} = 10mA\end{aligned}$$

$$\therefore V_D = 20 - I_D R_D = 10V$$

$$V_{DS} = 10V > V_{GS} - V_P = 3V$$

$$\therefore V_{GS} > V_P$$

恒流区



例 N沟道JFET的 $V_P=-2V$ ,  
 $I_{DSS}=4mA$ , 判断处在什么区?

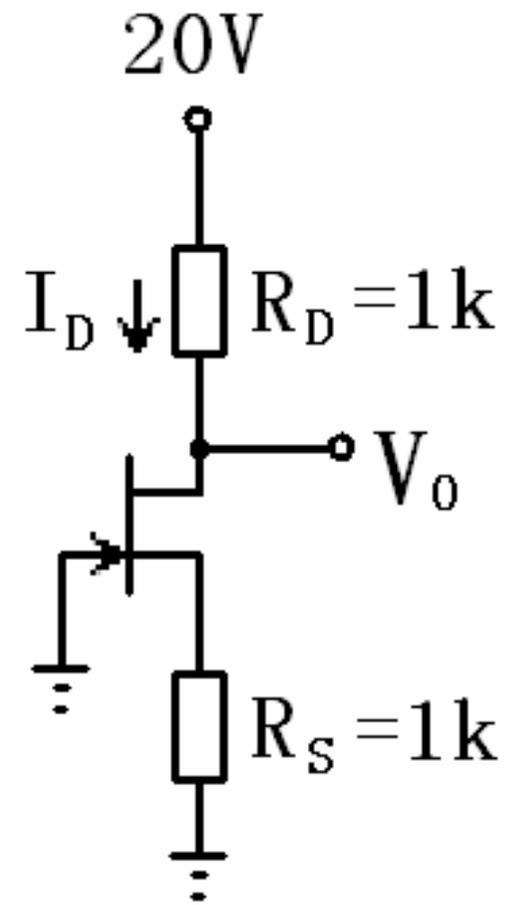
设为恒流区

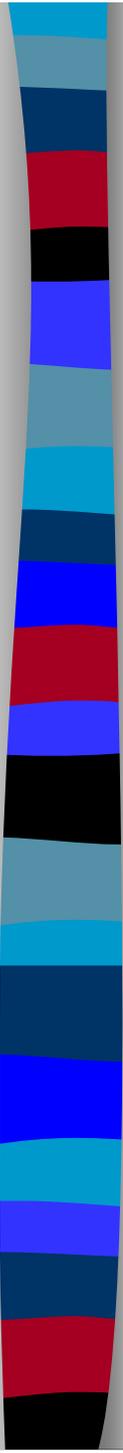
$$V_{GS} = -I_D R_S$$

$$\therefore I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = 4 \left(1 - \frac{1}{2} I_D\right)^2$$

$$I_{D1} = 4mA; \quad I_{D2} = 1mA$$

$$I_D = I_{D1} = 4mA \quad \text{不合理}$$





取  $I_D = I_{D2} = 1\text{mA}$

$$\therefore V_D = 20 - I_D R_D = 10\text{V}$$

$$V_S = I_D R_S = 1\text{V}$$

$$\therefore V_{DS} = 9\text{V}$$

$$V_{GS} - V_P = -1 + 2 = 1\text{V} < V_{DS}$$

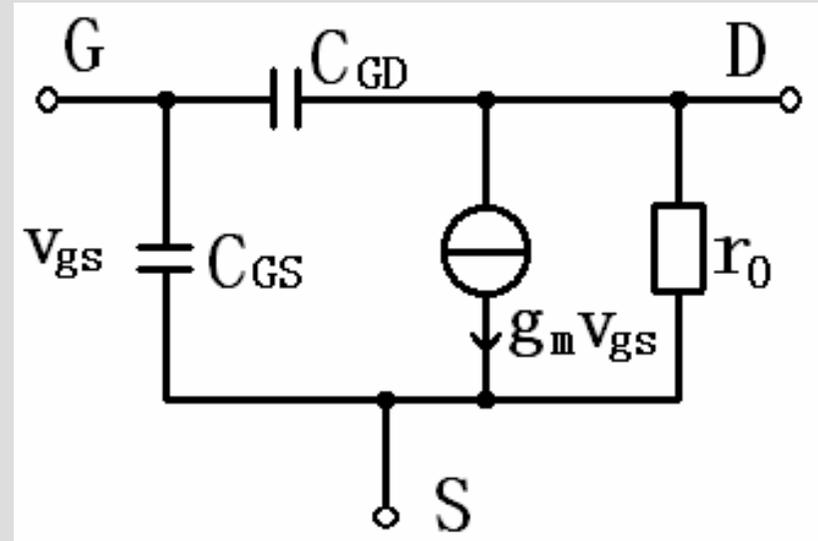
$$V_{GS} = -1 > V_P = -2\text{V}$$

与假设一致

故为恒流区

## 2、交流小信号模型

电压控制电流源



$$\begin{aligned} g_m &= \frac{dI_D}{dV_{GS}} = \frac{-2I_{DSS}}{V_P} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right) \\ &= -\frac{2I_{DSS}}{V_P} \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} = g_{m0} \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}} \end{aligned}$$

跨导表征栅压对漏极电流的控制能力。

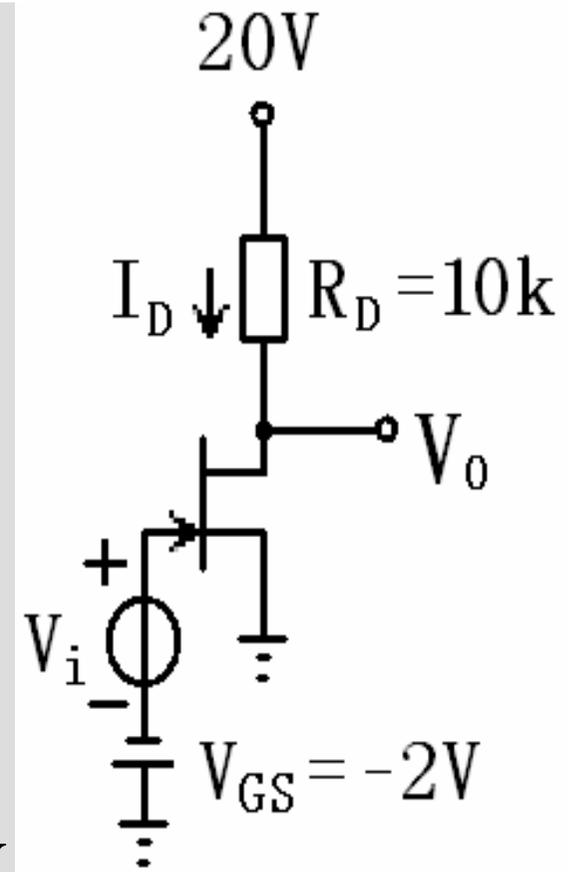
例 N沟道JFET的 $V_P=-3V$ ,  
 $I_{DSS}=9mA$ ,  $r_o=\infty$ , 设工作在恒  
 流区, 求跨导 $g_m$ , 当 $V_i$ 变化  
 0.1V时,  $V_o$ 的变化是多少?

$$g_m = \frac{dI_D}{dV_{GS}} = \frac{-2I_{DSS}}{V_P} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)$$

$$\therefore g_m = \frac{-2 \times 9}{-3} \left( 1 - \frac{-2}{-3} \right) = 2mA/V$$

$$\Delta V_i = 0.1V, \quad g_m \Delta V_i = 0.2mA$$

$$\therefore \Delta V_o = 0.2mA \times 10k\Omega = 2V$$



## 4.2. 绝缘栅场效应三极管

绝缘栅型场效应管 (Metal Oxide\_Semiconductor FET), 简称**MOSFET**。分为:

增强型 → N沟道、P沟道

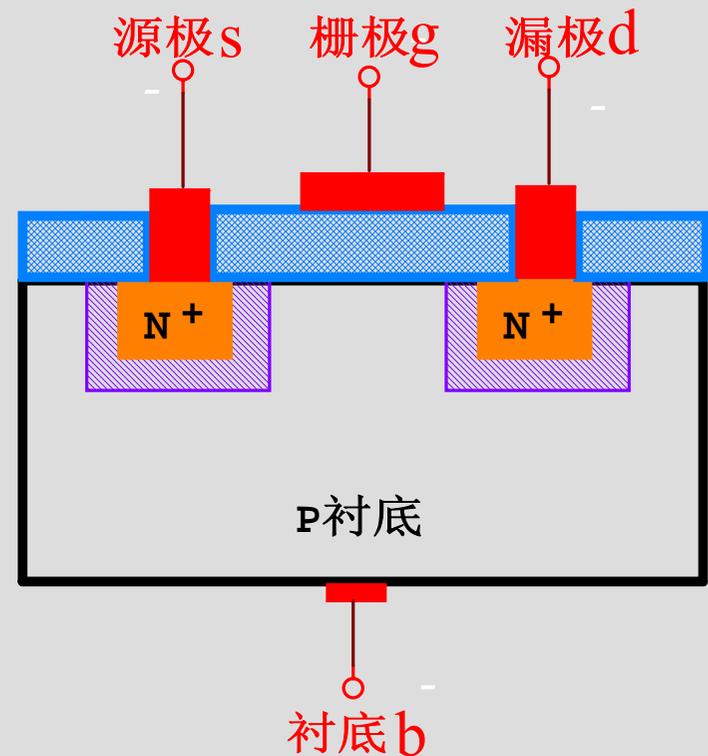
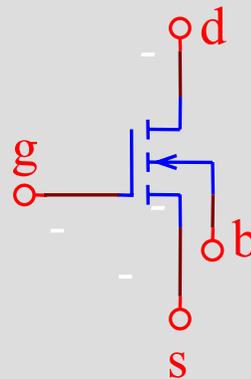
耗尽型 → N沟道、P沟道

### 一、N沟道增强型MOS管

#### 1、结构

4个电极: 漏极D, 源极S, 栅极G和衬底B。

符号:



## 2、工作原理

### ①栅源电压 $u_{GS}$ 的控制作用

当 $u_{GS}=0V$ 时，漏源之间相当两个背靠背的二极管，在d、s之间加上电压也不会形成电流，即管子截止。

当 $u_{GS}>0V$ 时→纵向电场

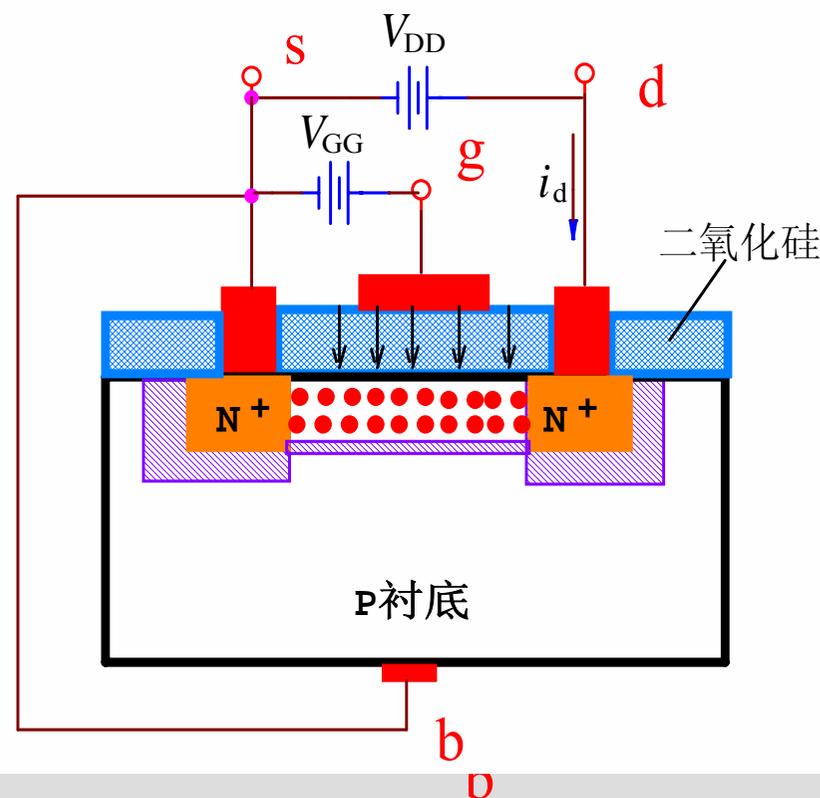
→将靠近栅极下方的空穴向下排斥→耗尽层。

再增加 $u_{GS}$ →纵向电场↑

→将P区少数电子聚集到

P区表面→形成导电沟道，

如果此时加有漏源电压，就可以形成漏极电流 $i_d$ 。



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/17510113300011123>