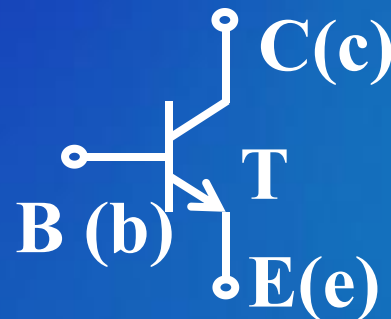


3 场效应晶体管及其放大电路

总结：三极管的主要特点：

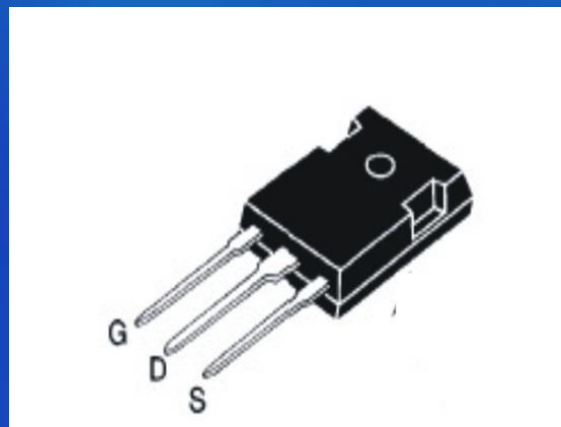
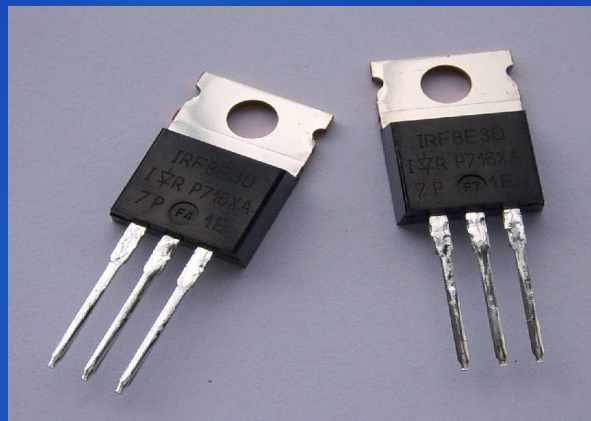
1. 电流控制型器件。
2. 输入电流大，输入电阻小。
3. 两种极型的载流子都参与导电，又称为**双极型晶体管**，简称**BJT**（Bipolar Junction Transistor）。



肖克利1949 年提出了结型晶体管概念
(sandwich transistor)

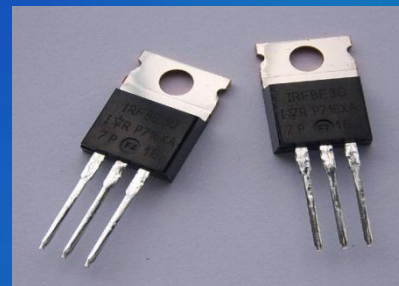
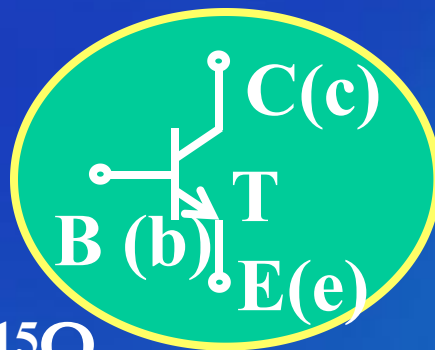


场效应管图片



场效应管，简称FET(Field Effect Transistor)，其主要特点：**电压控制电流源**

与三极管对比：



(a) 输入电阻高，可达 $10^7 \sim 10^{15} \Omega$ 。

(b) 起导电作用的是多数（一种）载流子，又称为**单极型晶体管**。

(c) 体积小、重量轻、耗电省、寿命长。

(d) 噪声低、热稳定性好、抗辐射能力强和制造工艺简单。

(e) 在大规模集成电路制造中得到了广泛的应用。

场效应管的类型：

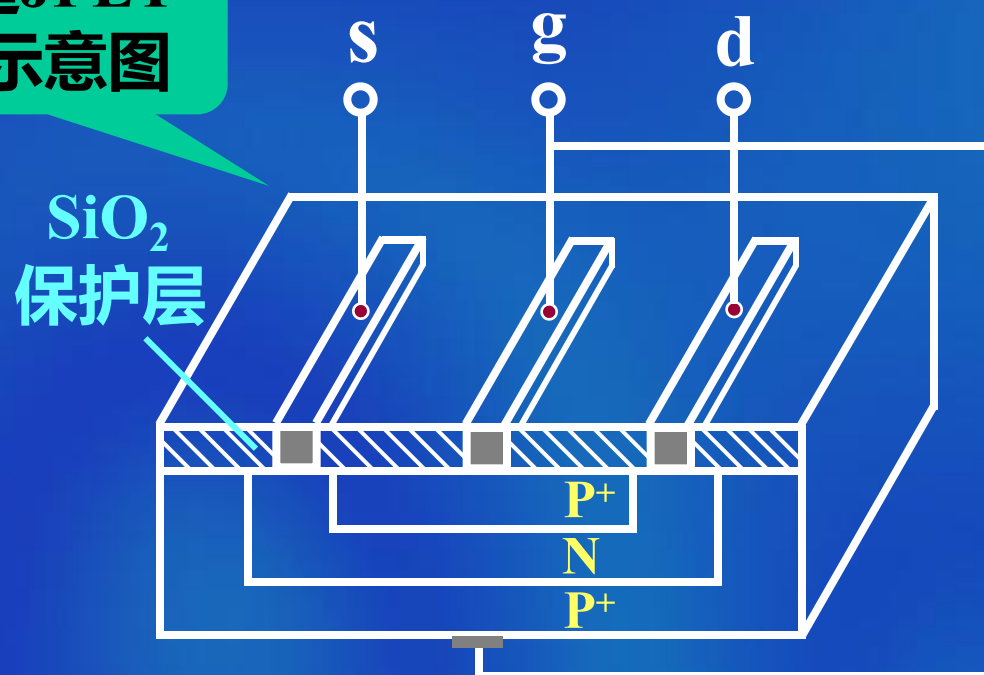
场效应管按结构可分为：

1. 结型场效应管，简称**JFET** (Junction Field Effect Transistor)
2. 绝缘栅型场效应管，简称**IGFET** (Isolated Gate Field Effect Transistor)

3.1 结型场效应管

3.1.1 结型场效应管的结构和类型

N沟道JFET
结构示意图



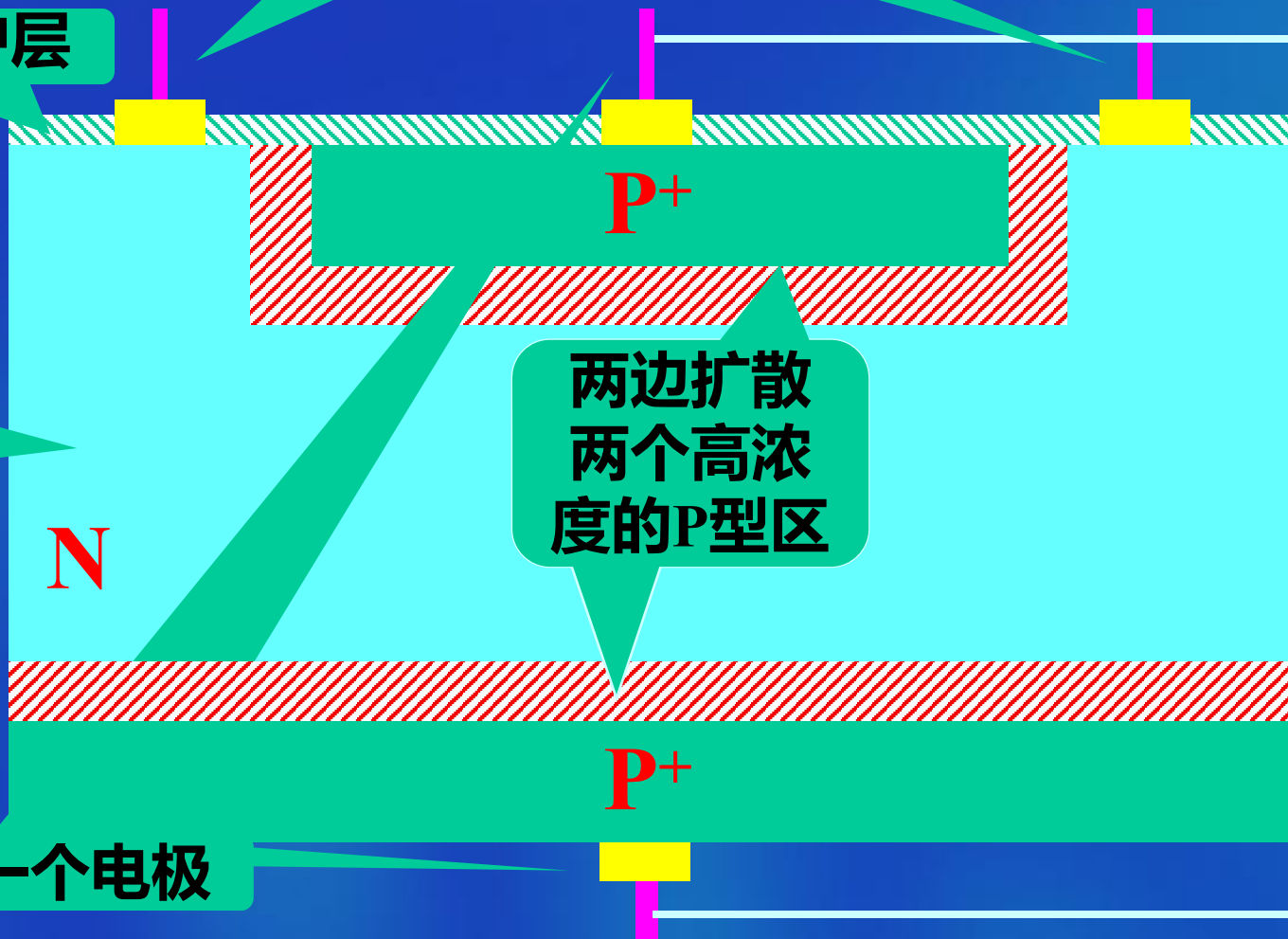
左右各引出一个电极

形成 SiO_2 保护层

以N型半导体作衬底

两边扩散
两个高浓
度的P型区

两边个引出一个电极



源极S (source)

栅极G (gate)

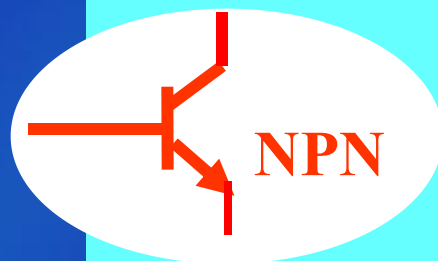
漏极D (drine)

称为N沟
道JFET

符号



箭头表示PN结方向 ($P \rightarrow N$)



N型导电沟道

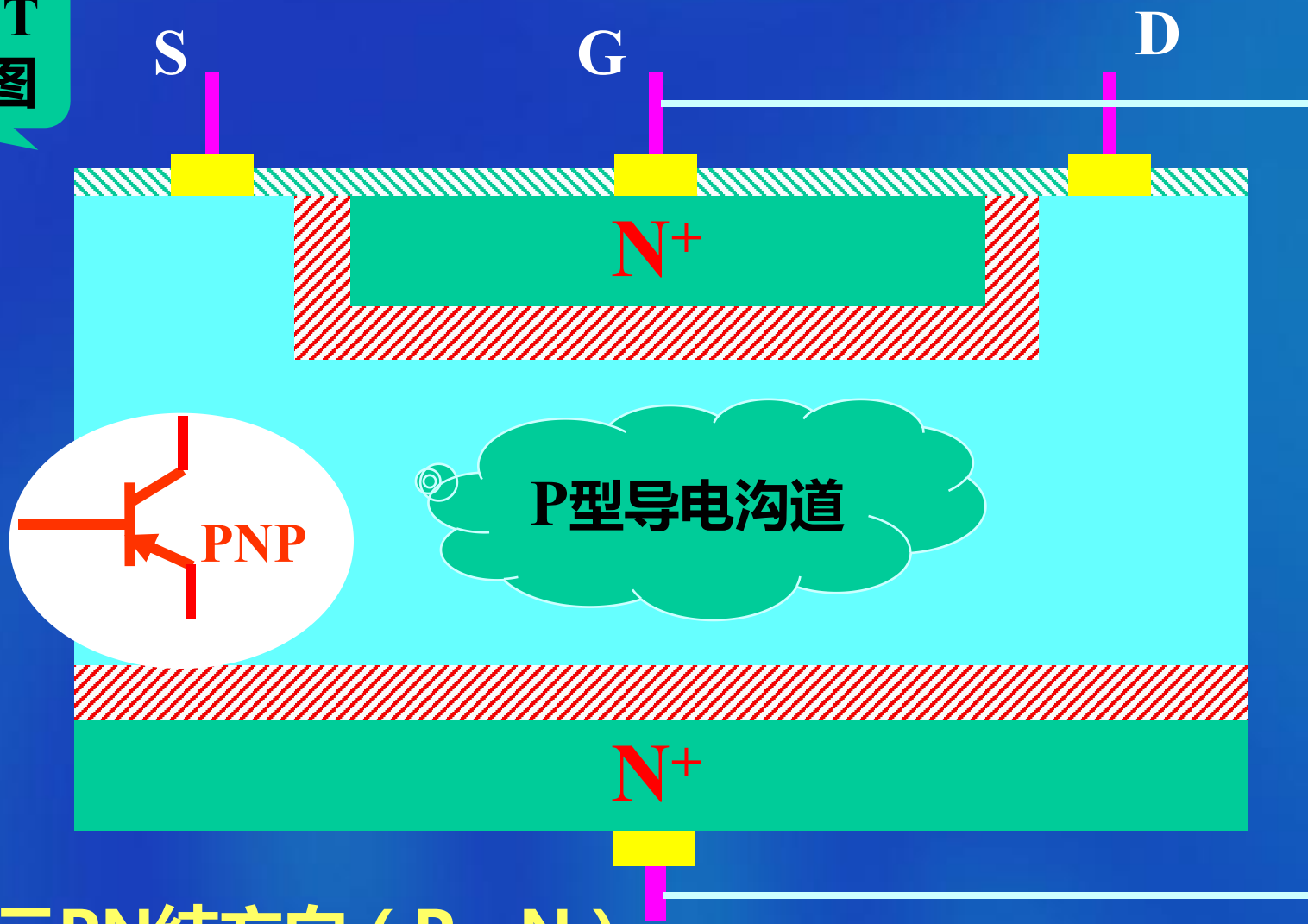


P沟道JFET 结构示意图

符号



箭头表示PN结方向 (P→N)



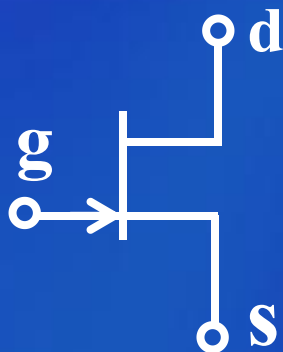
结型场效应管分

N沟道结型场效应管

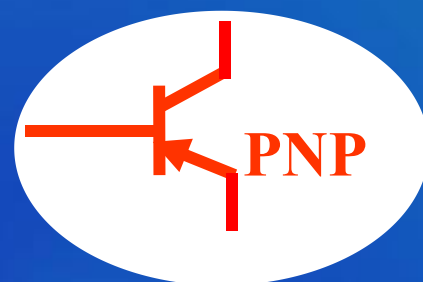
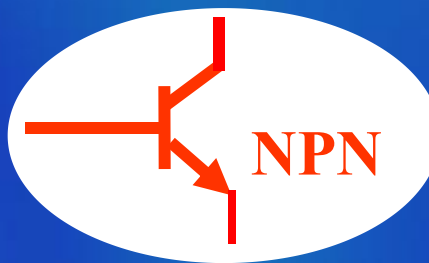
P沟道结型场效应管

N沟道JFET

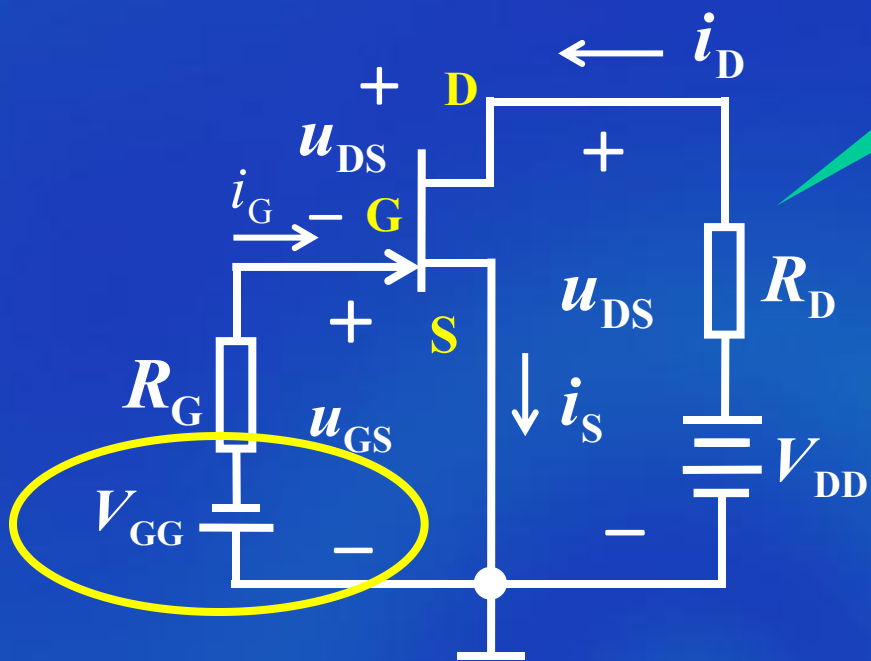
P沟道JFET



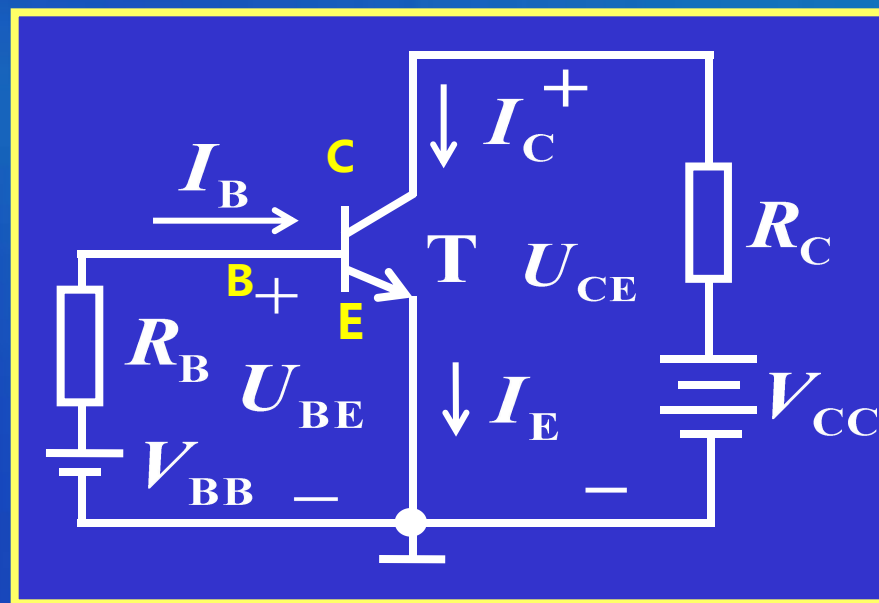
类 似



3.1.2 结型场效应管的工作原理



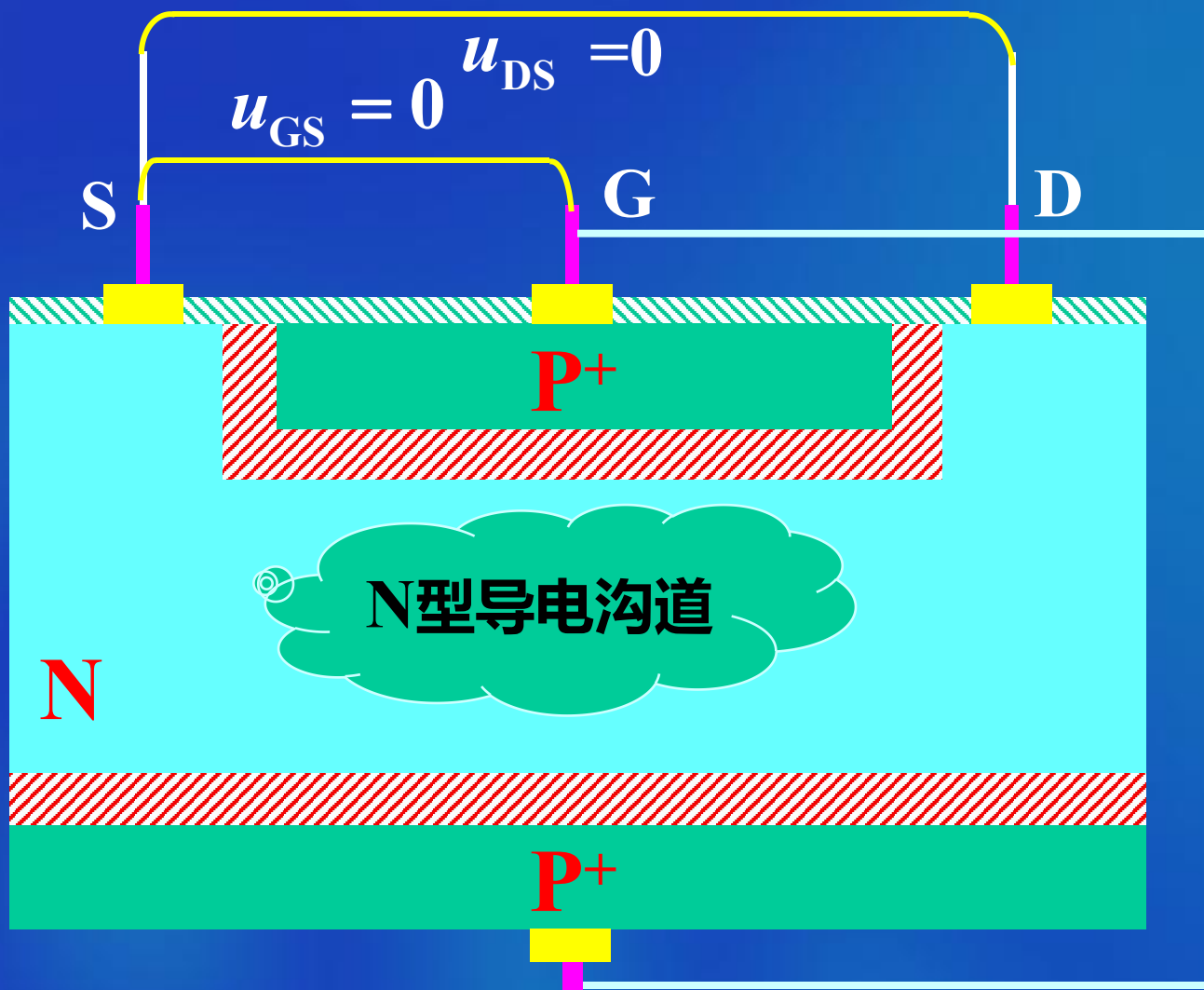
电路图



1. $u_{DS}=0$ 时, u_{GS} 对沟道的控制作用

a. 当 $u_{GS}=0$ 时

沟道无变化



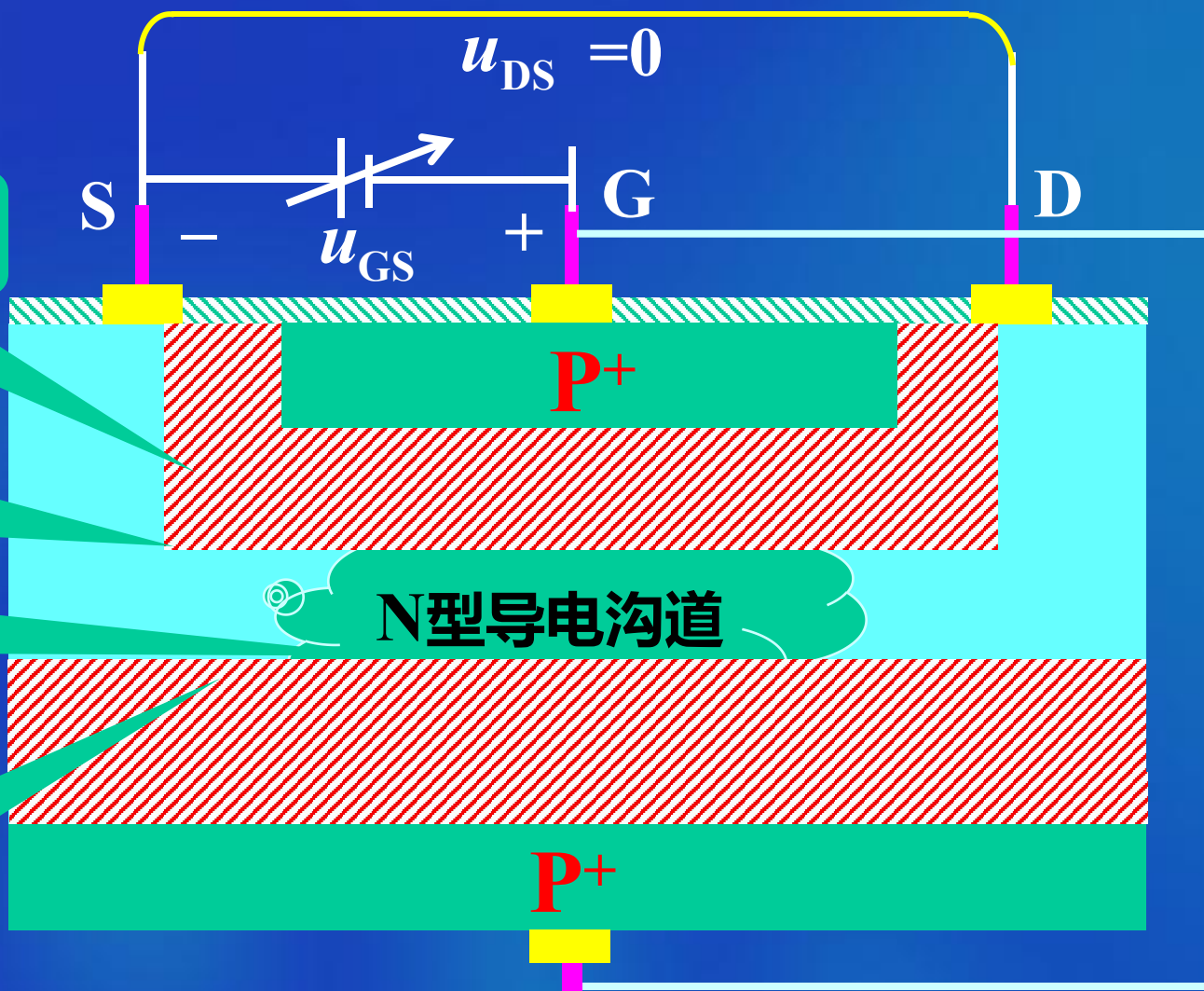
b. $U_{GS(off)} < u_{GS} < 0$

(a) PN结加宽

(b) PN结主要
向N区扩展

(c) 导电沟道
变窄

(c) 导电沟
道电阻增大



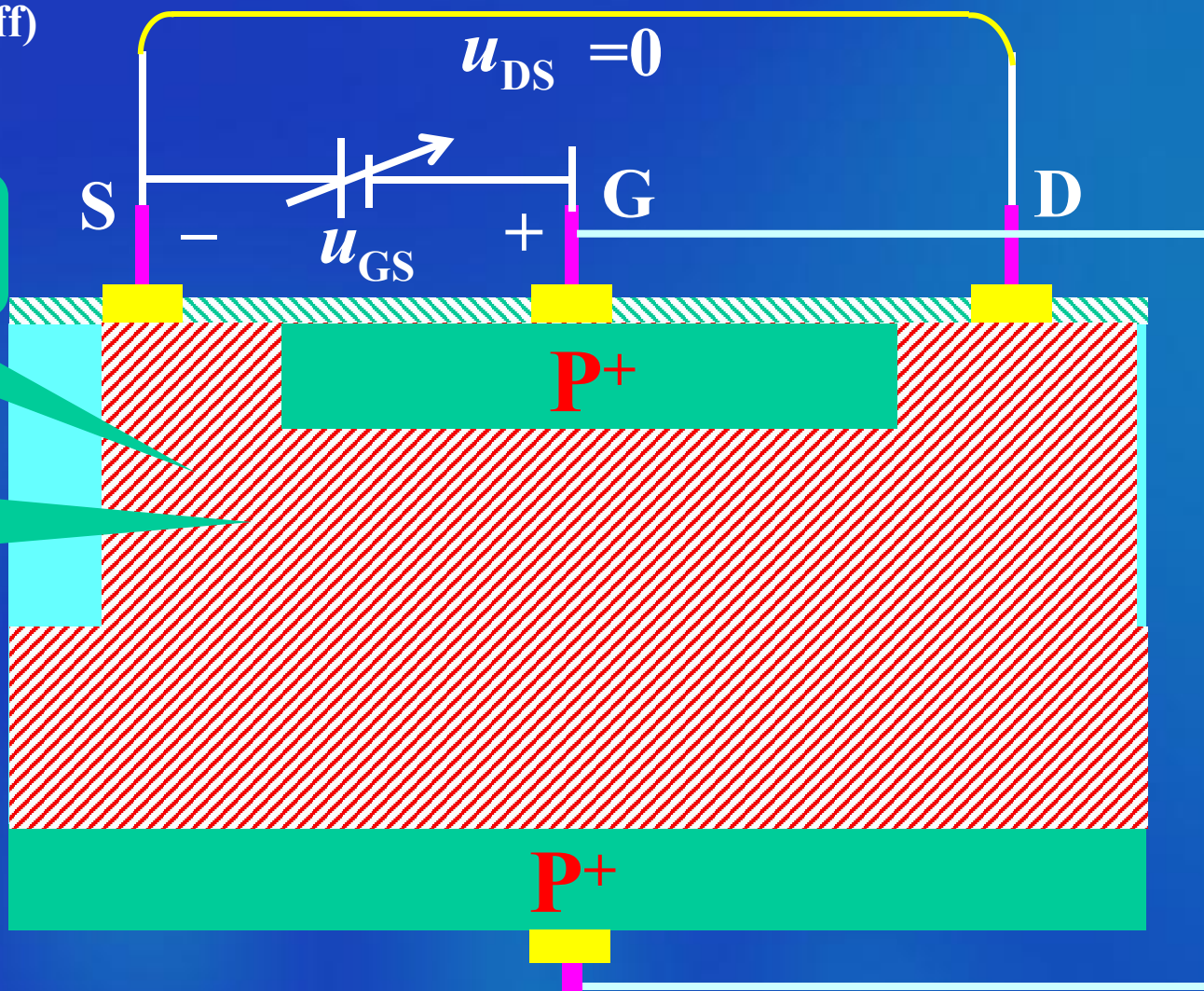
c . $0 > u_{GS} = U_{GS(off)}$

(a) PN结合拢

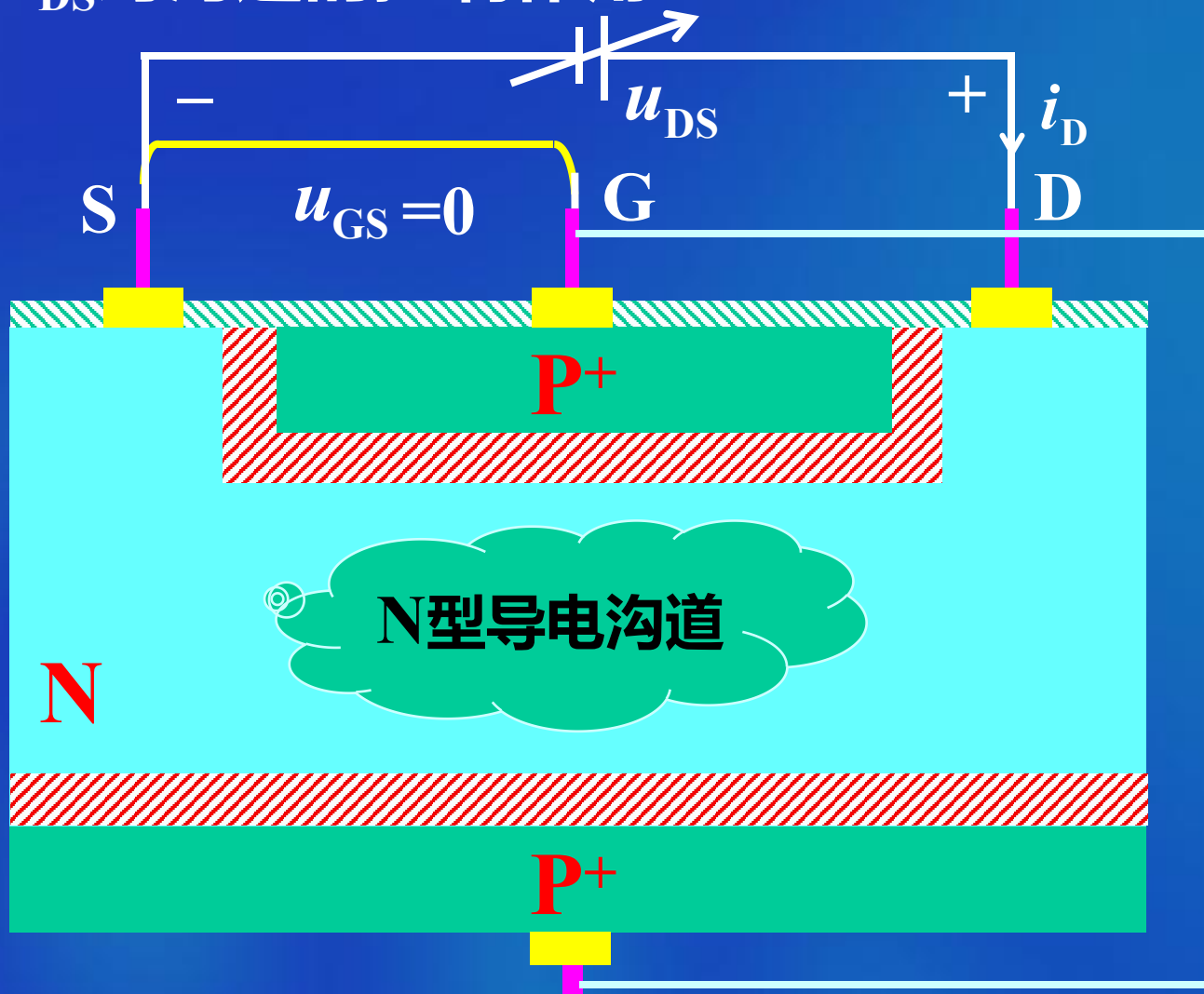
(b) 导电沟道
夹断

$U_{GS(off)}$ ———

栅源截止电压
或夹断电压



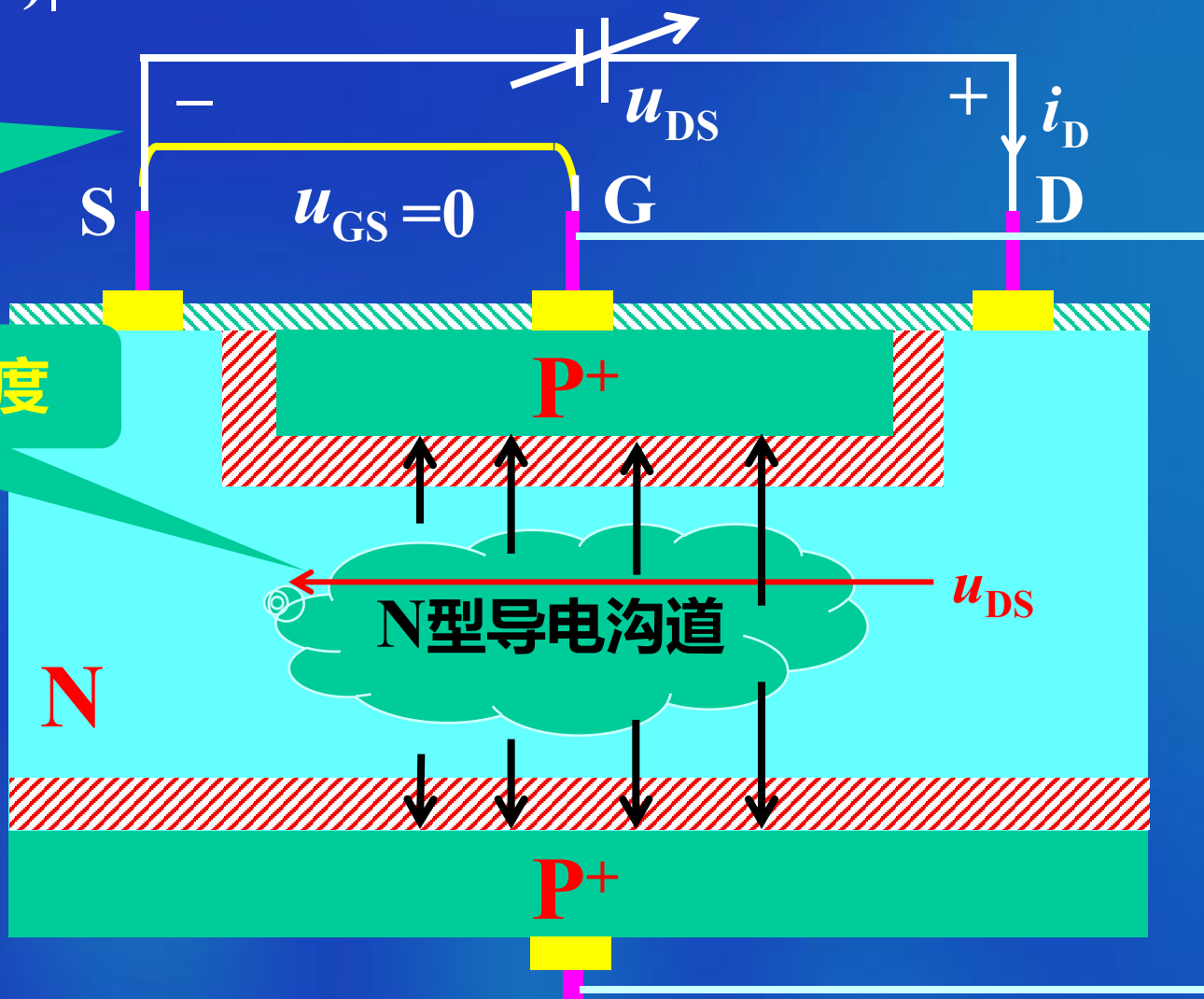
2. 当 $u_{GS}=0$ 时, u_{DS} 对沟道的控制作用



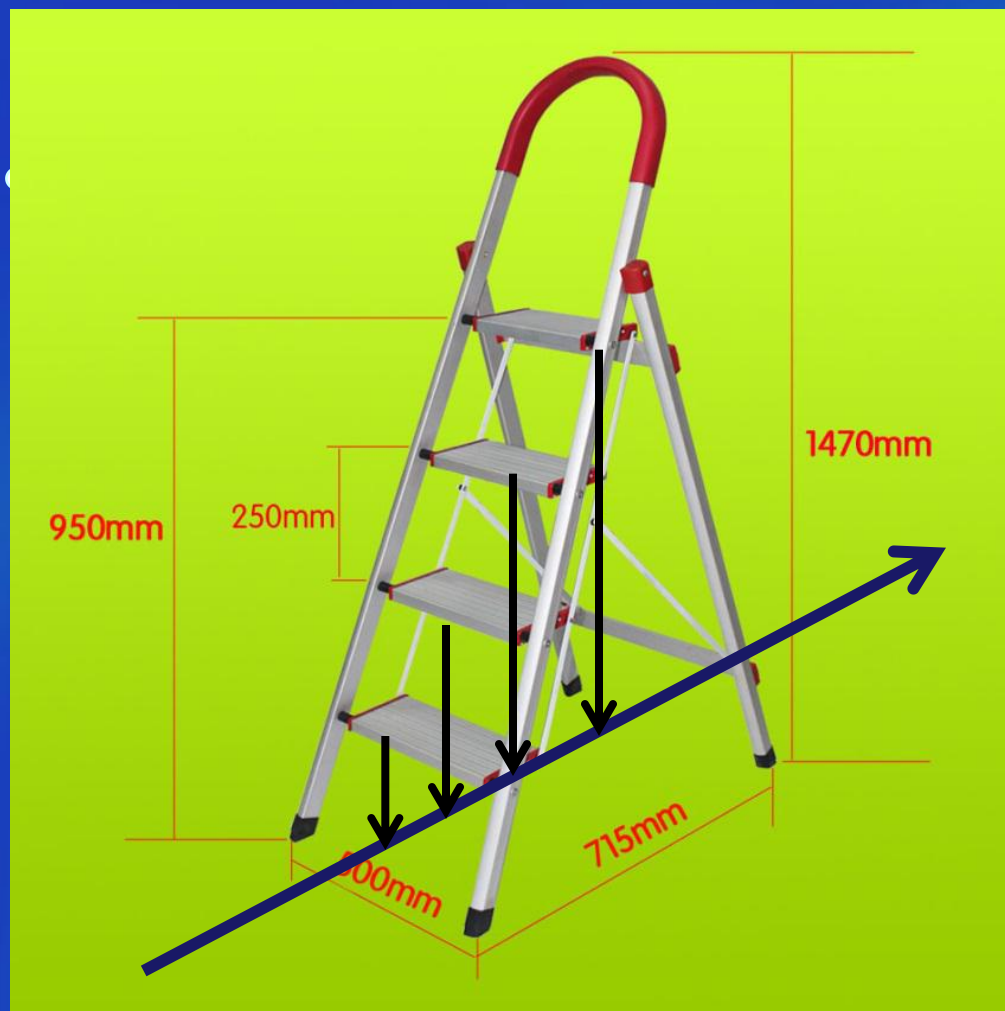
a . $0 < u_{DS} < |U_{GS(off)}|$

(a) 漏极电流 $i_D \neq 0$
 u_{DS} 增大, i_D 增大。

(b) 沿沟道有电位梯度



梯度？



上页

下页

后退

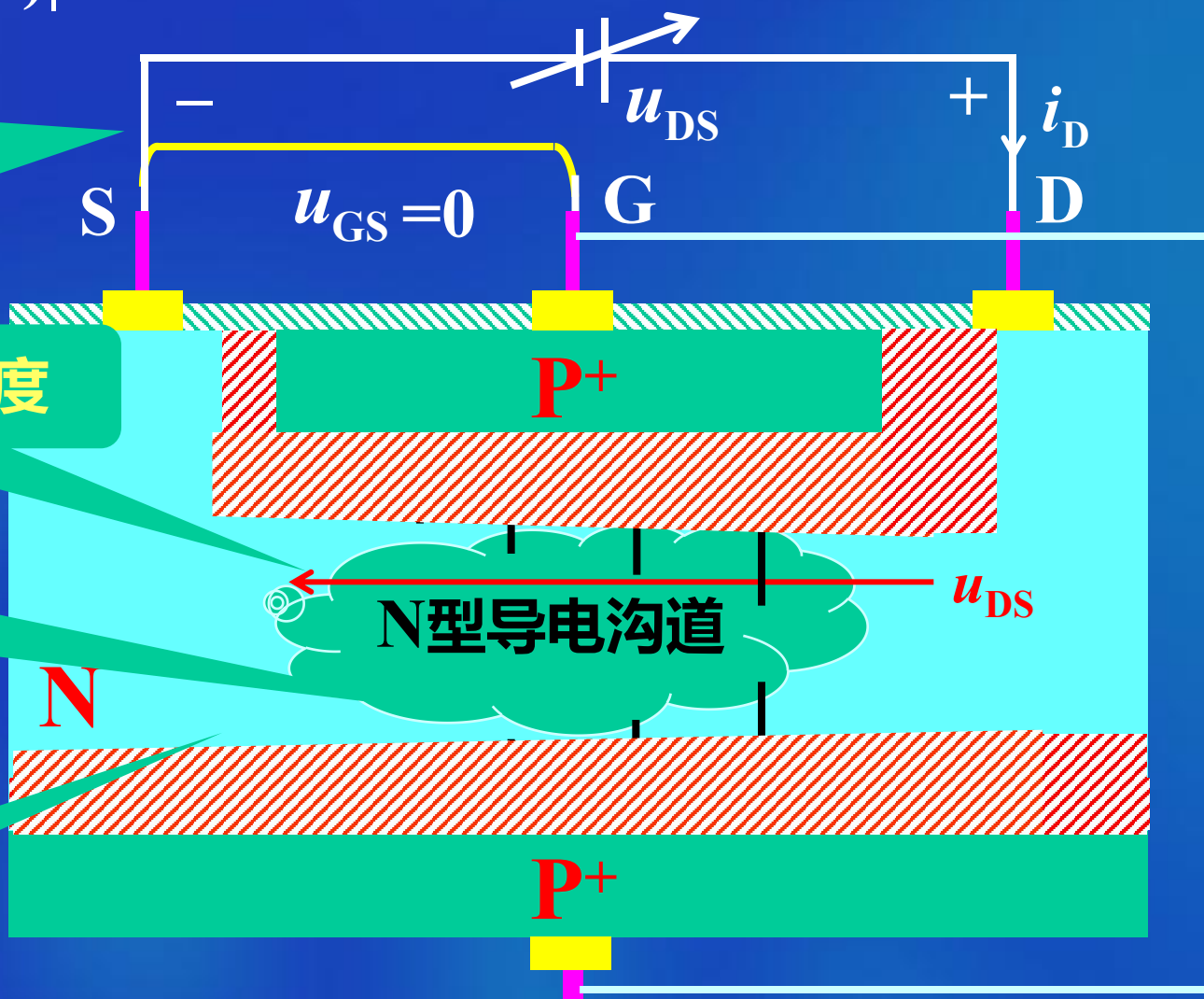
a . $0 < u_{DS} < |U_{GS}(\text{off})|$

(a) 漏极电流 $i_D \neq 0$
 u_{DS} 增大, i_D 增大。

(b) 沿沟道有**电位梯度**

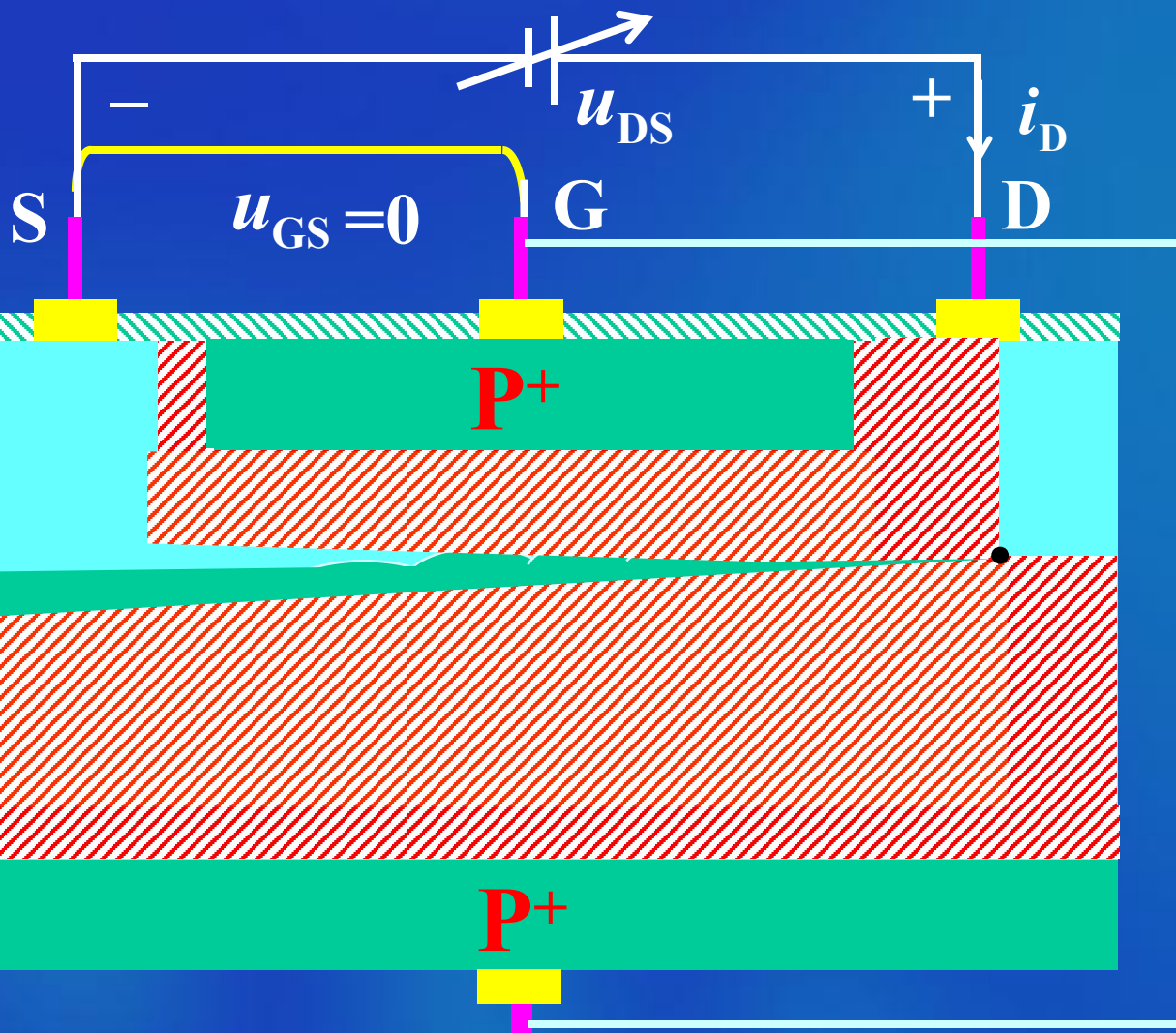
(c) 沿沟道PN结
 反偏电压不同

(d) 沟道PN
 结呈楔形



b . $u_{DS}=|U_{GS(off)}|$

(a) i_D 达到最大值

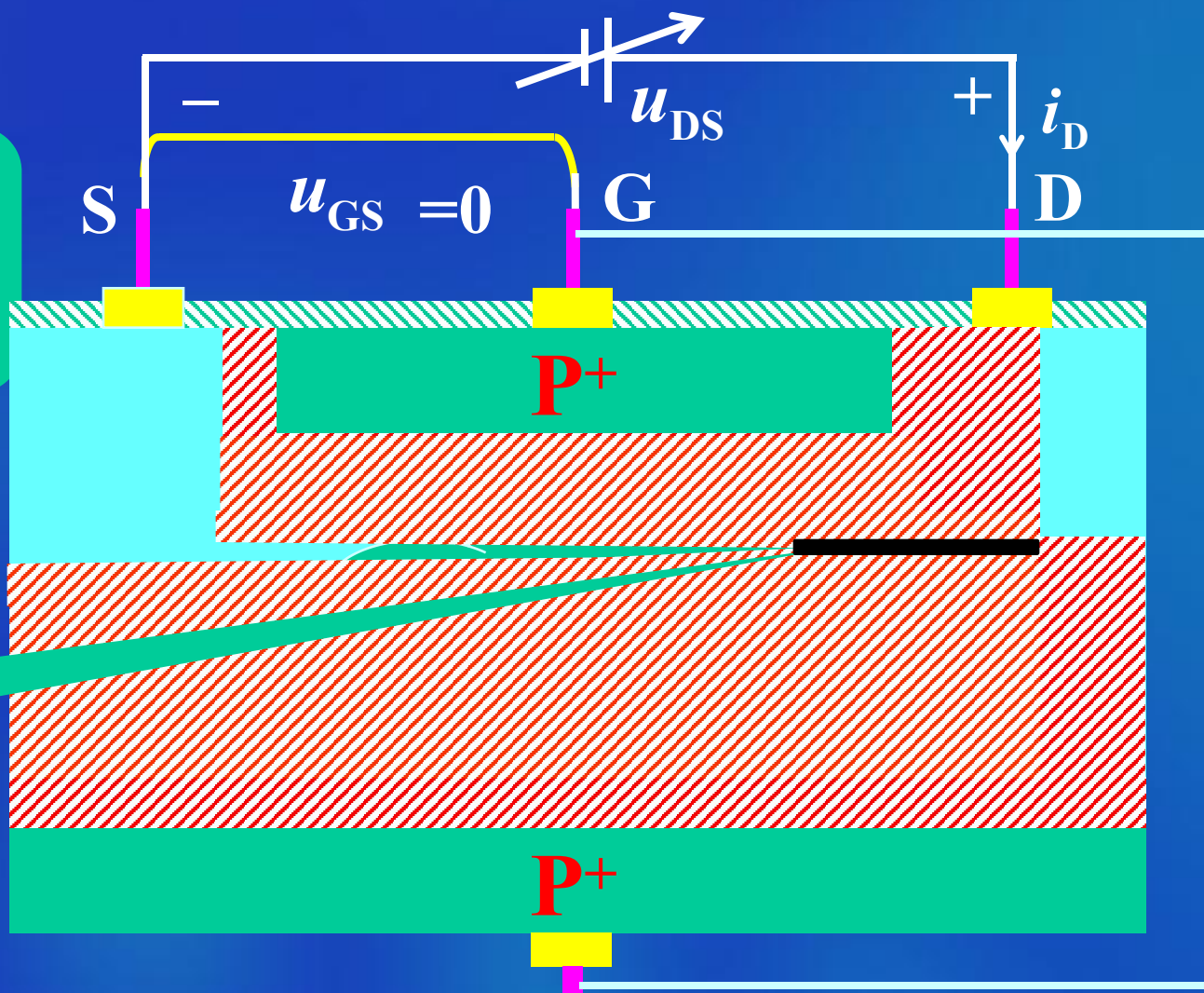


(b) 沟道点夹断(预夹断)

c. $u_{DS} > |U_{GS}(\text{off})|$

(a) i_D 达到最大值
几乎不随 u_{DS} 的增
大而变化

(b) 沟道夹
断区延长



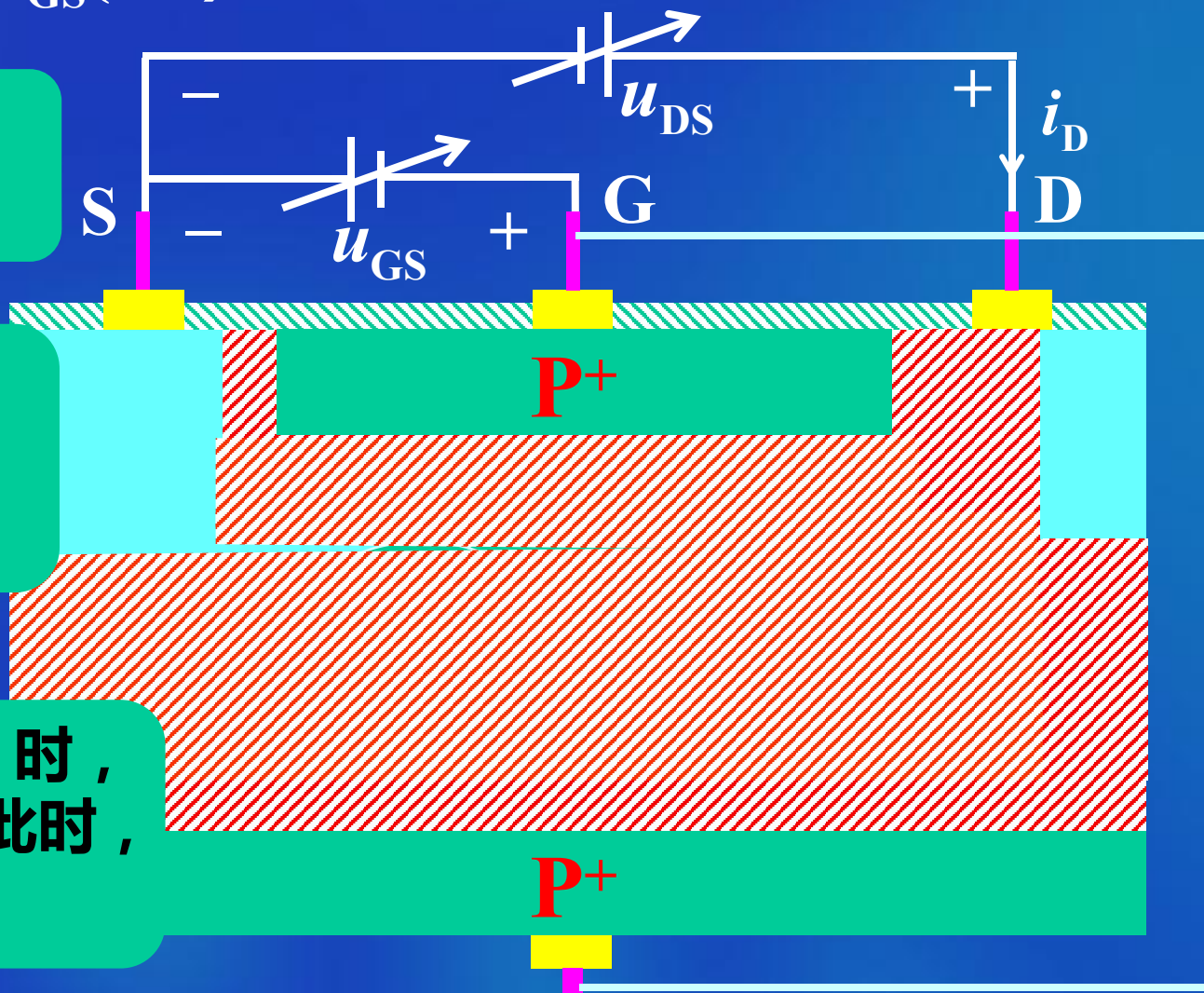
3. 当 $u_{DS} \geq 0$ 时, $u_{GS} (\leq 0)$ 对沟道的控制作用

a. u_{DS} 和 u_{GS} 将一起改变沟道的宽度

b. PN结在漏极端的反偏电压最大。

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

c. 当 $u_{DG} = |U_{GS(off)}|$ 时, 沟道出现预夹断。此时, $u_{DS} = |U_{GS(off)}| + u_{GS}$



小结：

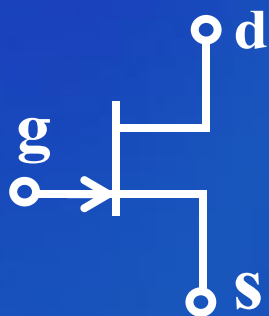
(1) JFET是**利用** u_{GS} 所产生的电场变化来**改变沟道电阻的大小**即利用电场效应控制沟道中流通的电流大小，因而称为**场效应管**。

(2) 场效应管为一个电压控制型的器件。

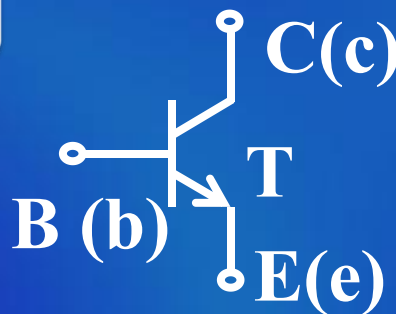
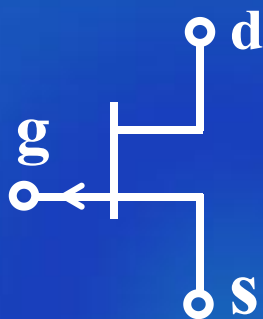
(3) 在N沟道JFET中, u_{GS} 和 $U_{GS(off)}$ 均为负值。

在P沟道JFET中, u_{GS} 和 $U_{GS(off)}$ 均为正值。

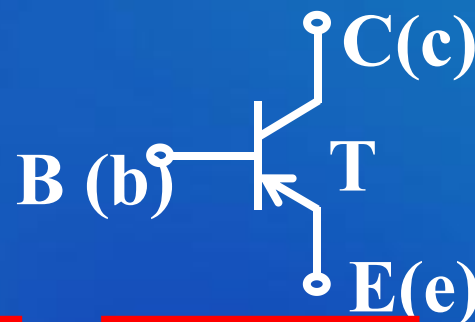
N沟道JFET



P沟道JFET

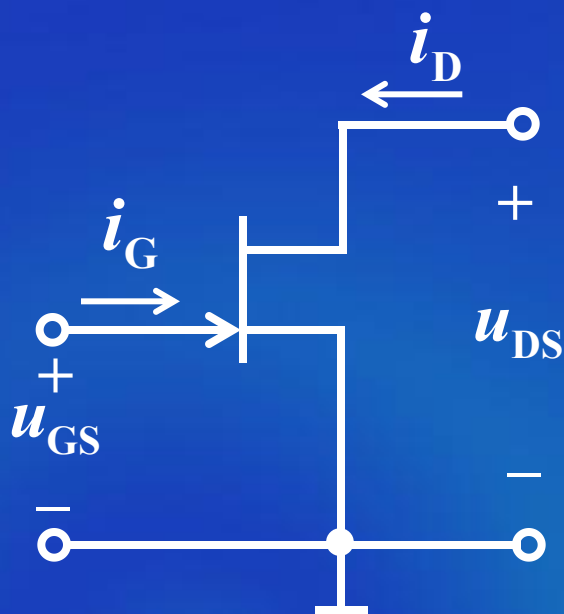


U_{BE} 为正



U_{BE} 为负

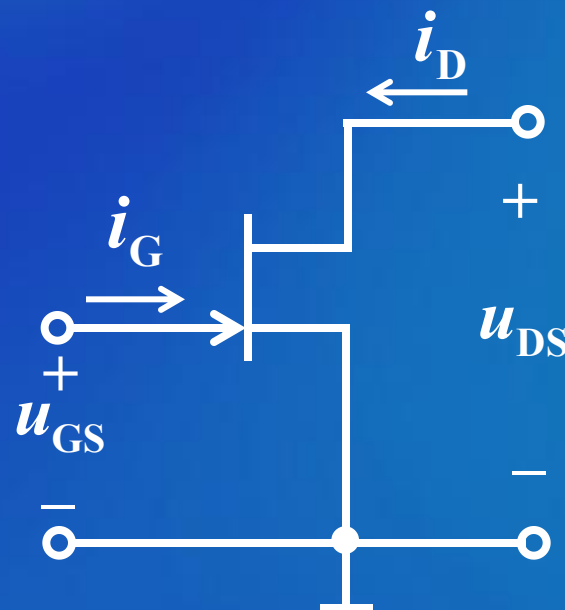
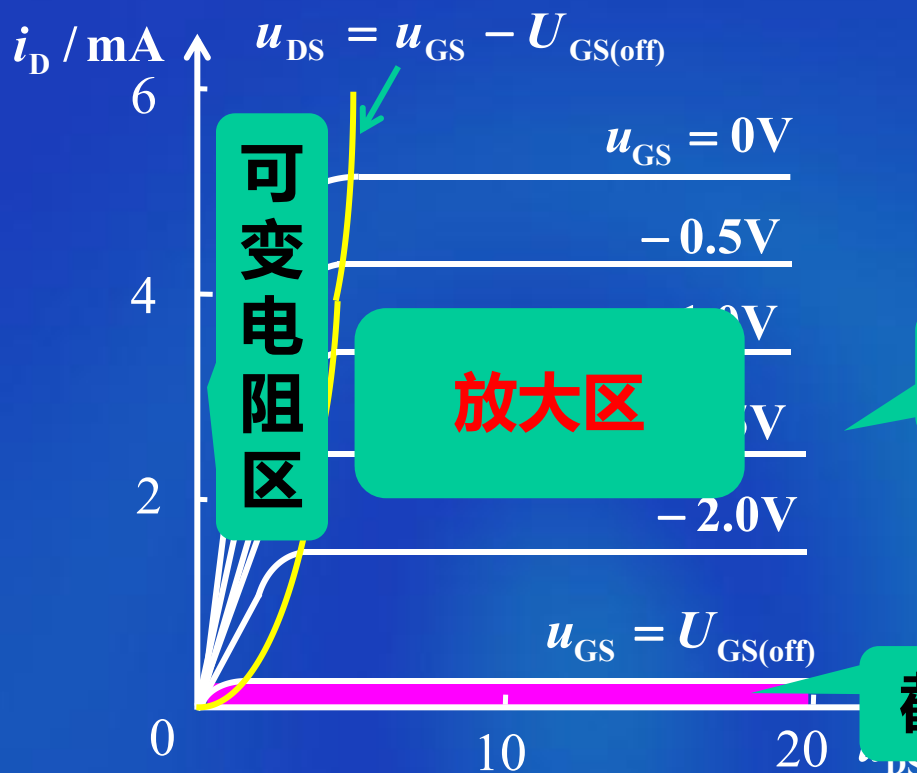
3.1.3 结型场效应管的伏安特性



在正常情况下, $i_G = 0$, 管子**无输入特性**。

1. 输出特性（漏极特性）

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



特性曲线

截止区

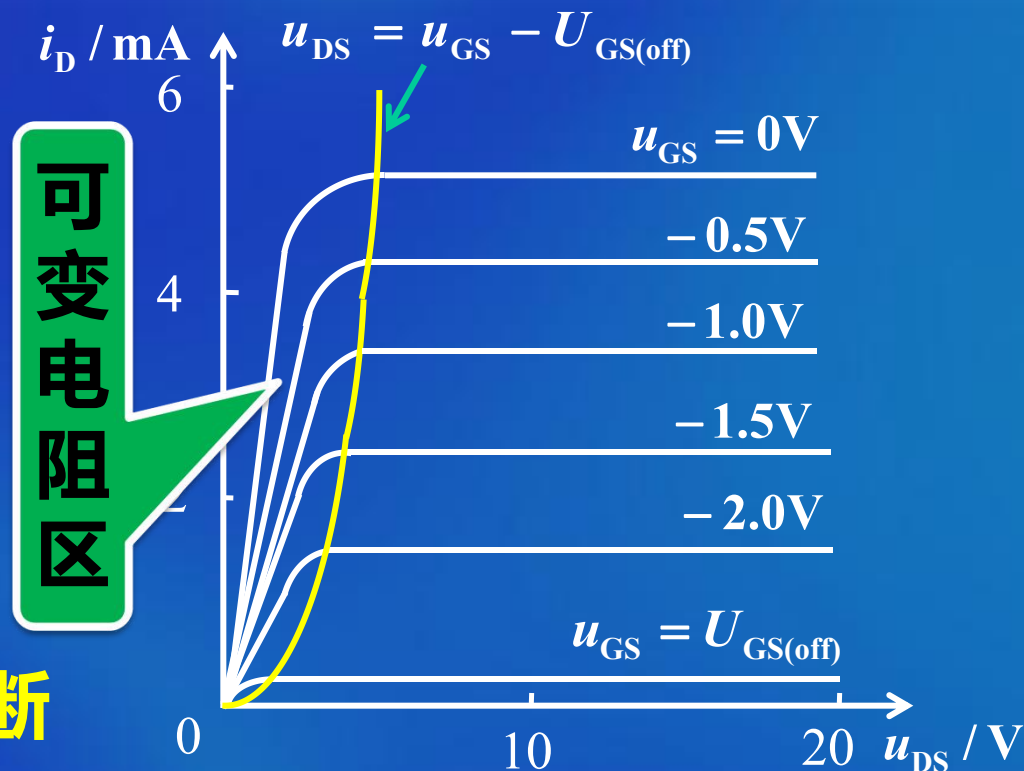
各区的特点：

(1) 可变电阻区

a. u_{DS} 较小，沟道尚未夹断

b. $u_{DS} < |U_{GS(off)}| + u_{GS}$

c. 管子相当于受 u_{GS} 控制的压控电阻



(2) 放大区

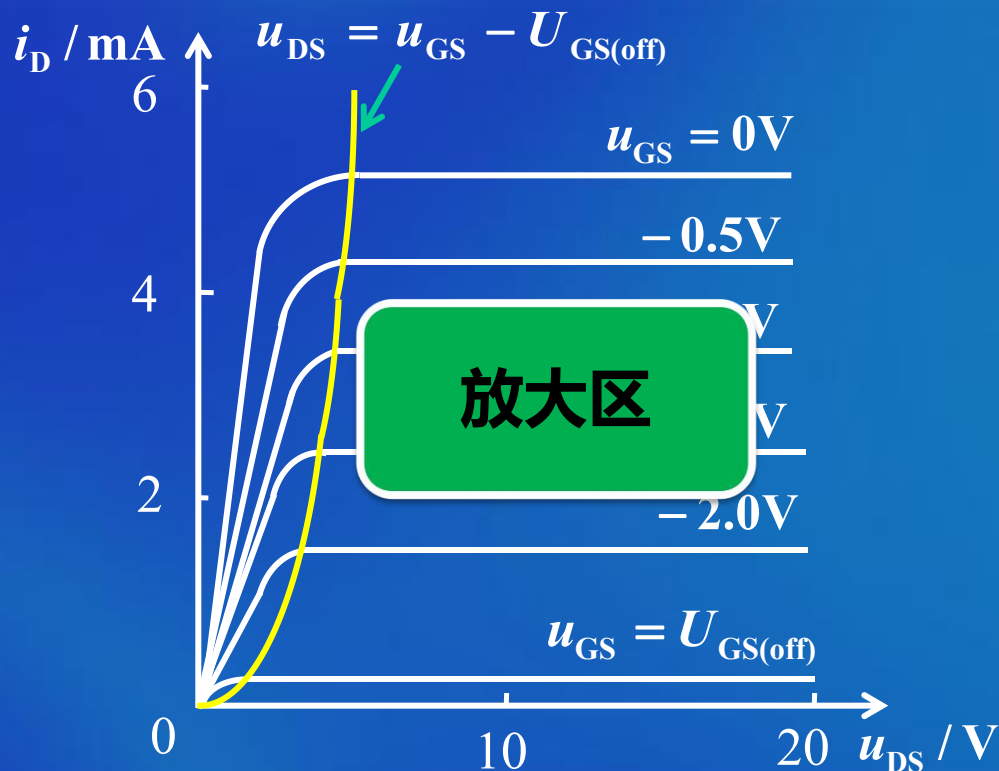
a. 沟道已预夹断或面夹断

b. $u_{DS} \geq |U_{GS(off)}| + u_{GS}$

c. i_D 几乎与 u_{DS} 无关。

d. i_D 只受 u_{GS} 的控制。

放大区也称为恒流区。

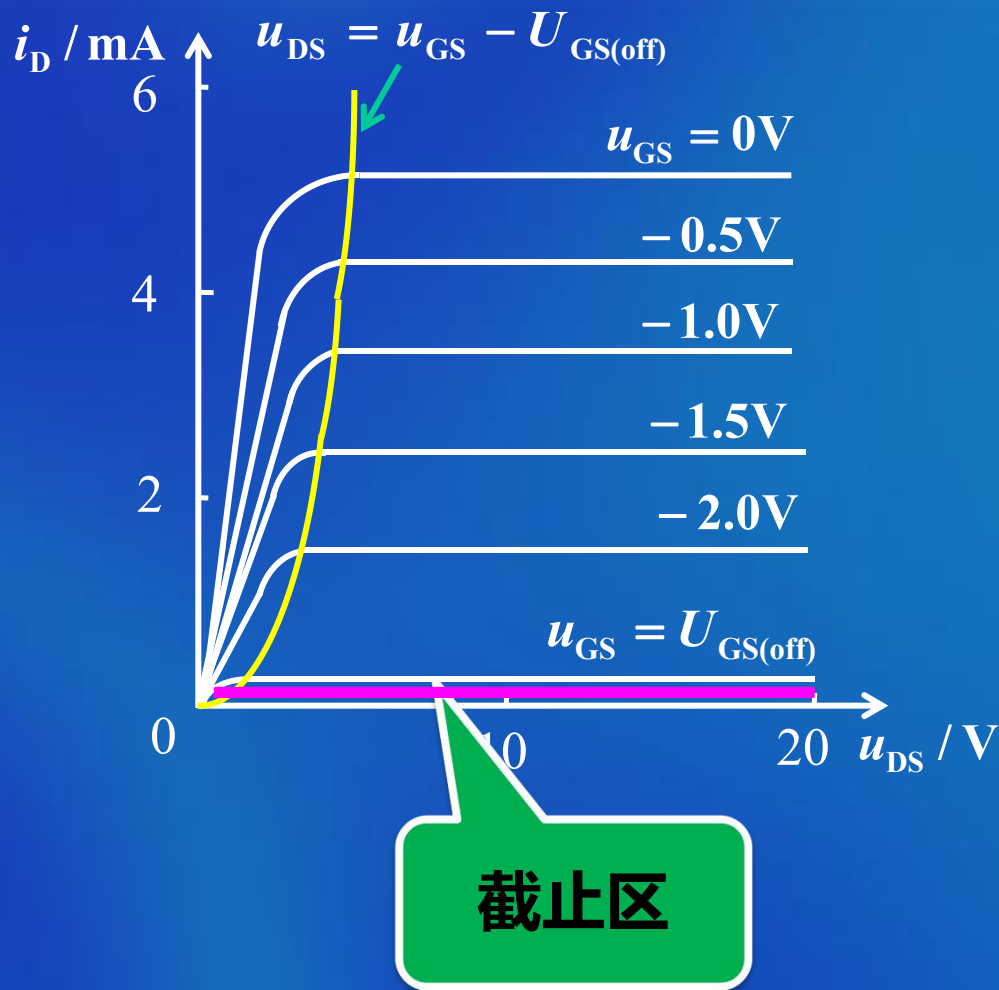


(3) 截止区

a. $u_{GS} < U_{GS(off)}$

b. 沟道完全夹断

c. $i_D \approx 0$



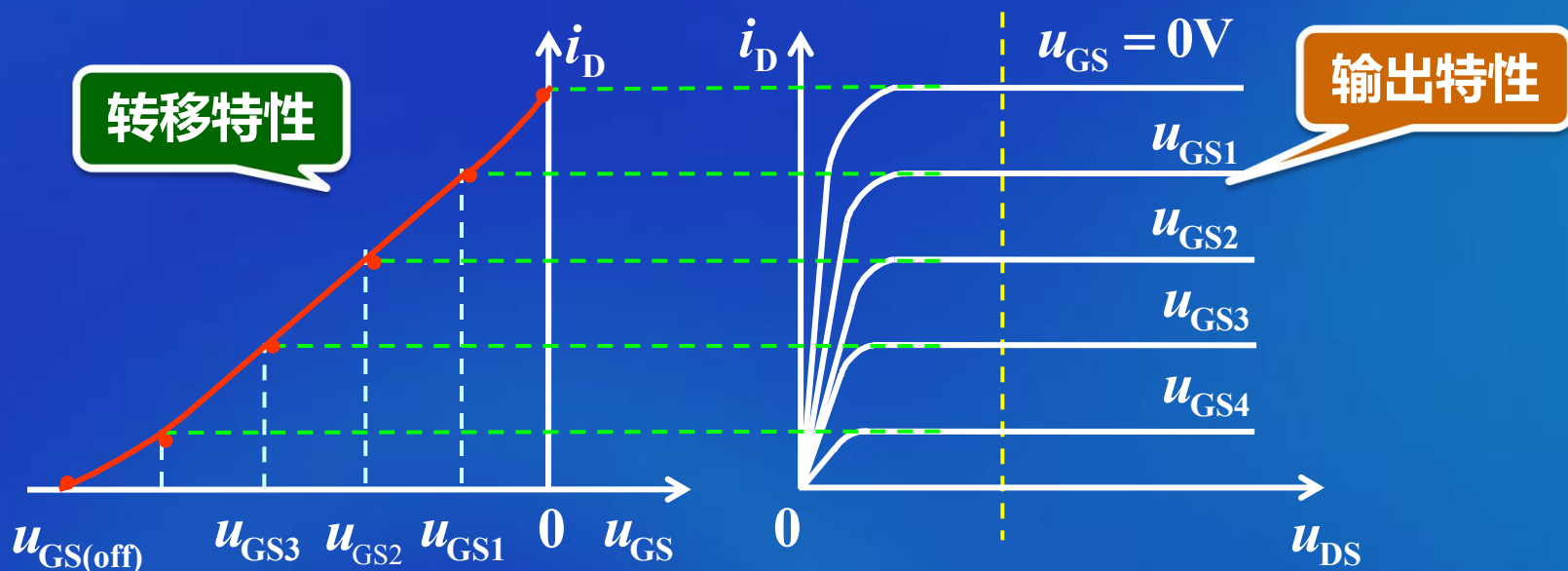
2 . 转移特性

定义

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

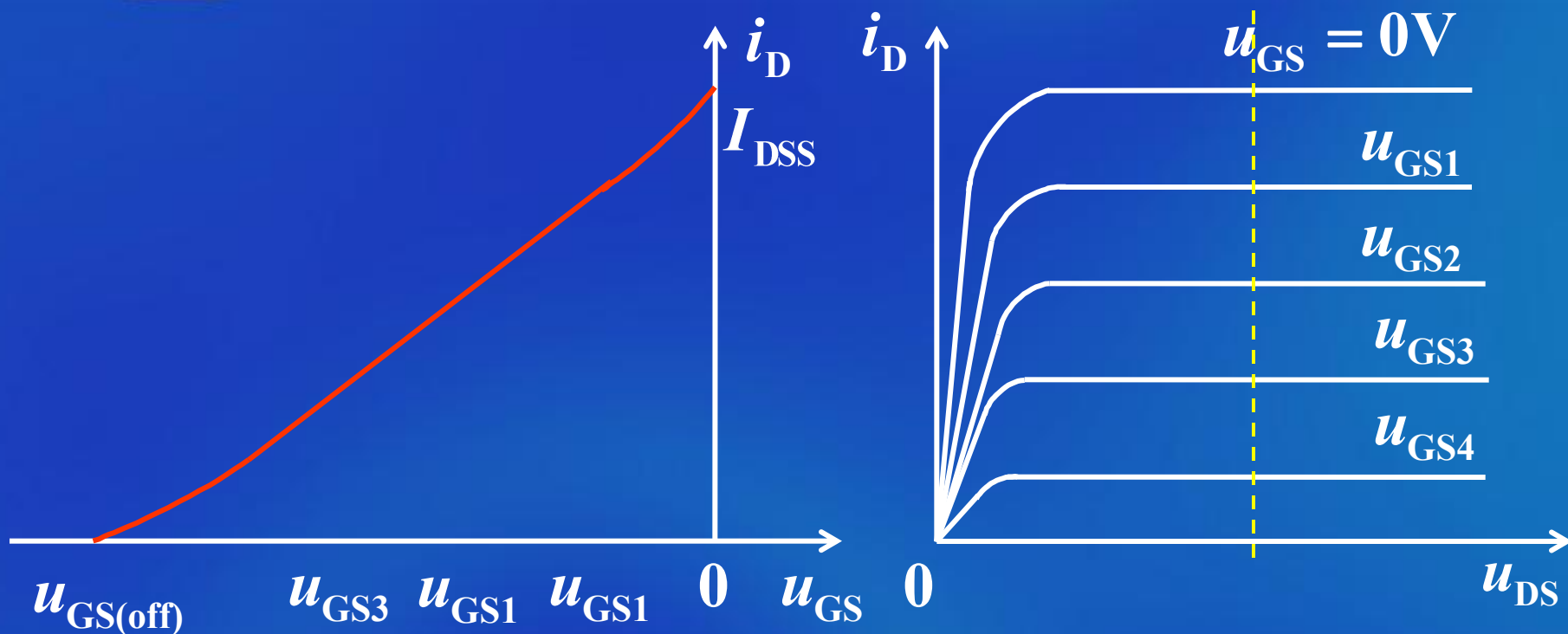
表示场效应管的 u_{GS} 对 i_D 的控制特性。

转移特性曲线可由输出特性曲线得到



曲线特点：

- (1) 对于不同的 u_{DS} ，所对应的转移特性曲线不同。
- (2) 当管子工作于恒流区时，转移特性曲线基本重合。



当管子工作于恒流区时

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

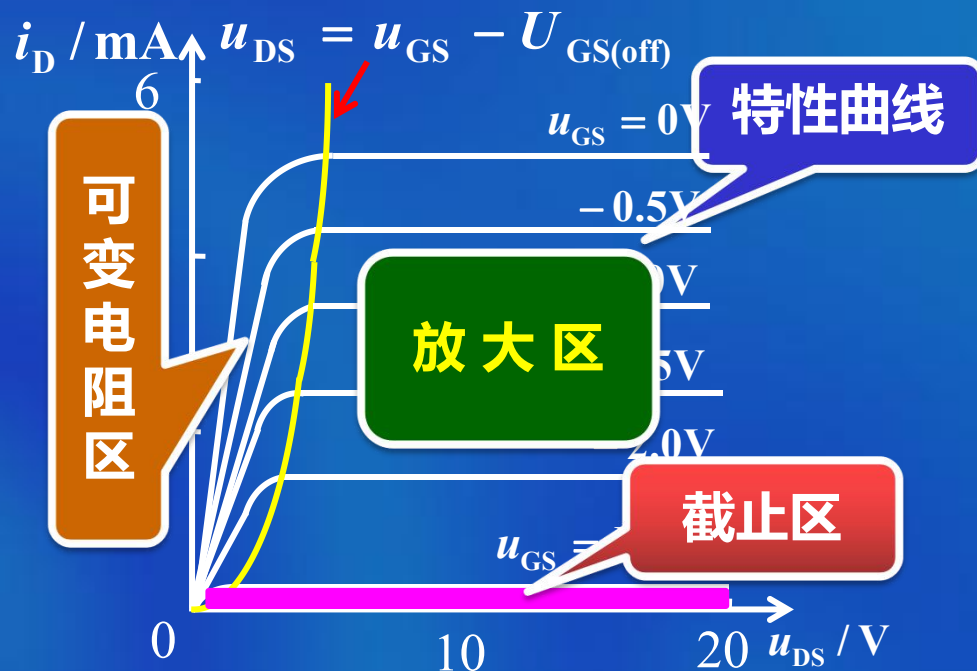
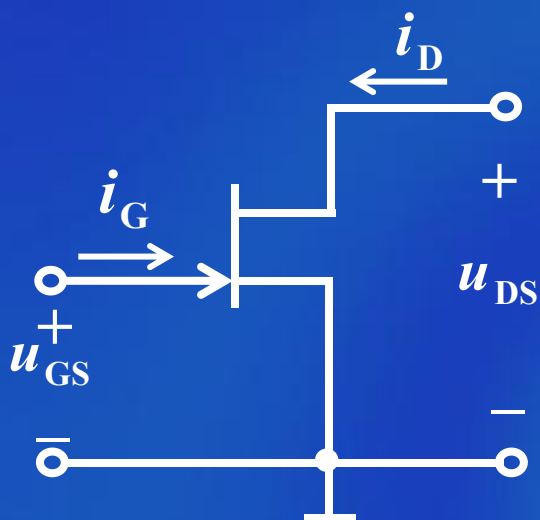
$$I_{DSS} = i_D \Big|_{\substack{u_{GS}=0V \\ u_{DS} > |U_{GS(off)}|}}$$

称为零偏漏极电流

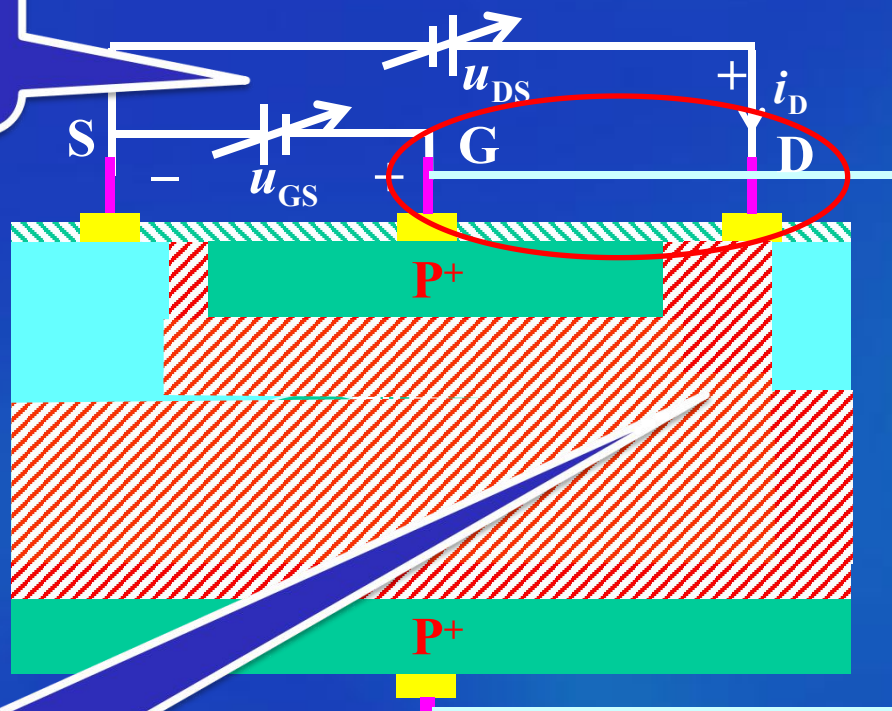
N沟道结型场效应管工作状态判别

输出特性（漏极特性）

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



u_{DS} 和 u_{GS} 一起改变沟道的宽度



b. PN结在漏极端的反偏电压最大。

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

c. 当 $u_{DG} = |U_{GS(off)}|$ 时，沟道出现预夹断。此时， $u_{DS} = |U_{GS(off)}| + u_{GS}$

判断N沟道JFET的工作状态：

1. $u_{GS} \leq U_{GS(off)}$ **截止区**

2. 若 $u_{GS} > U_{GS(off)}$

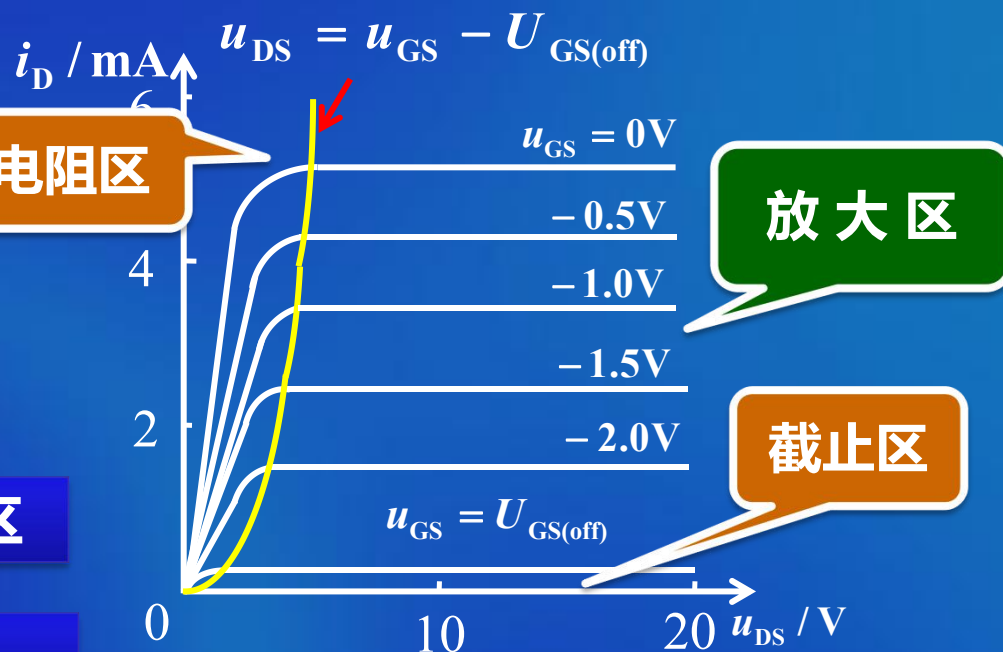
当 $u_{DG} = |u_{GS(off)}|$ 时**预夹断**

因为 $u_{DS} = u_{DG} + u_{GS}$ 则

$u_{DS} < u_{GS} + |U_{GS(off)}|$ **可变电阻区**

$u_{DS} = u_{GS} + |U_{GS(off)}|$ **预夹断**

$u_{DS} > u_{GS} + |U_{GS(off)}|$ **放大区**

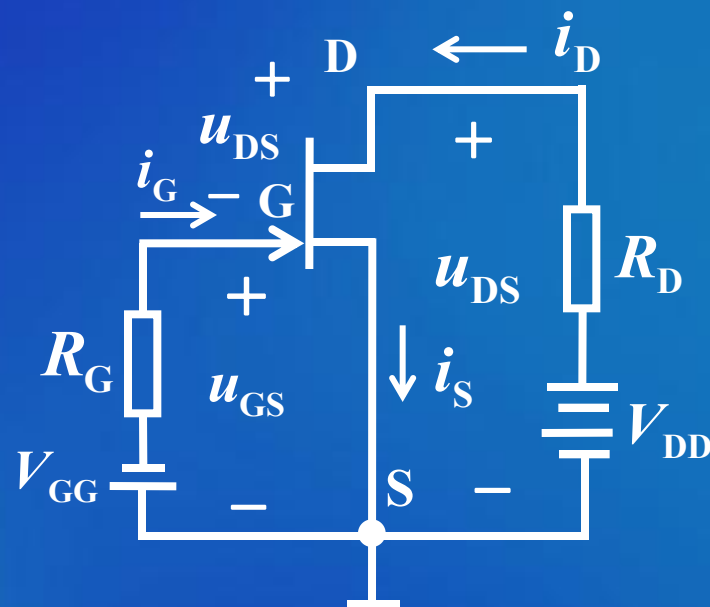


例 在图示电路中，已知场效应管的 $U_{GS(off)} = -5V$ ；
问在下列三种情况下，管子分别工作在那个区？

(a) $u_{GS} = -8V$, $u_{DS} = 4V$

(b) $u_{GS} = -3V$, $u_{DS} = 4V$

(c) $u_{GS} = -3V$, $u_{DS} = 1V$



解 (a) 因为 $u_{GS} < U_{GS(off)}$, 管子工作在截止区。

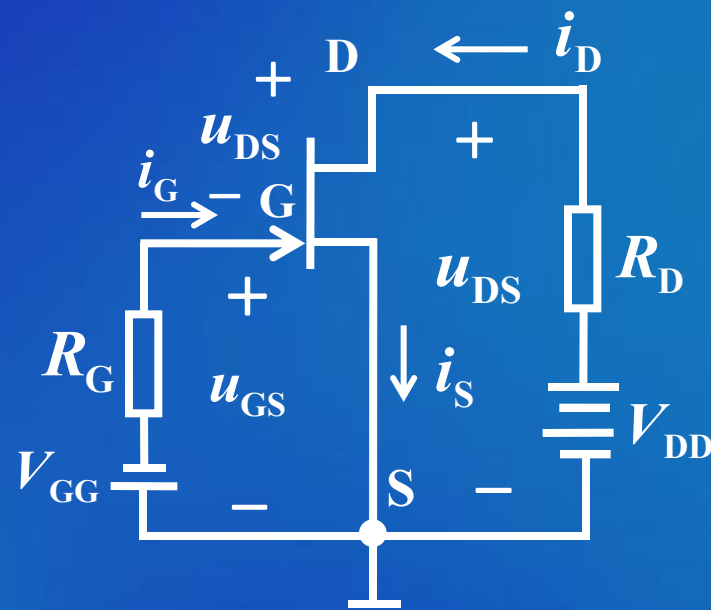
$$u_{DG} = (u_{DS} - u_{GS}) < ? = ? > ? | U_{GS(off)} |$$

$$(b) \quad u_{GS} = -3V, \quad u_{DS} = 4V$$

$$\begin{aligned} \text{因} \quad u_{DG} &= u_{DS} - u_{GS} \\ &= 4 - (-3) \\ &= 7V \end{aligned}$$

$$u_{DG} > |U_{GS(off)}|$$

管子工作在放大区。



$$(c) \quad u_{GS} = -3V, \quad u_{DS} = 1V$$

$$\text{因这时的} \quad u_{DG} = u_{DS} - u_{GS} = 1 - (-3) = 4V < |U_{GS(off)}|$$

管子工作在可变电阻区。