

5 场效应管放大电路

5.1 MOS场效应晶体管 MOSFET

5.2 结型场效应管 JFET

5.3 各种场效应管对比

5.4 场效应管放大电路

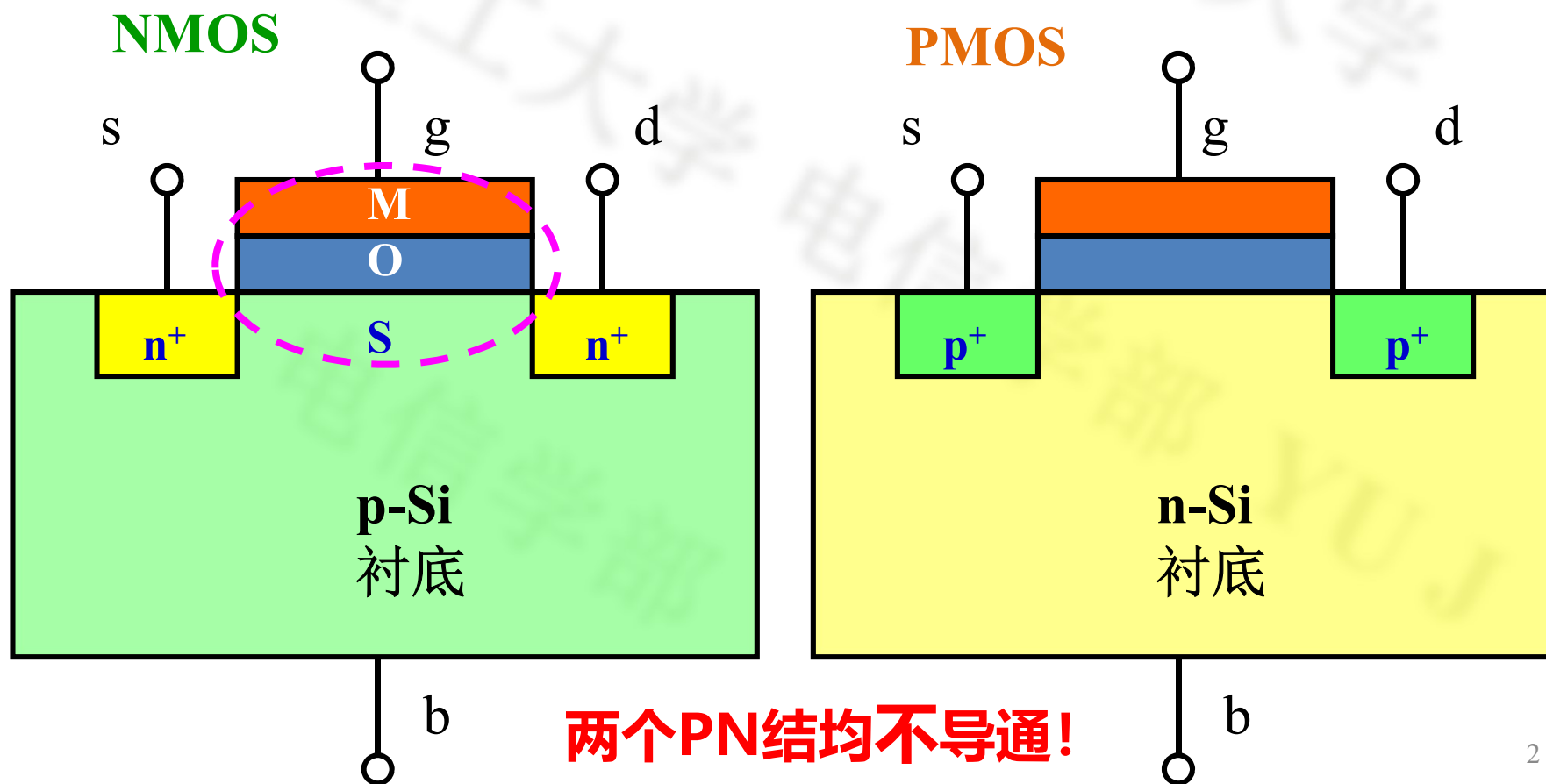
5.5 组合放大电路分析

5.1 MOS场效应晶体管

1. 器件结构

MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
简称 MOSFET、MOS管。按导电类型分为NMOS和PMOS。

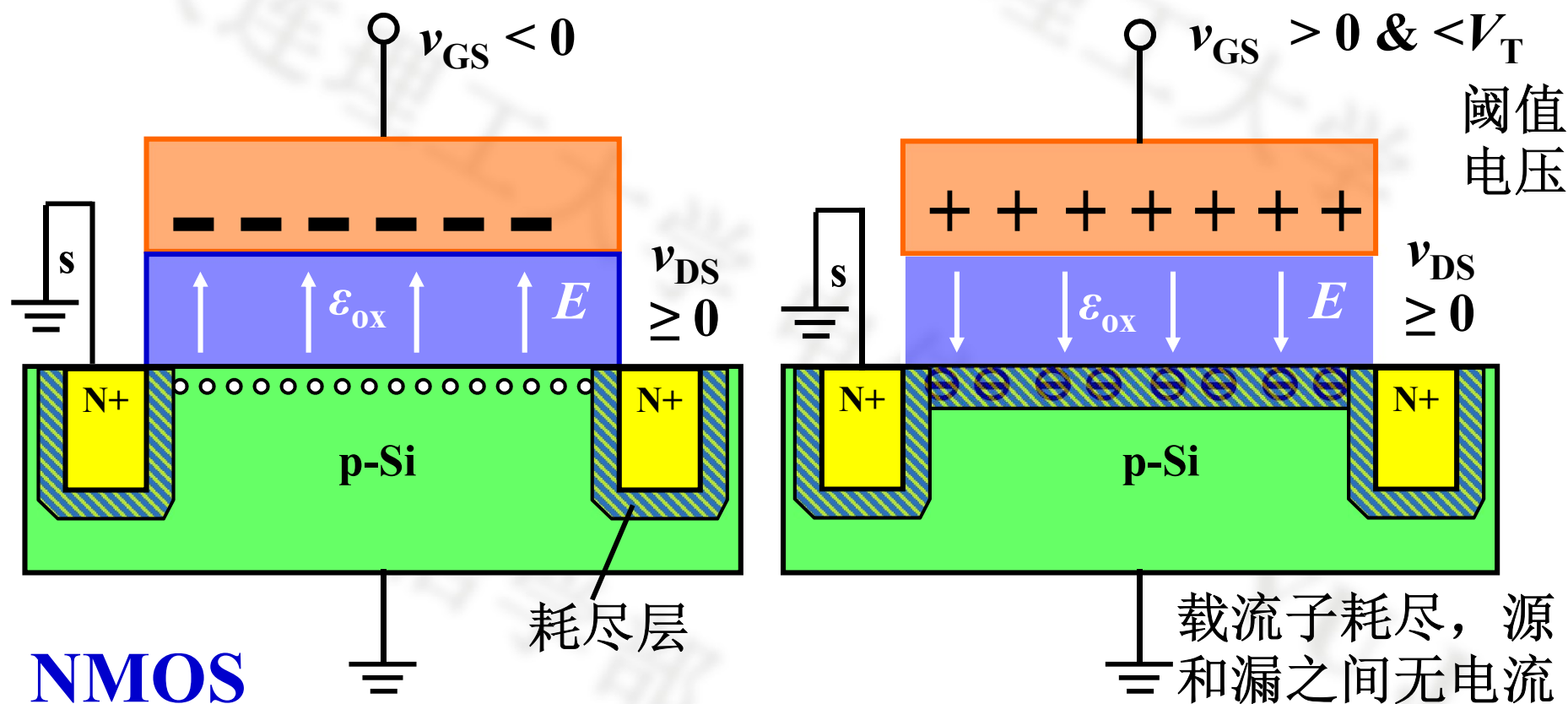
s—源极source d—漏极drain g—栅极gate b—体body



5.1 MOS场效应晶体管

2. 增强型NMOS的工作原理

源漏截止（不导通）

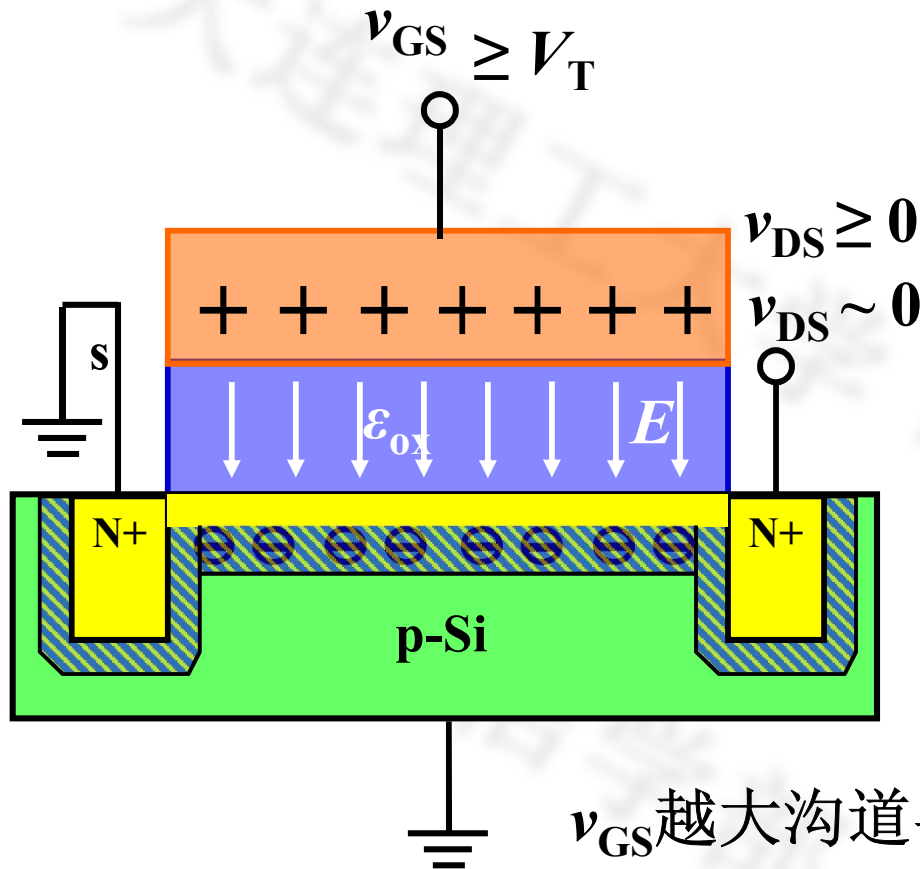


5.1 MOS场效应晶体管

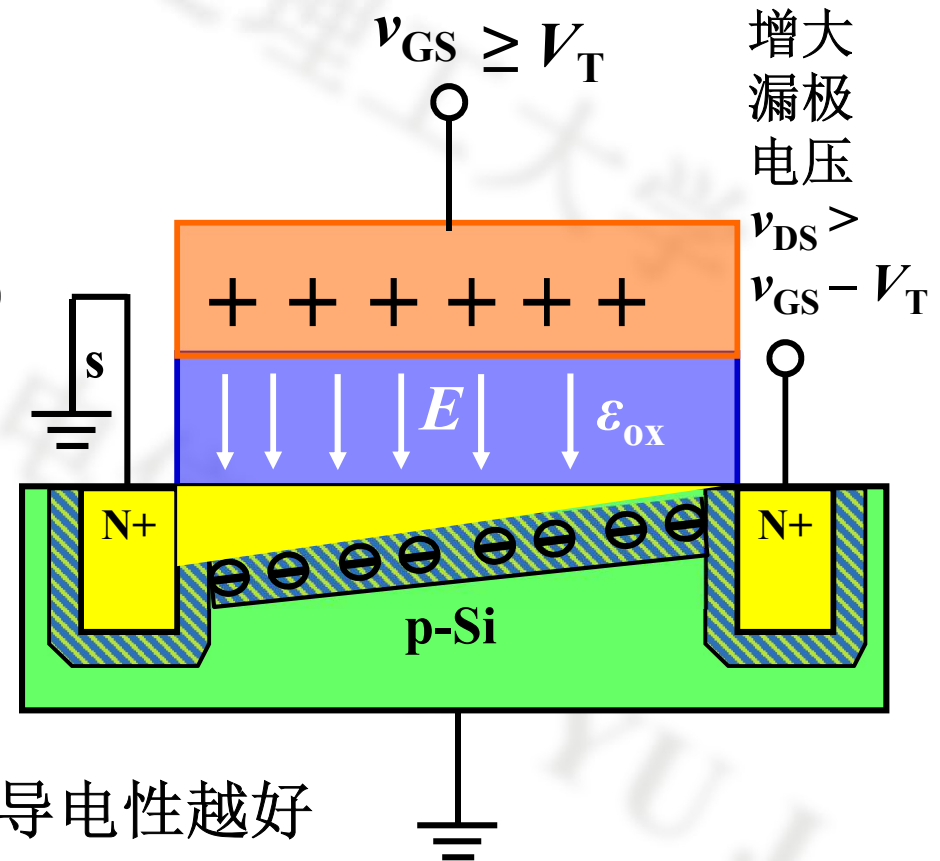
2. 增强型NMOS的工作原理

源漏导通，载流子是电子

源极：提供载流子(电子)



半导体表面电子浓度增大，
形成电子通道----反型层沟道

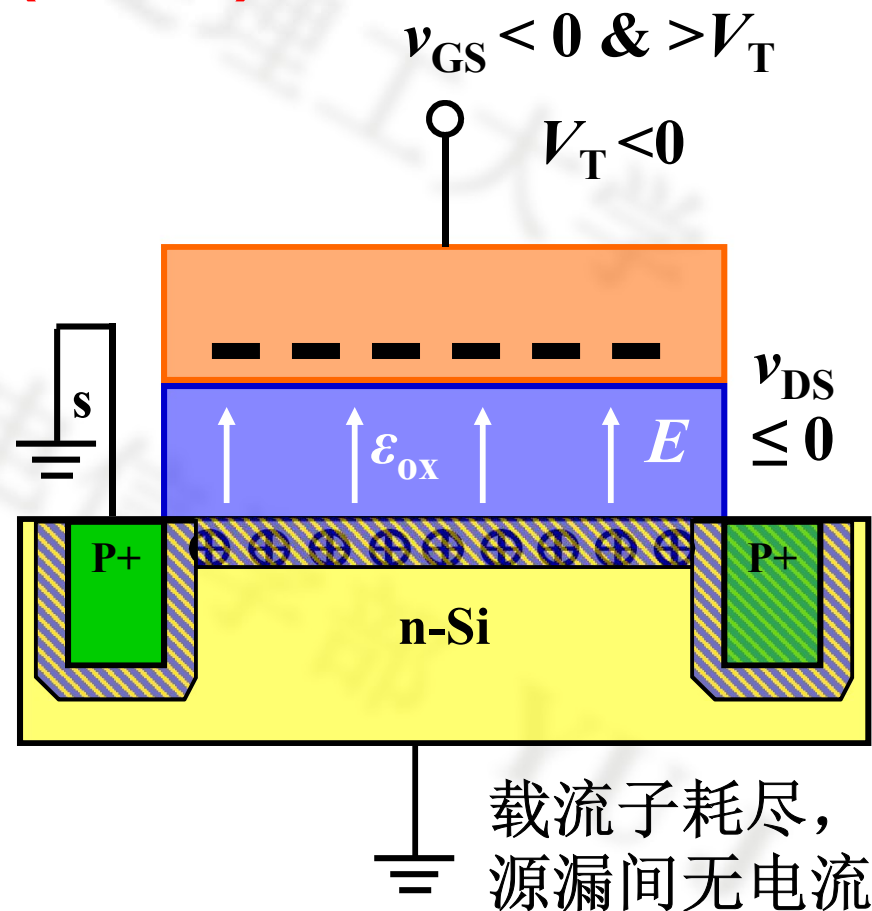
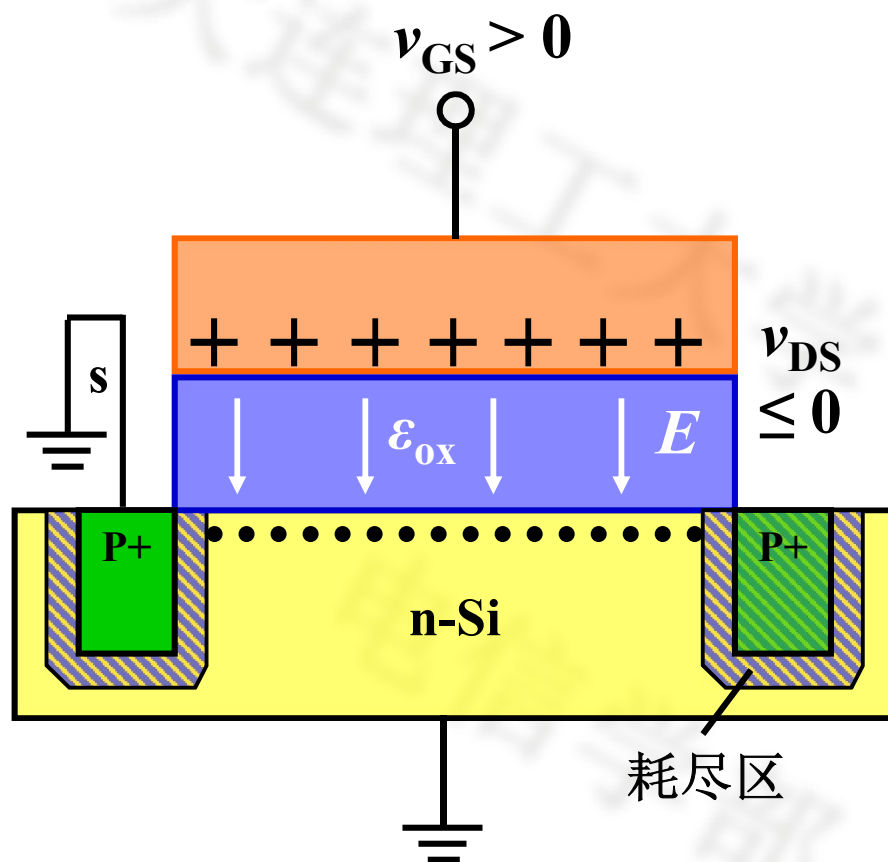


漏极附近沟道夹断，沟道导电
能力下降（沟道电阻大）

5.1 MOS场效应晶体管

3. 增强型PMOS的工作原理

源漏截止（不导通）

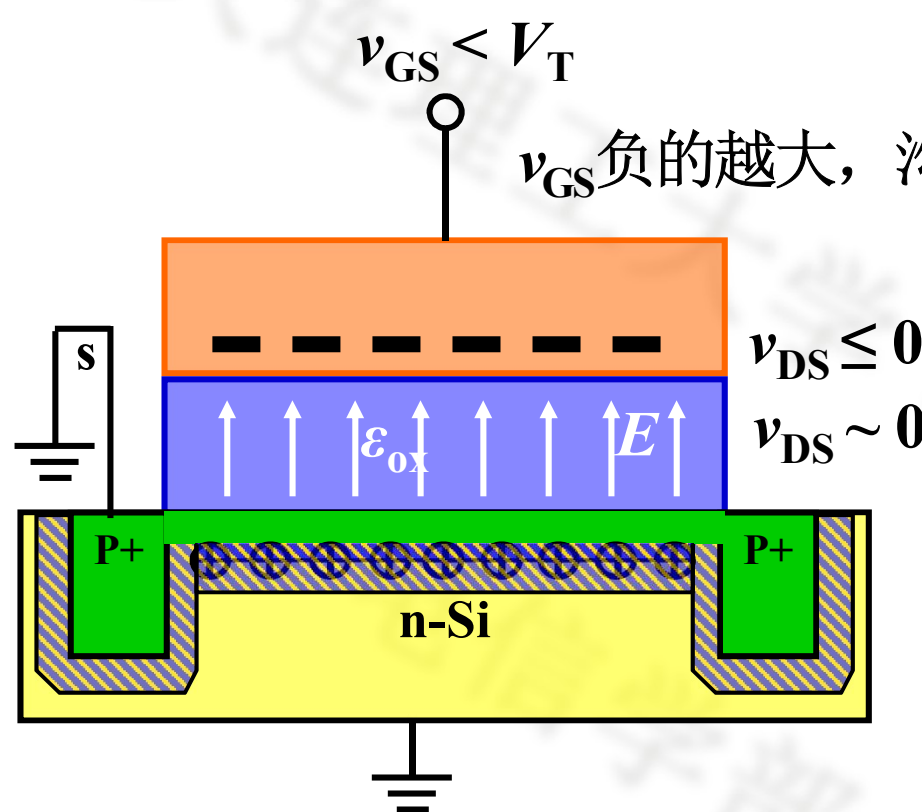


5.1 MOS场效应晶体管

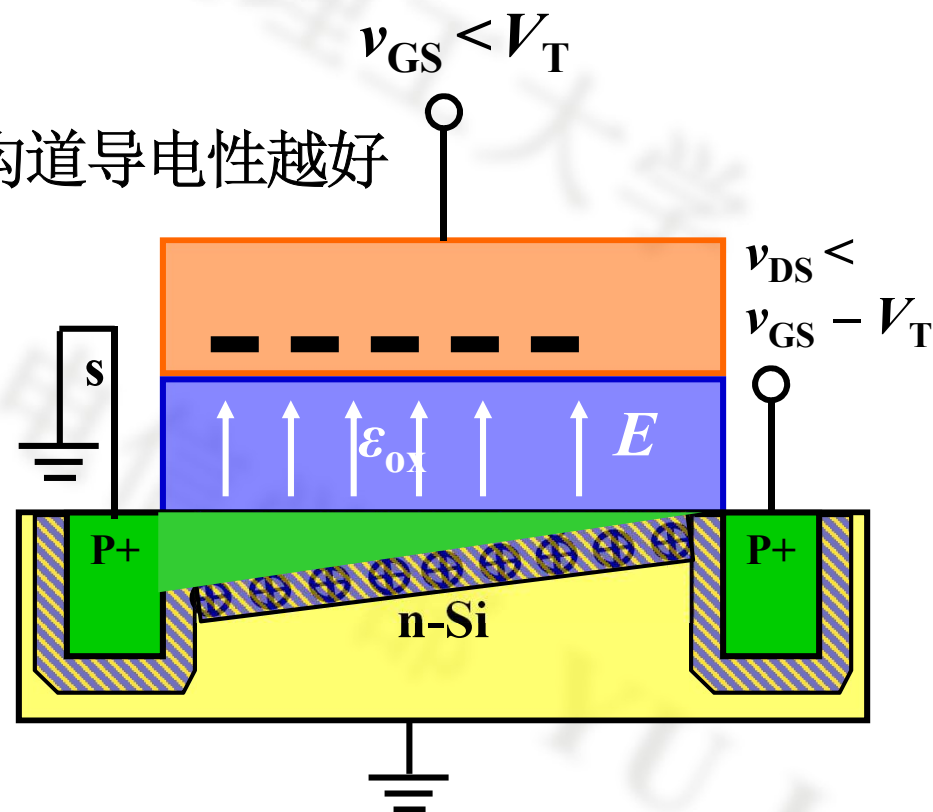
3. 增强型PMOS的工作原理

源漏导通，载流子是空穴

源极：提供载流子(空穴)



半导体表面空穴浓度增大，
形成空穴通道----反型层沟道



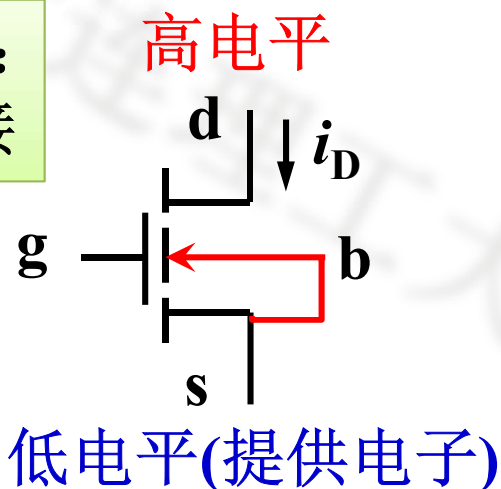
漏极附近沟道夹断，沟道导电能力下降（沟道电阻大）

5.1 MOS场效应晶体管

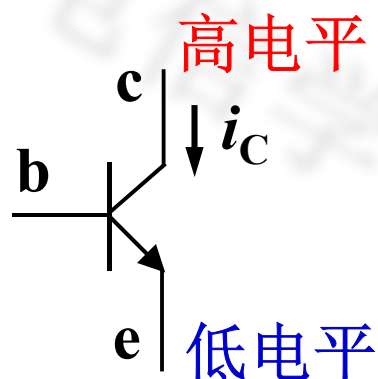
4. 增强型MOS管的符号

增强型NMOS

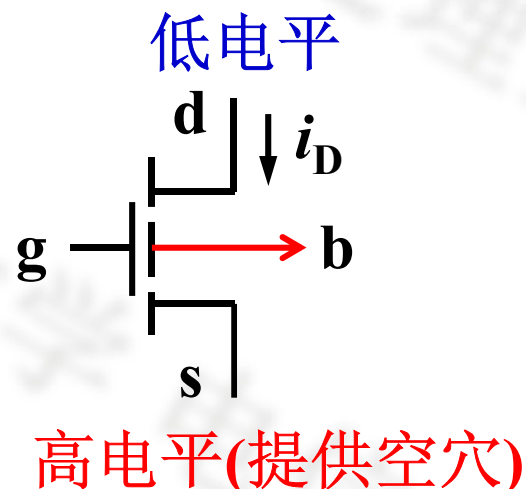
变3端：
bs短接



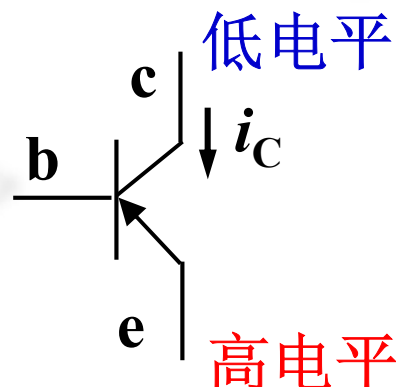
对比NPN管



增强型PMOS



对比PNP管

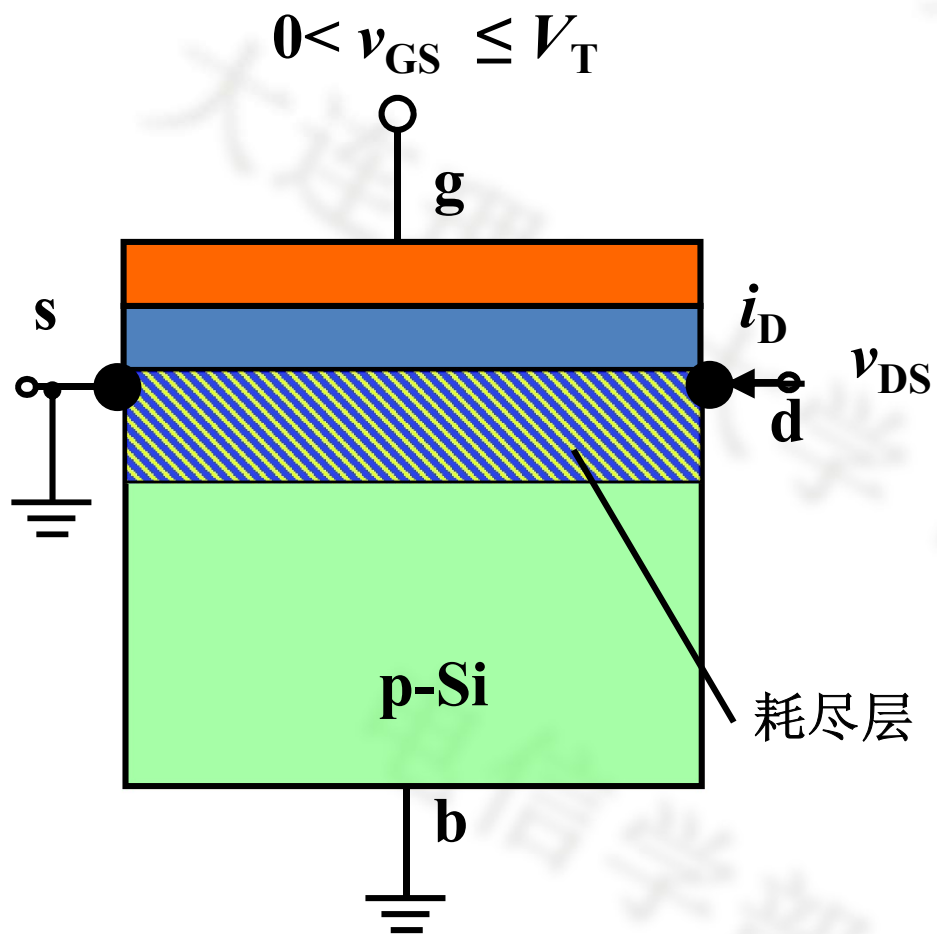


b端箭头：
 $P \rightarrow N$

d 相当于c
g 相当于b
s 相当于e

Je箭头：
 $P \rightarrow N$

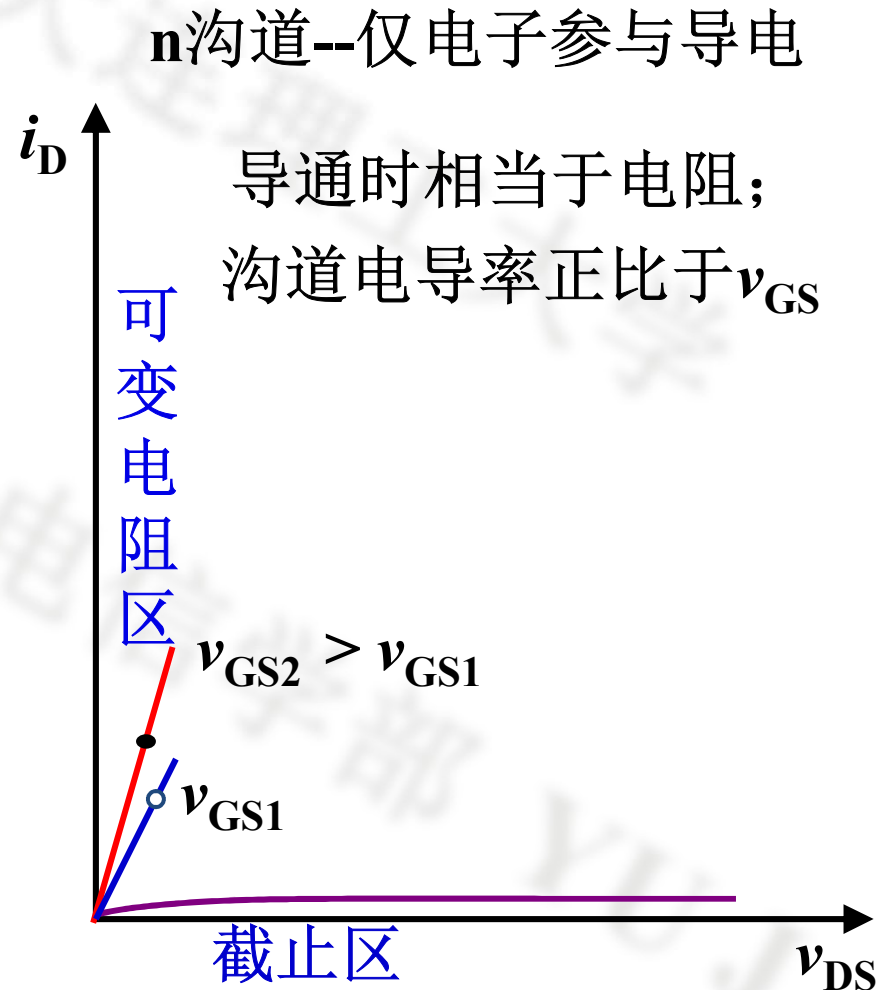
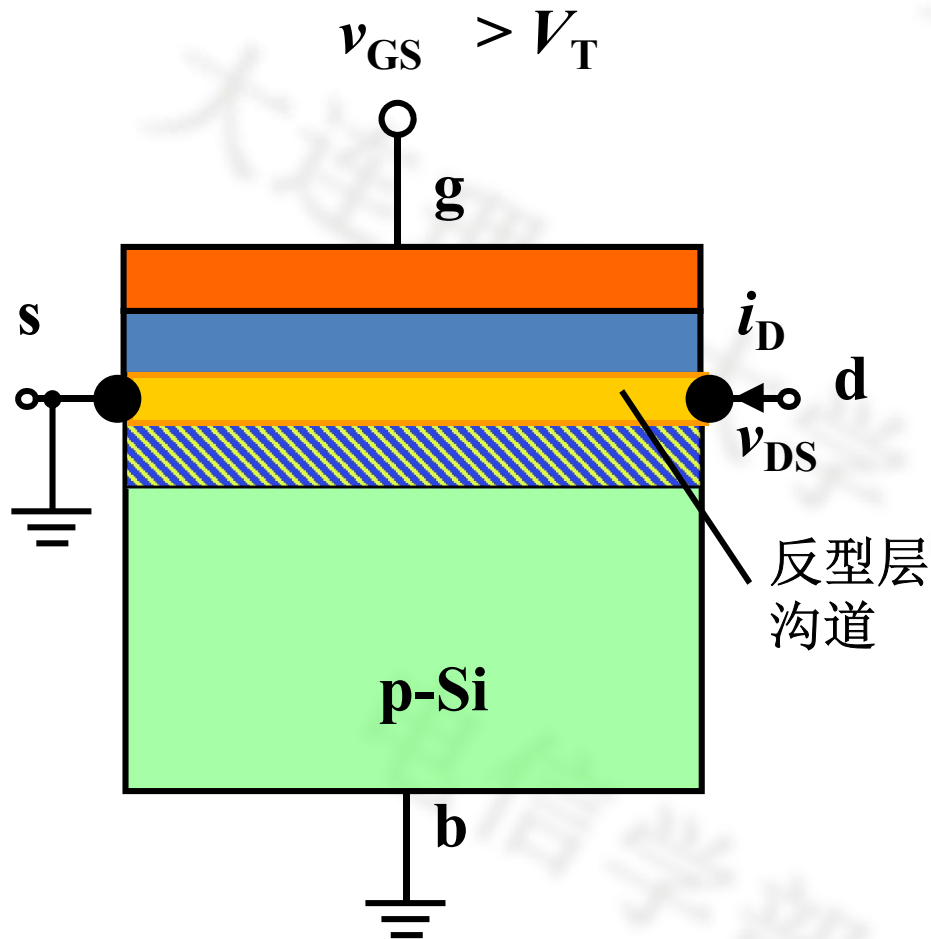
5.1 MOS场效应晶体管 5. 增强型NMOS的输出特性



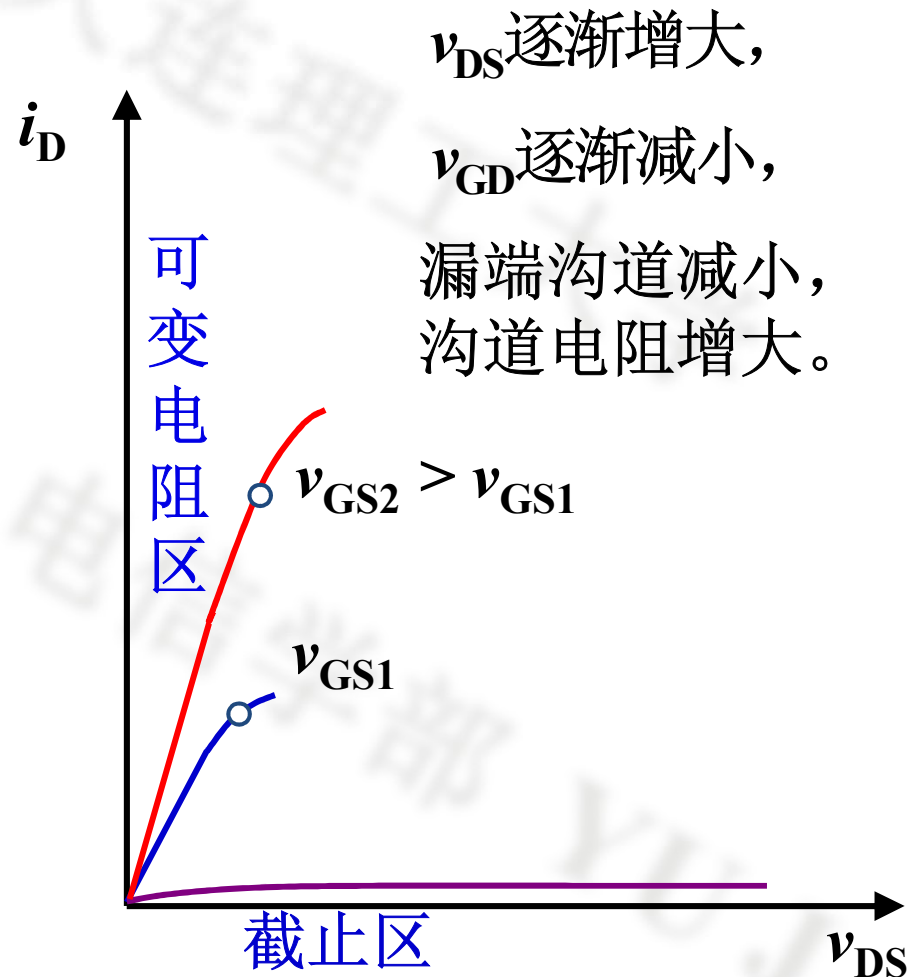
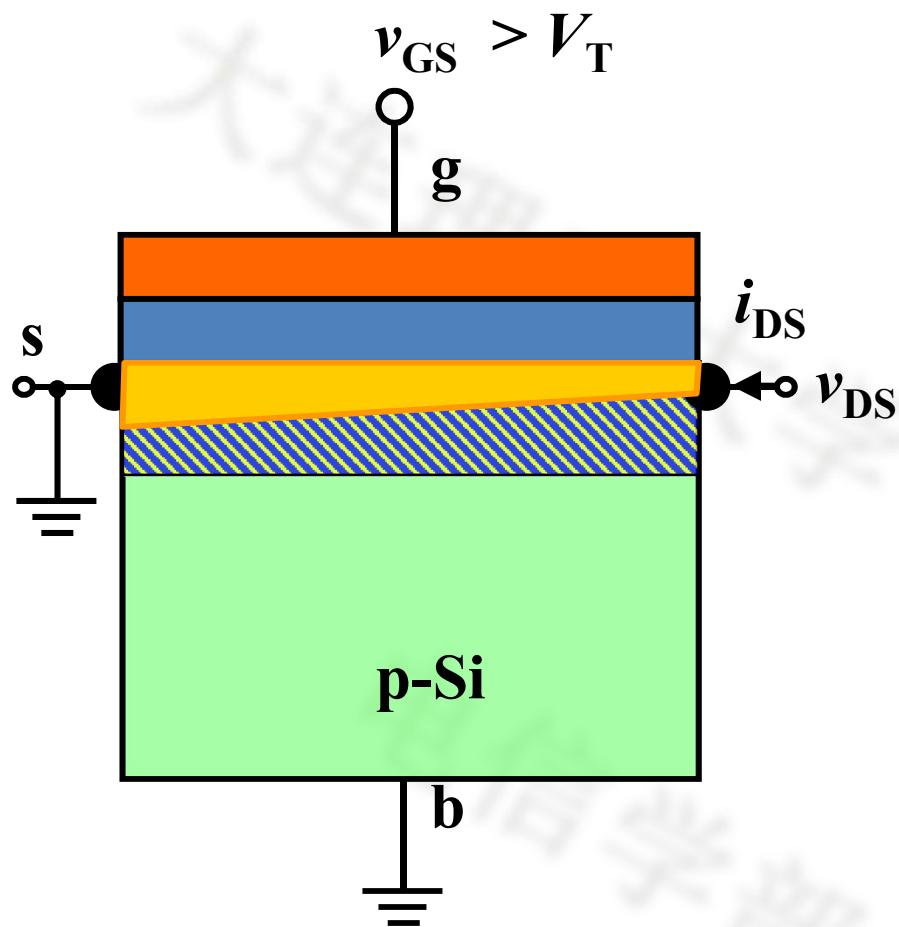
截止区 ($v_{GS} \leq V_T$):
无电流通路,
漏源电流 $i_D \approx 0$;

截止区

5.1 MOS场效应晶体管 5. 增强型NMOS的输出特性

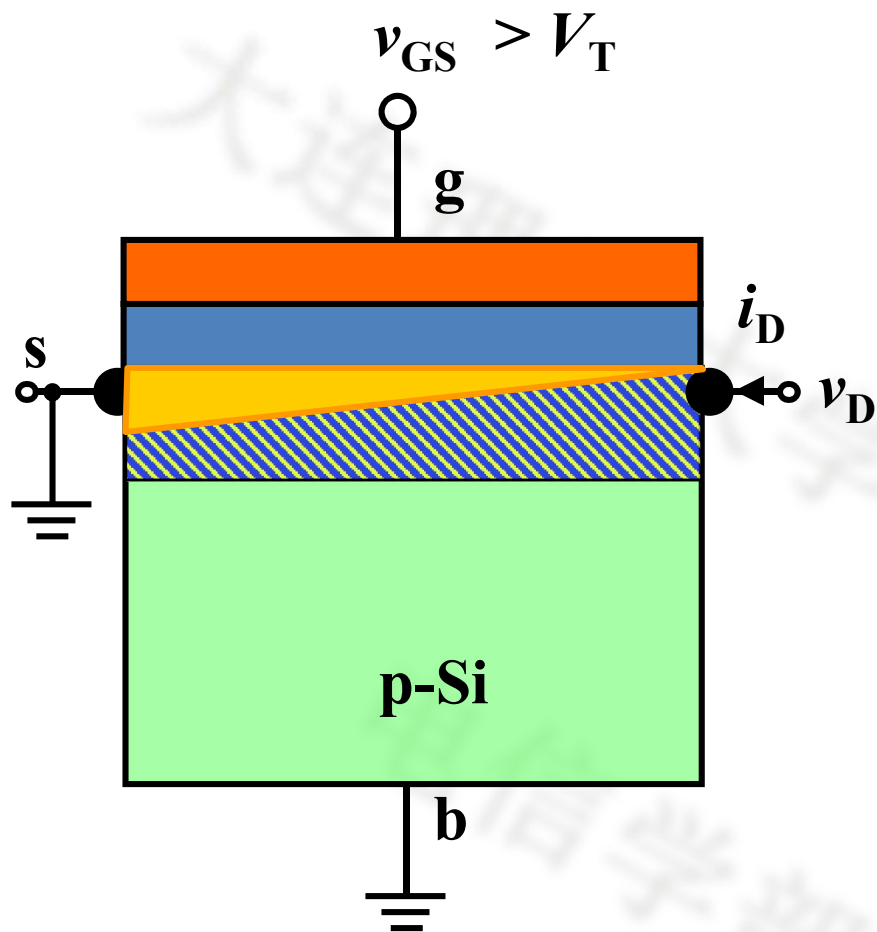


5.1 MOS场效应晶体管 5. 增强型NMOS的输出特性



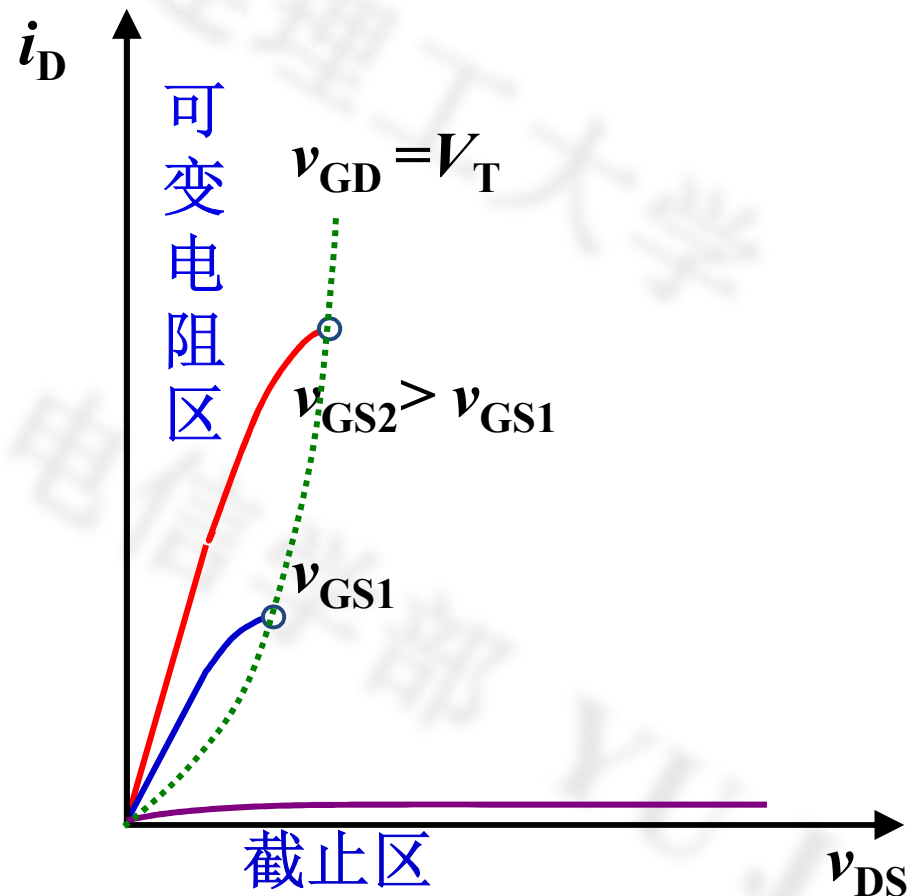
$$i_D = K_n \left[2(v_{GS} - V_T)v_{DS} - v_{DS}^2 \right]$$

5.1 MOS场效应晶体管 5. 增强型NMOS的输出特性



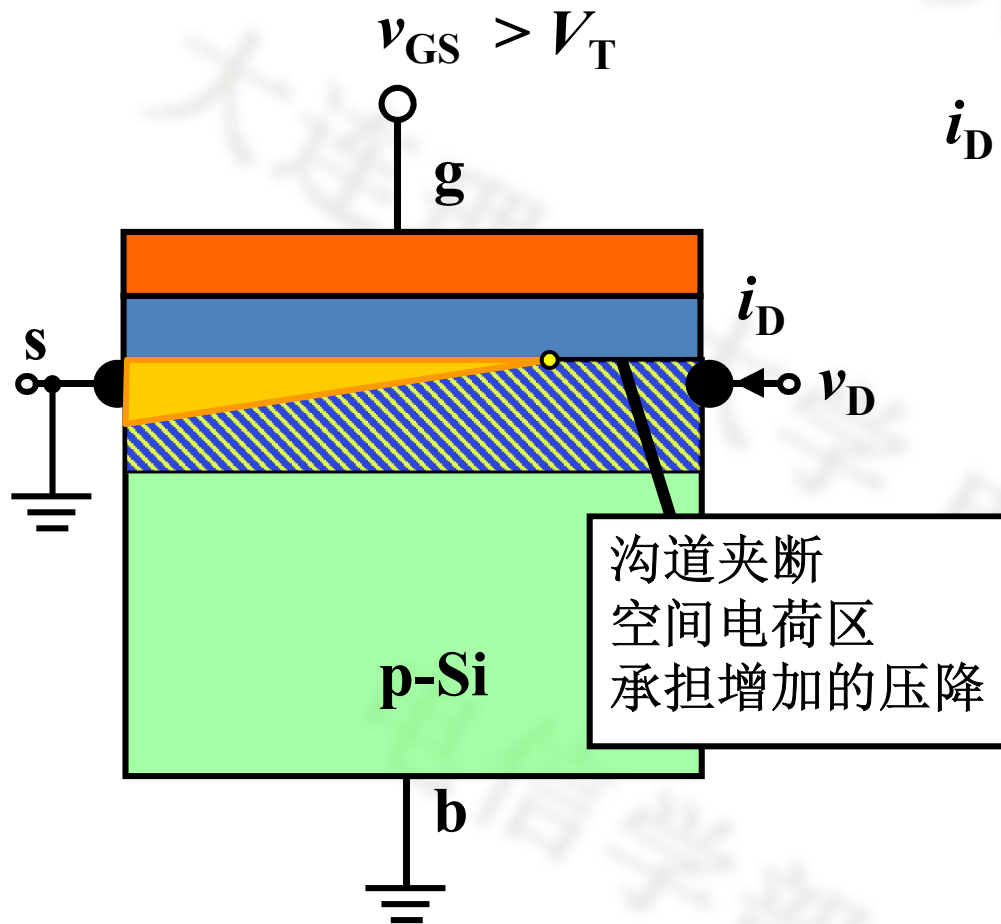
漏极处沟道预夹断 (pinch off)

当 v_{DS} 增大, 使 v_{GD} 减小到 $v_{GD} = V_T$



$$i_D = K_n \left[2(v_{GS} - V_T)v_{DS} - v_{DS}^2 \right]$$

5.1 MOS场效应晶体管 5. 增强型NMOS的输出特性

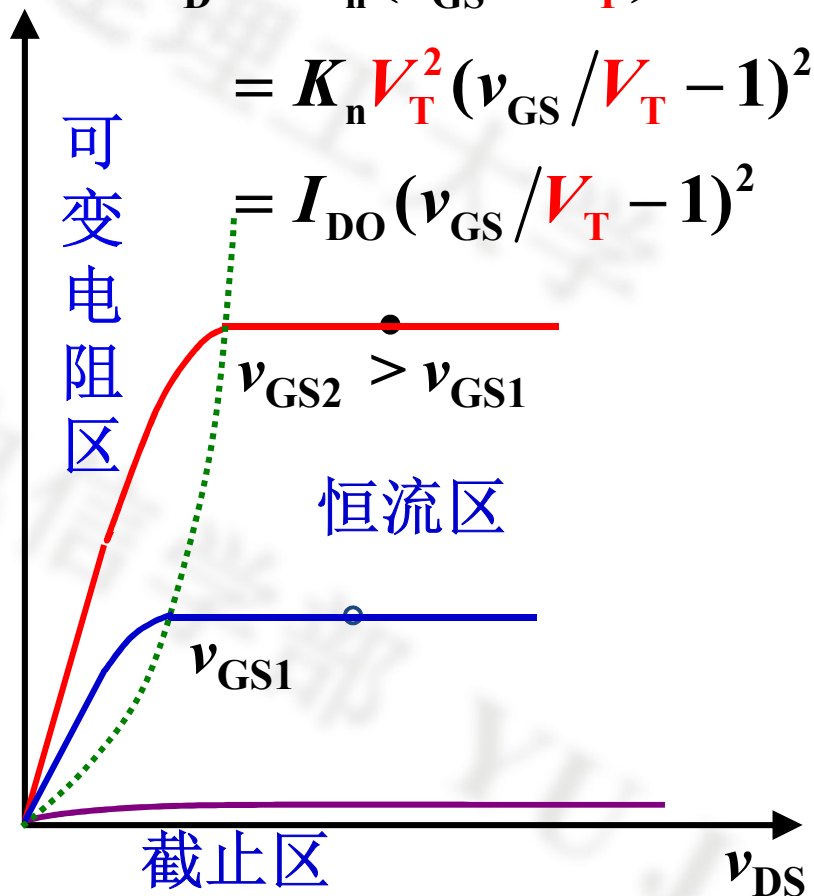


$$\begin{aligned}
 i_D &= K_n (v_{GS} - V_T)^2 \\
 &= K_n V_T^2 (v_{GS}/V_T - 1)^2 \\
 &= I_{DO} (v_{GS}/V_T - 1)^2
 \end{aligned}$$

可变电阻区

恒流区

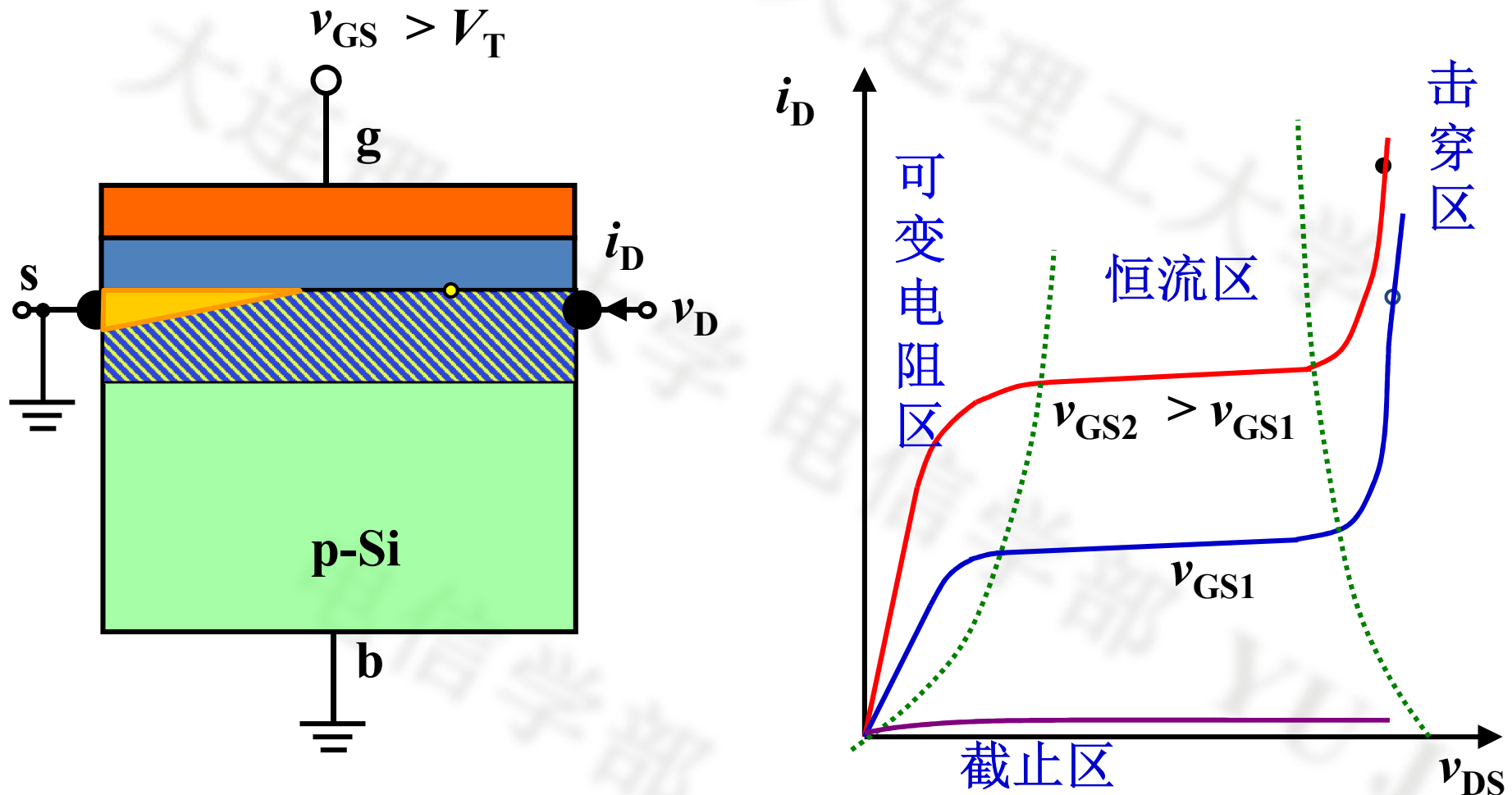
截止区



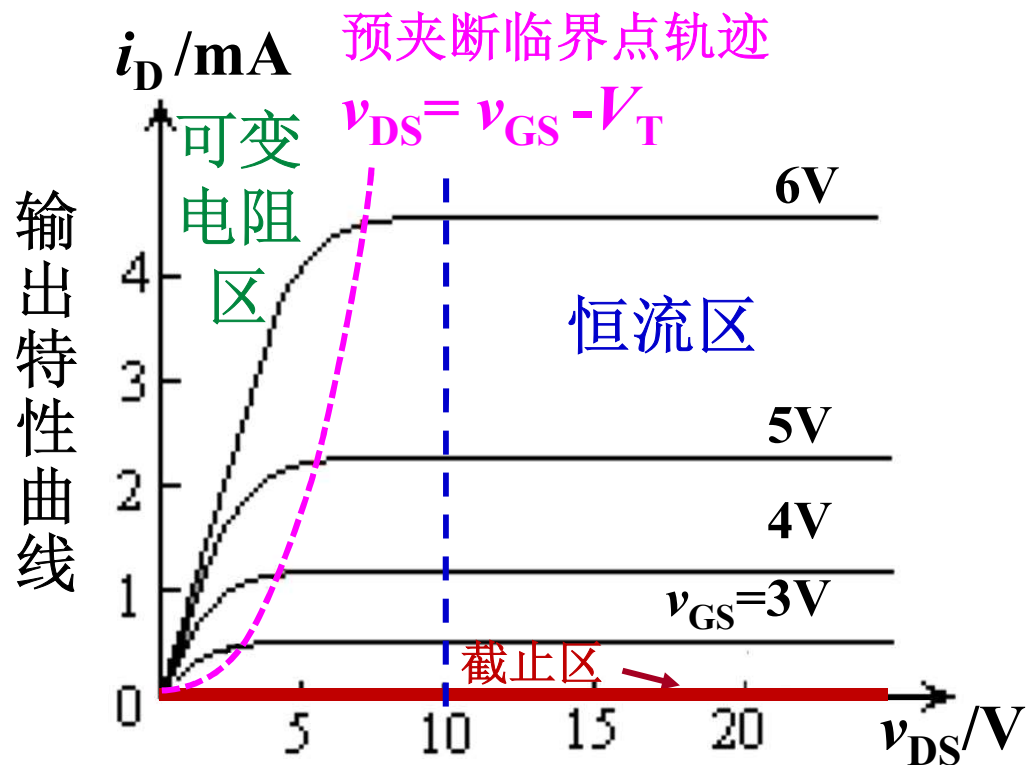
当 v_{DS} 继续增大: $v_{GD} < V_T$

i_D 达到饱和, 不再随 v_{DS} 增加, 所以也称为“饱和区”。

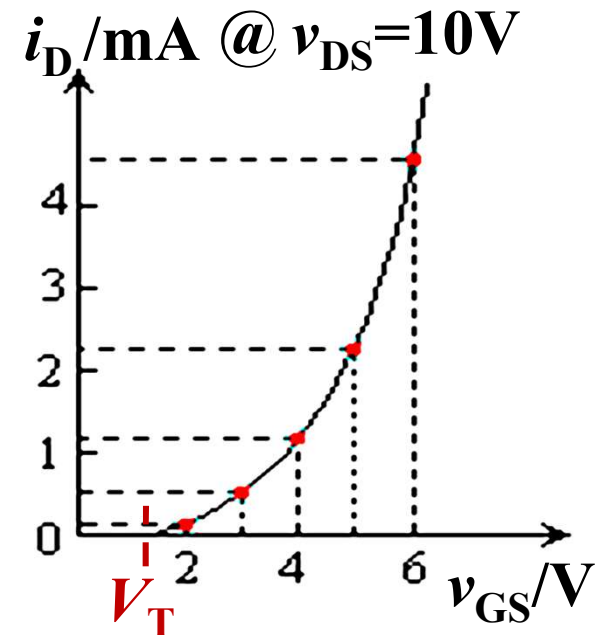
5.1 MOS场效应晶体管 5. 增强型NMOS的输出特性



当 v_{DS} 继续增大：漏与衬底PN结击穿，漏电流迅速增大



6. 放大区转移特性曲线



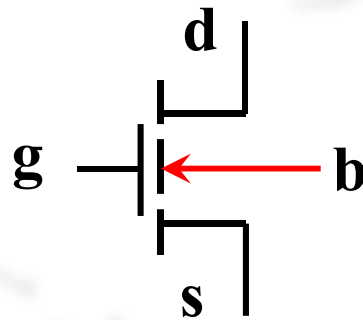
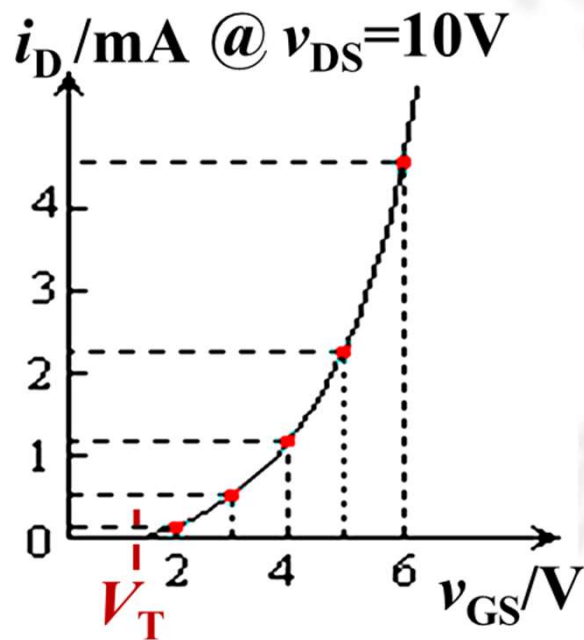
| v_{GS} | $v_{DS} (>0)$ | 工作区 | i_D |
|-------------------|----------------------------|-------------|--|
| $v_{GS} < V_T$ | 任意 | 截止区 | $i_D \approx 0$ |
| $v_{GS} \geq V_T$ | $v_{DS} < v_{GS} - V_T$ | 可变电阻区 | $i_D = K_n [2(v_{GS} - V_T)v_{DS} - v_{DS}^2]$ |
| $v_{GS} \geq V_T$ | $v_{DS} \geq v_{GS} - V_T$ | 恒流区/放大区/饱和区 | $i_D = I_{DO} [v_{GS} / V_T - 1]^2$ |

5.1 MOS场效应晶体管 7. 增强型NMOS对比NPN管

转移特性曲线

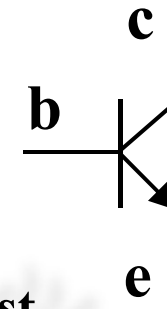
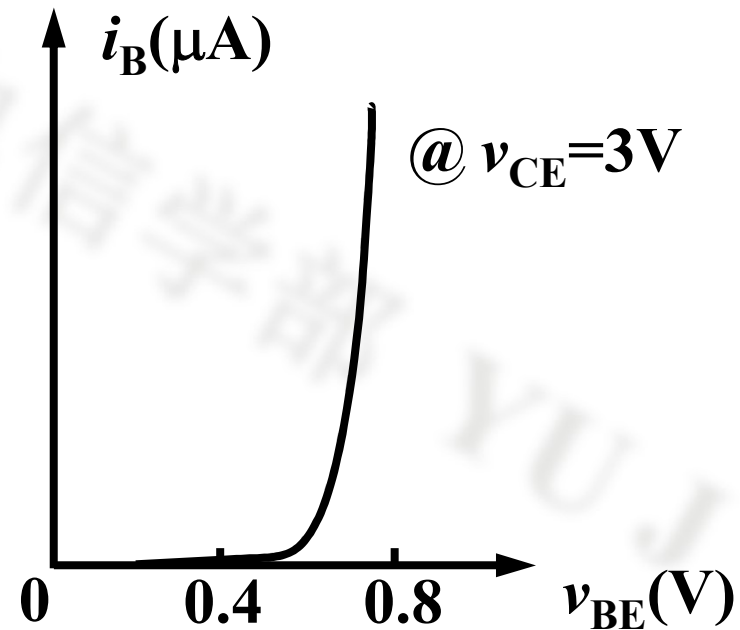
Transfer Characteristics

$$i_D = f(v_{GS}) \mid v_{DS} = \text{const}$$



输入特性曲线

$$i_B = f(v_{BE}) \mid v_{CE} = \text{const}$$

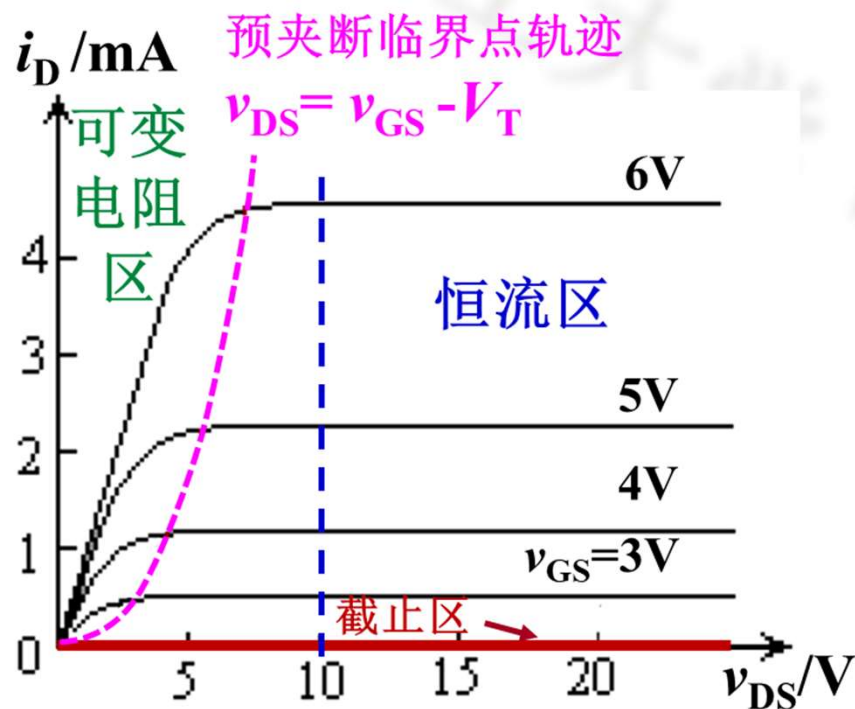
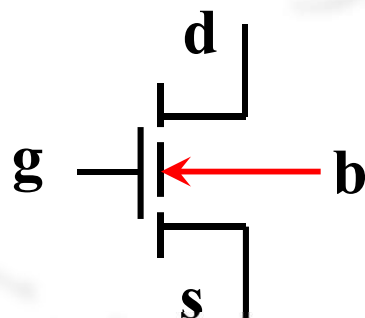


5.1 MOS场效应晶体管 7. 增强型NMOS对比NPN管

输出特性曲线

Drain Characteristics

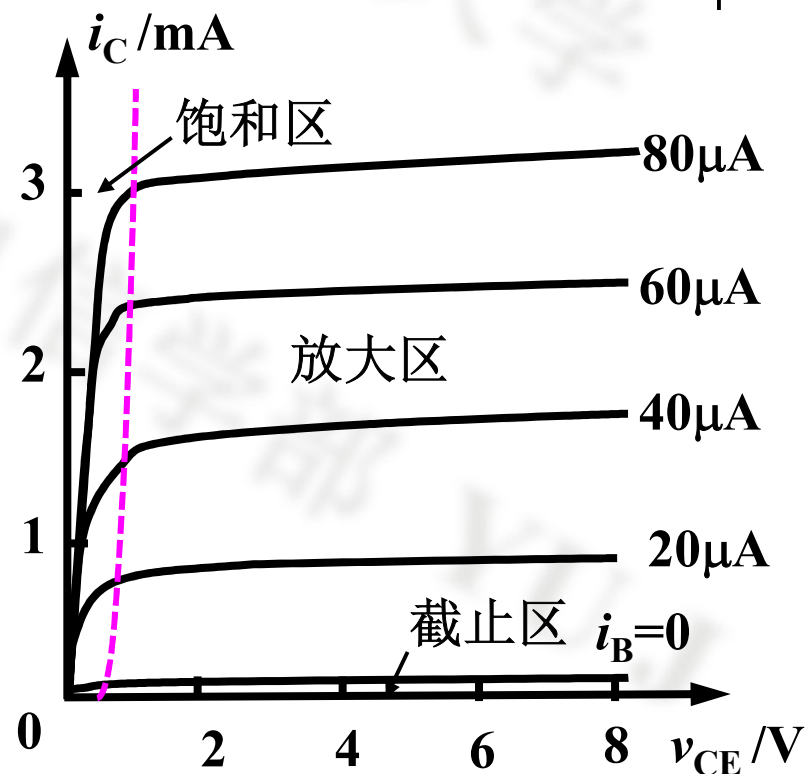
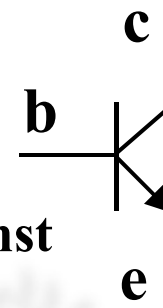
$$i_D = f(v_{DS}) \mid v_{GS} = \text{const}$$



恒流区: VCCS (压控电流源)

输出特性曲线

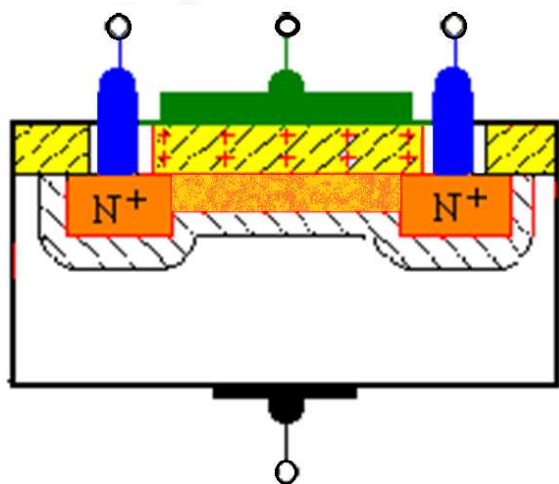
$$i_C = f(v_{CE}) \mid i_B = \text{const}$$



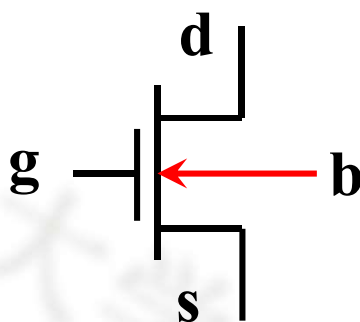
放大区: CCCS(流控电流源)

5.1 MOS场效应晶体管

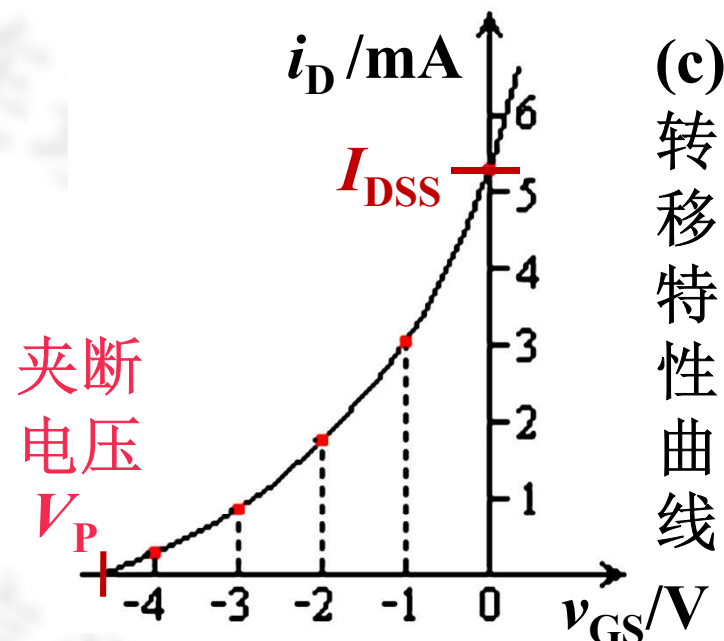
8. 耗尽型NMOS管



(a) 结构



(b) 符号



增强型NMOS (常闭型)

恒流区 ($v_{GS} \geq V_T$) :

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

$$I_{DO} = K_n V_T^2$$

耗尽型NMOS (常开型)

恒流区 ($v_{GS} \geq V_P$) :

$$i_D \approx I_{DSS} \left(1 - \frac{v_{GS}}{V_P} \right)^2$$

$$I_{DSS} = K_n V_P^2$$

9. 主要参数 (与MOS类型有关,以NMOS为例)

(1) 直流参数

① V_T ——开启电压(增强型)

$$v_{GS} \leq V_T \quad \text{时}, \quad i_D \approx 0$$

or V_P ——夹断电压(耗尽型)

$$v_{GS} \leq V_P \quad \text{时}, \quad i_D \approx 0$$

② I_{DSS} ——饱和漏极电流(耗尽型)

$v_{GS} = 0$ (shorted) 时所对应的 i_D

③ R_{GS} ——直流输入电阻

约 $10^9 \sim 10^{15} \Omega$

9. 主要参数 (与MOS类型有关,以NMOS为例)

(2) 交流参数

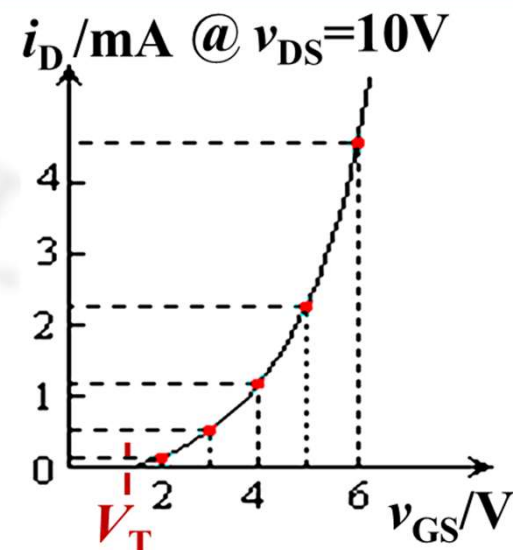
① g_m — 低频跨导transconductance

反映 v_{GS} 对 i_D 的控制作用(VCCS)

$$g_m = \Delta I_D / \Delta V_{GS} \big|_{V_{DS}=\text{const}} \quad (\text{mS}) \quad (\text{毫西门子})$$

恒流区: $g_m = 2K_n(v_{GS} - V_T)$

g_m 可以在转移特性曲线上求取, 即曲线的斜率



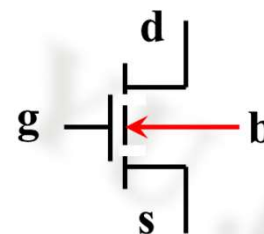
(3) 安全参数 ①最大漏极电流 I_{DM}

② U_{BRXX} — 击穿电压

XX: GS、DS

③ P_{DM} — 最大漏极功耗

由 $P_{DM} = v_{DS} i_D$ 决定



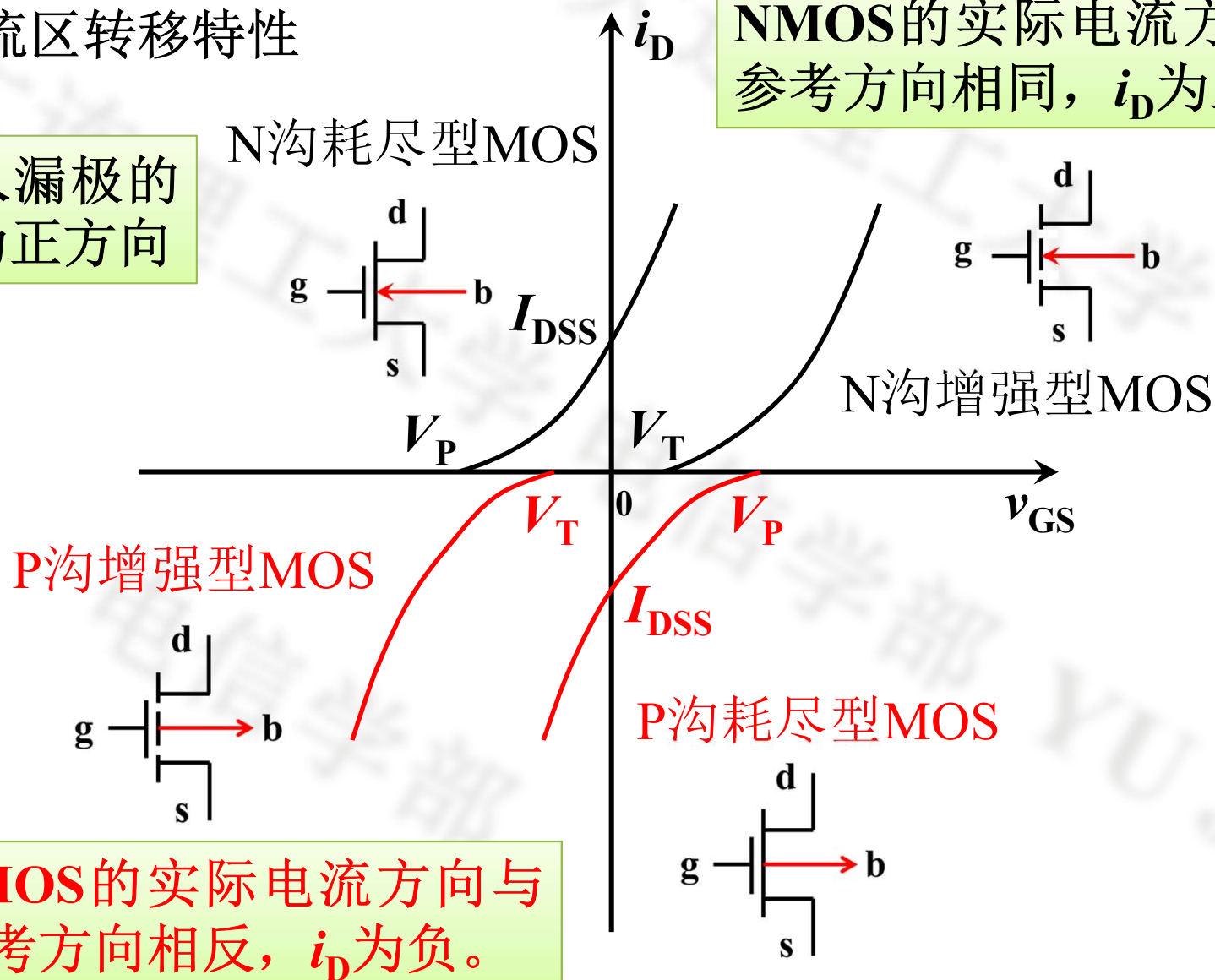
5.1 MOS场效应晶体管

10. 伏安特性总结

(a) 恒流区转移特性

设流入漏极的方向为正方向

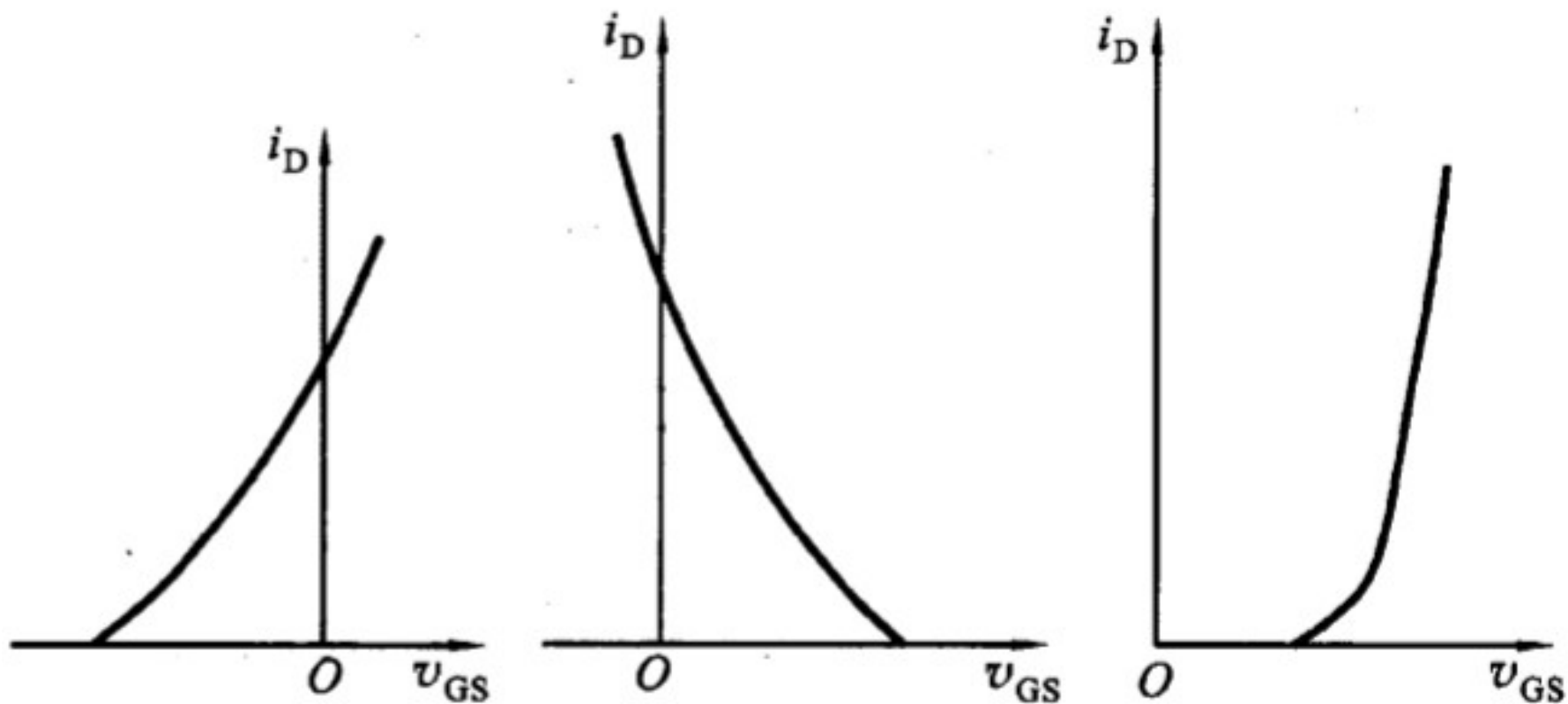
NMOS的实际电流方向与参考方向相同， i_D 为正。



PMOS的实际电流方向与参考方向相反， i_D 为负。

练习

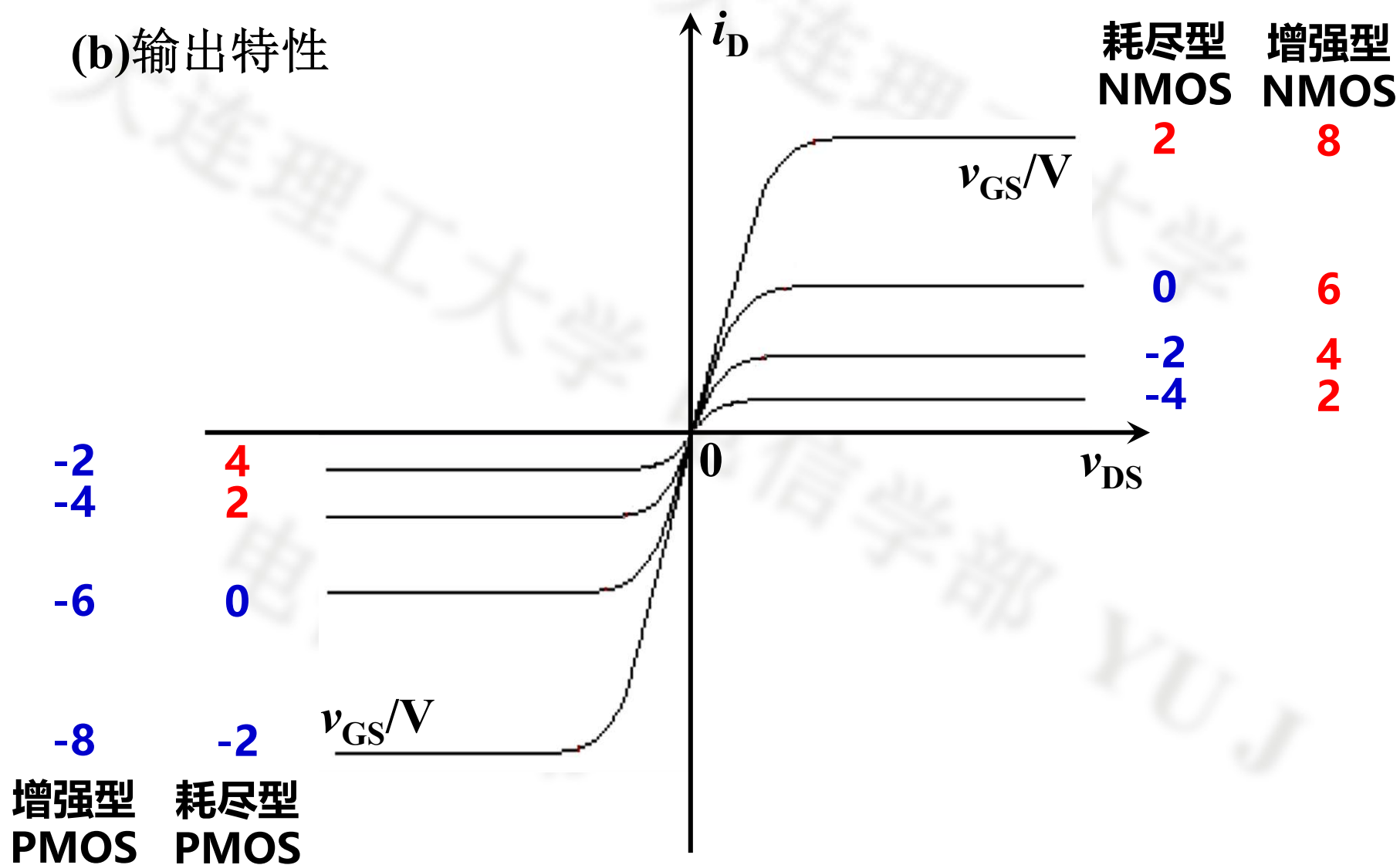
i_D 的假定正向是它的实际方向。试问它们各是哪一种类型的 FET?



5.1 MOS场效应晶体管

10. 伏安特性总结

(b)输出特性



5.1 MOS场效应晶体管

小结

掌握：器件符号、转移特性、输出特性

理解：器件结构和工作原理

预习：结型场效应管JFET、放大电路

作业

P249: 5.1.1, 5.1.2, 5.1.4

问题?



群名称:模电2018_生医和计算机
群 号:561745191