



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

§ 4.2 绝缘栅型 场效应管

lugh@ustc.edu.cn

2016年10月26日



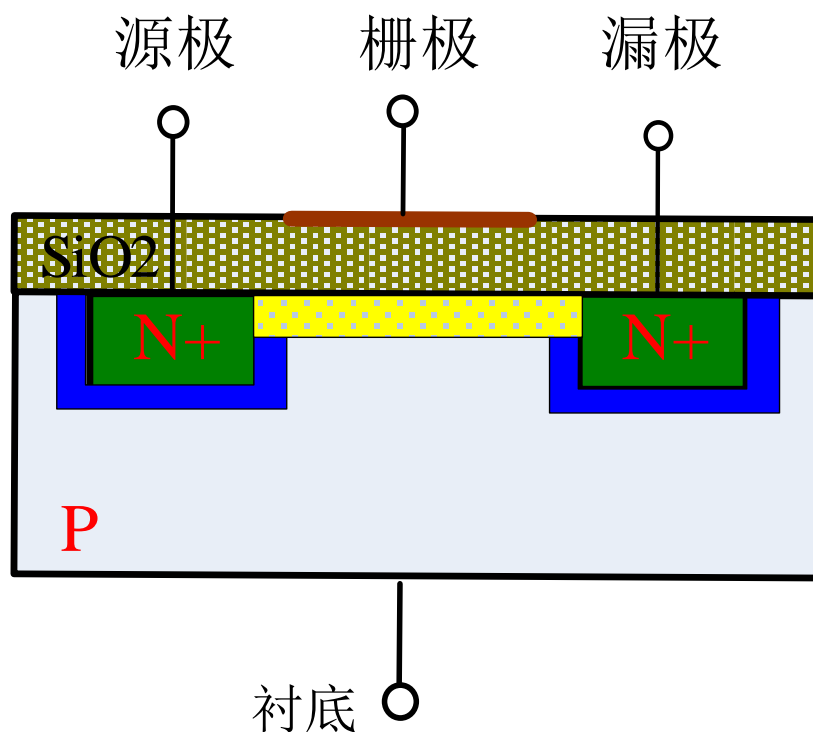
■ MOSFET

- 绝缘栅型场效应管又称为金属-氧化物-半导体场效应管 (MOSFET)
- 相比于JFET，MOSFET结构简单，体积小，参数可控，温度稳定性好，更易于集成

■ 两种类型

- 增强型 (EMOS)
- 耗尽型 (DMOS)

1. 增强型MOSFET



■ 基本结构

- 两个PN结
- 四个电极（栅极、源极、漏极、衬底极）
- 称该结构为N沟道增强型MOSFET，记为N-EMOS

■ 思考

- 导电沟道在哪里？

1. 增强型MOSFET

■ 说明

- **EMOS**在未加偏置之前，不存在导电沟道，必须外加栅源控制电压 V_{GS} ，利用表面场效应感应生成导电沟道

■ N型反型层

- 在外电场作用下，**N-EMOS**的**P**型衬底中少数载流子形成电子层导电沟道，也称为**N**型反型层

■ 工作原理

1. 增强型MOSFET

■ 开启电压 V_T

- 使**N-EMOS**刚刚形成电子层导电沟道时对应的栅源电压值，称为开启电压，记为 V_T

■ V_{GS} 控制特点

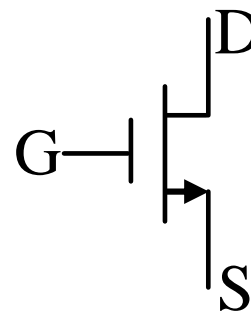
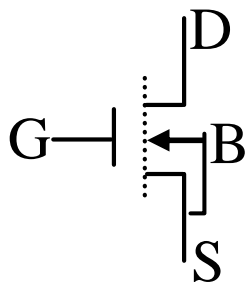
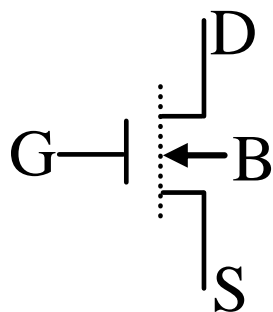
- 对**N-EMOS**而言，正常工作的前提条件是

$$V_{GS} > V_T$$

- 对**N-EMOS**而言，随着 V_{GS} 增大，沟道导电率逐渐上升

1. 增强型MOSFET

■ 电路符号

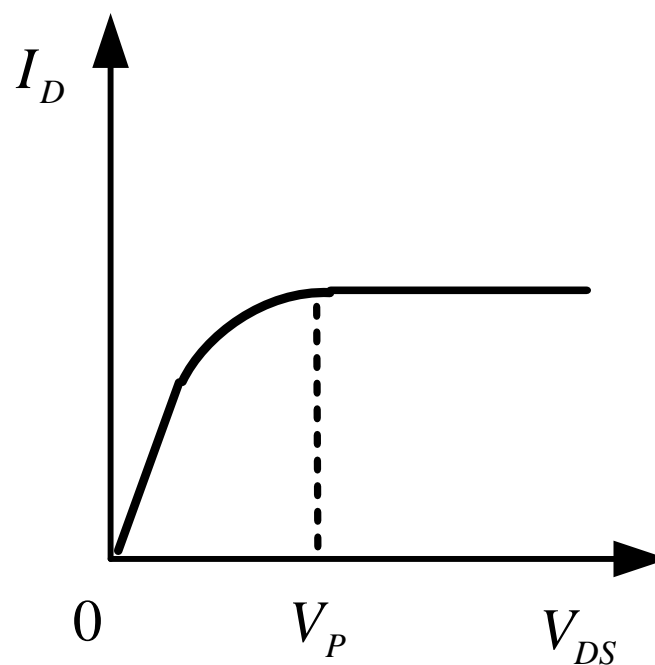
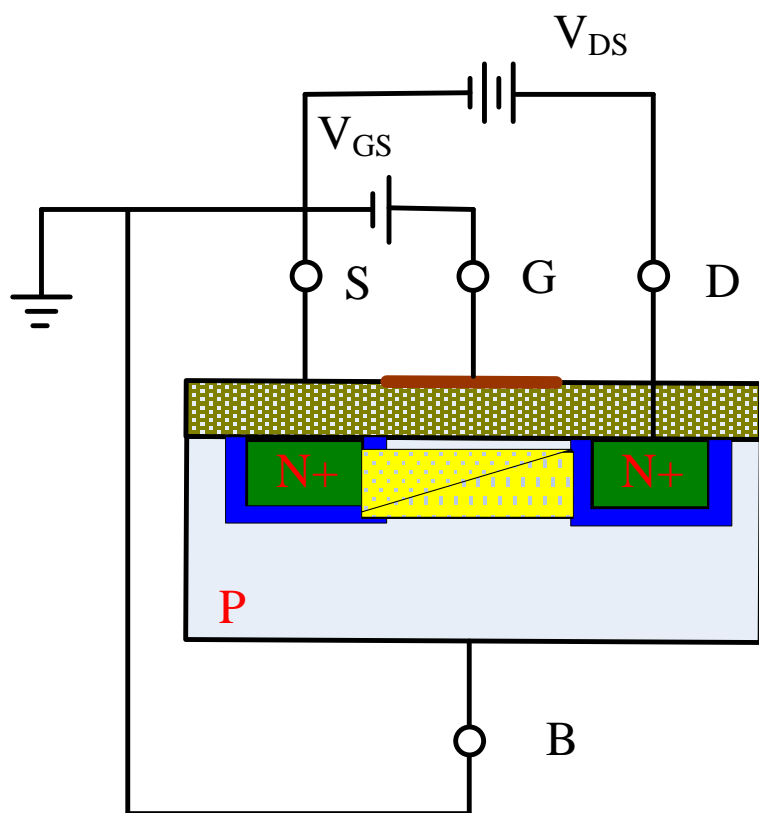


■ 说明

- 虽然MOSFET结构上也具有类似于JFET的对称性，但是一般B与S相连，因此D与S不能互换使用

1. 增强型MOSFET

■ 漏极伏安特性



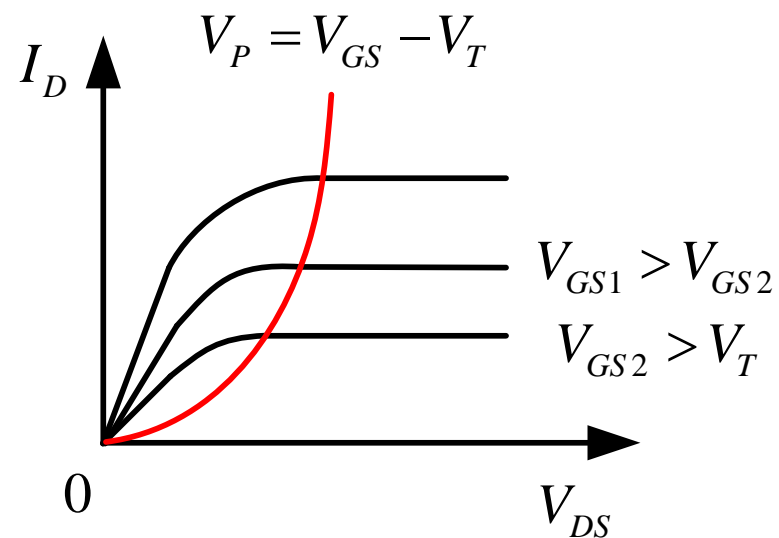
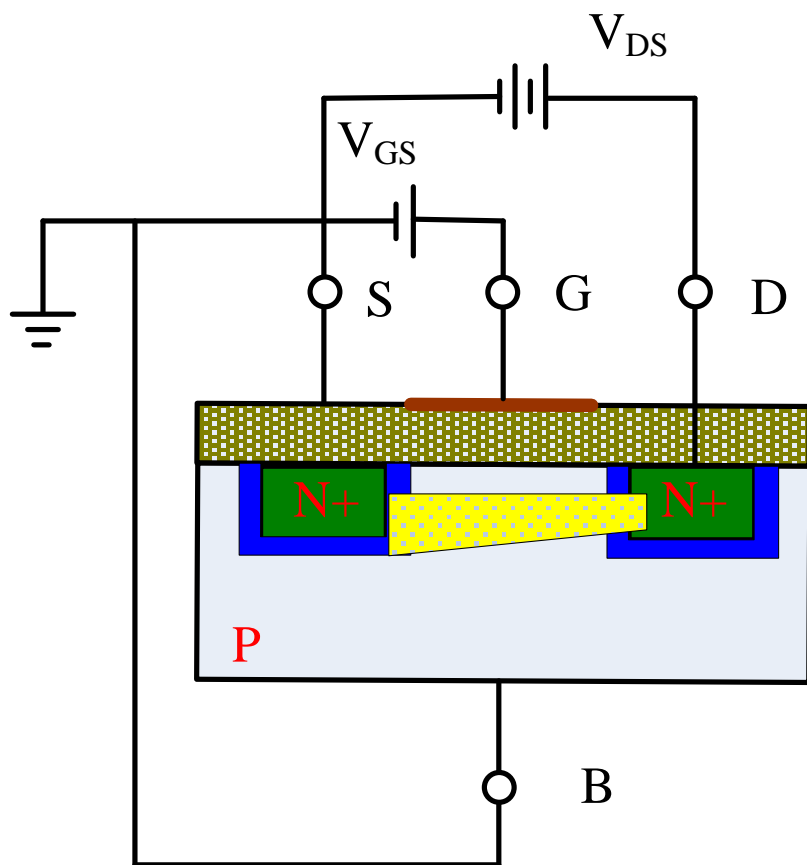
1. 增强型MOSFET

■ 预夹断电压 V_P

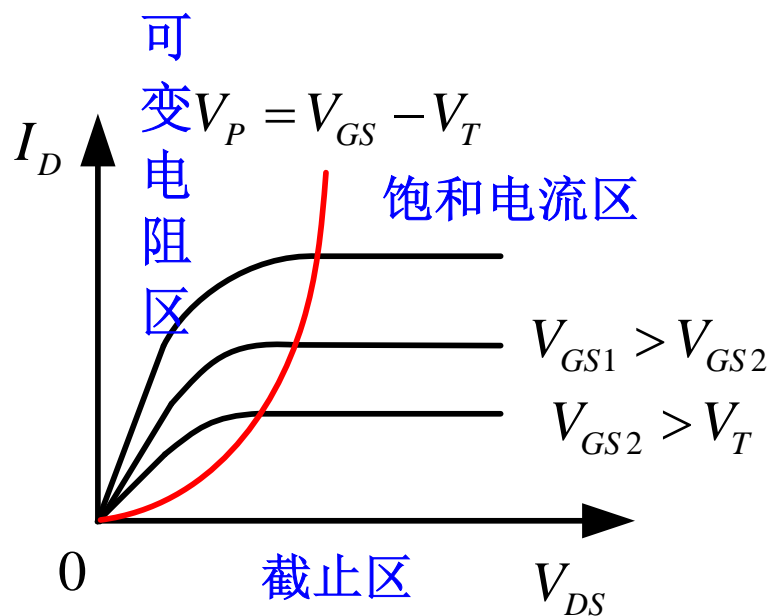
- 导电沟道恰好被夹断时对应的漏源电压 V_{DS} ，称为预夹断电压，记为 V_P ，且

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

1. 增强型MOSFET



1. 增强型MOSFET



1. 增强型MOSFET

■ 三个工作区

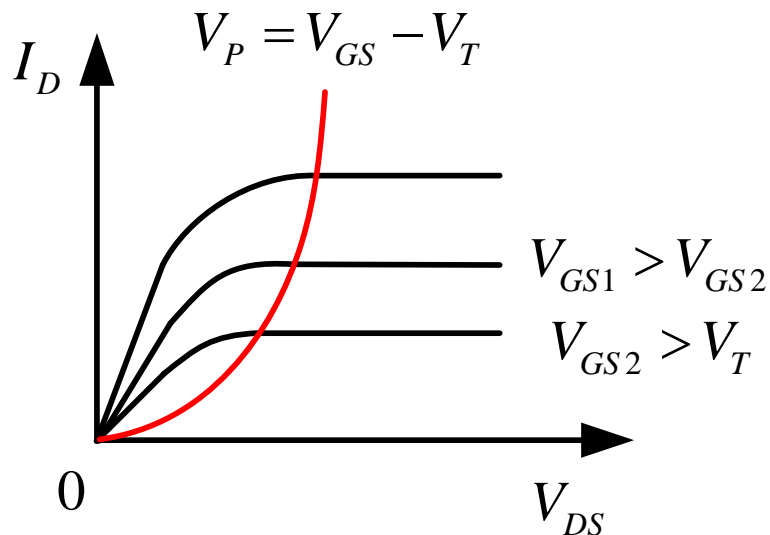
$$\text{饱和电流区: } \begin{cases} V_{DS} \geq V_P \\ V_T < V_{GS} \end{cases}$$

$$\text{可变电阻区: } \begin{cases} V_{DS} < V_P \\ V_T < V_{GS} \end{cases}$$

$$\text{截止区: } V_{GS} \leq V_T$$

1. 增强型MOSFET

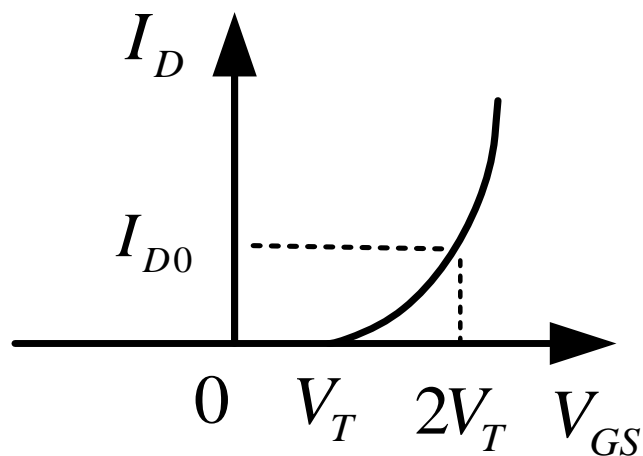
■ 转移特性



$$I_D = f(V_{DS}, V_{GS})$$

$$\Rightarrow I_D = f(V_{GS}) \Big|_{V_{DS} \geq V_P}$$

1. 增强型MOSFET



■ 转移特性方程

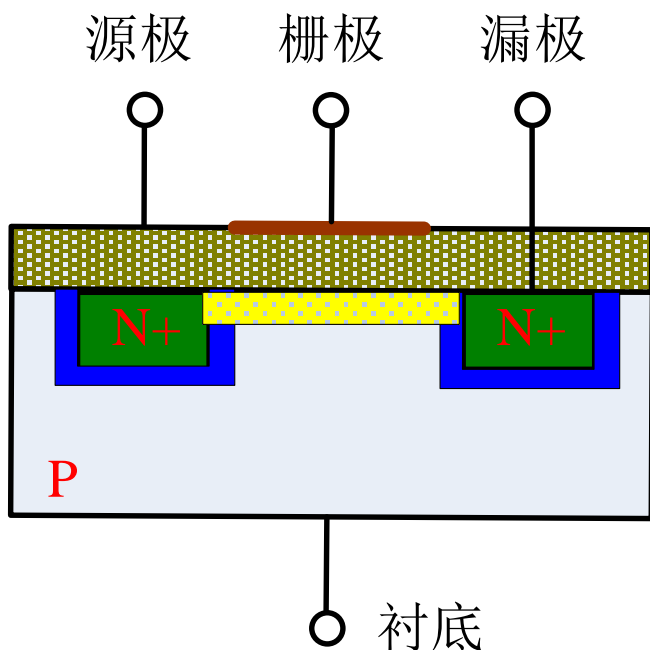
$$I_D = \begin{cases} I_{D0} \left(\frac{V_{GS}}{V_T} - 1 \right)^2 \\ K_n (V_{GS} - V_T)^2 \end{cases}$$

1. 增强型MOSFET

■ EMOS器件参数

$$\begin{cases} \text{饱和漏电流 } I_{D0} \\ \text{开启电压 } V_T \end{cases}$$

2. 耗尽型MOSFET



■ 基本结构

- 结构与**EMOS**基本相同
- 差异在于导电沟道的形成

■ 说明

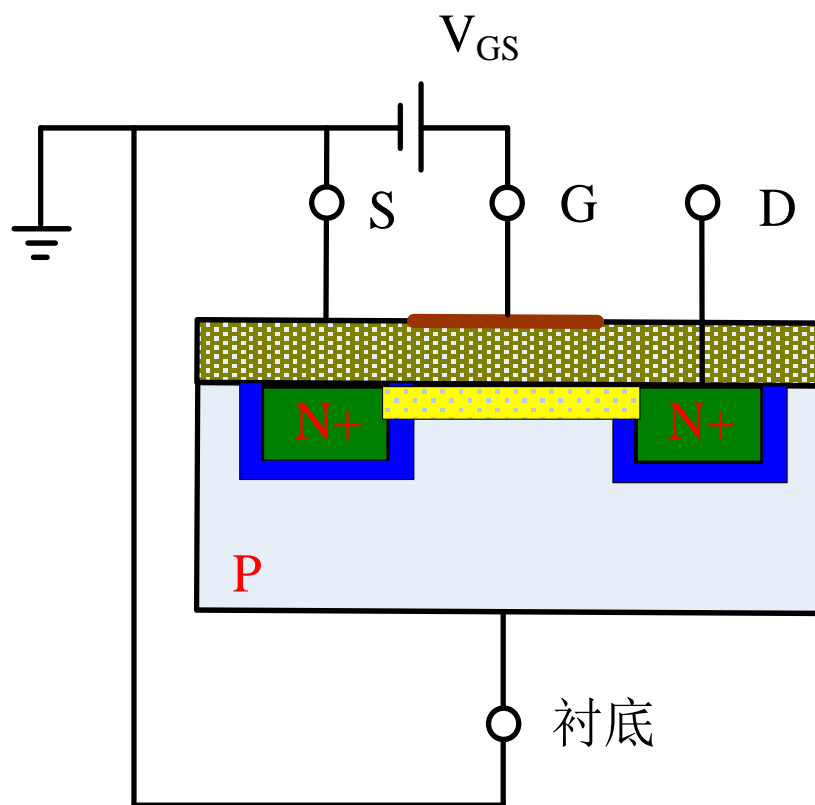
- 在制作过程中，预先在 SiO_2 绝缘层中掺入正离子，则可在衬底表面感应出电荷层，形成导电沟道
- 或直接采用掺杂工艺在衬底表面形成反型层作为导电沟道

2. 耗尽型MOSFET

■ 工作原理

- 工作原理与**EMOS**相同，即通过栅源电压 V_{GS} 控制反型层的厚度来控制沟道导电率，最终达到控制漏极电流 I_D 的目标

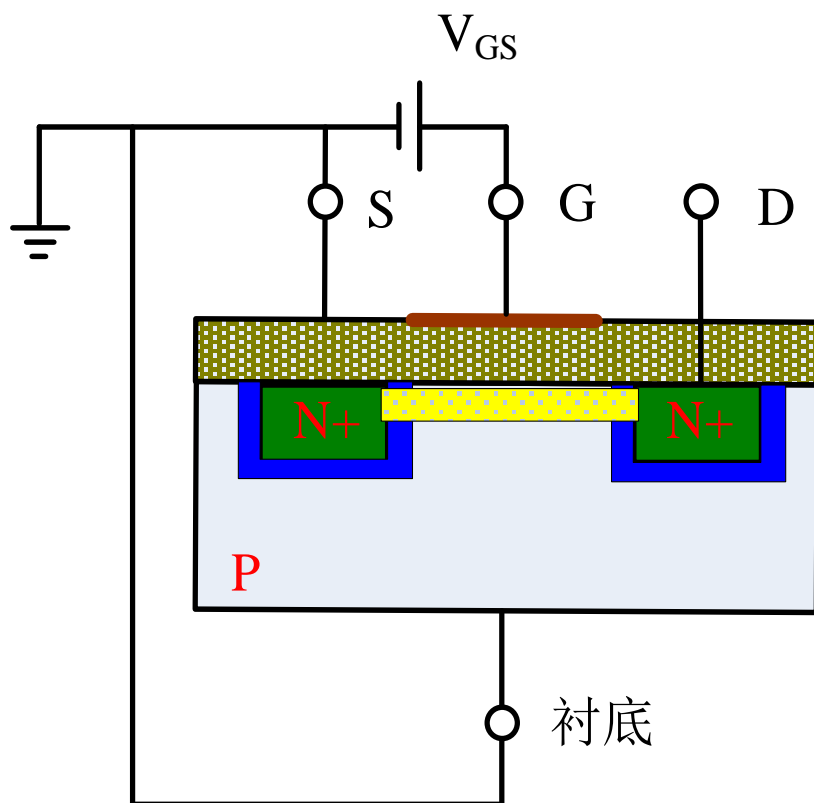
2. 耗尽型MOSFET



■ 夹断电压 V_{PG}

- 使DMOS导电沟道刚刚被夹断时对应的栅源电压值，称为DMOS夹断电压，记为 V_{PG}

2. 耗尽型MOSFET



■ V_{GS} 控制特点

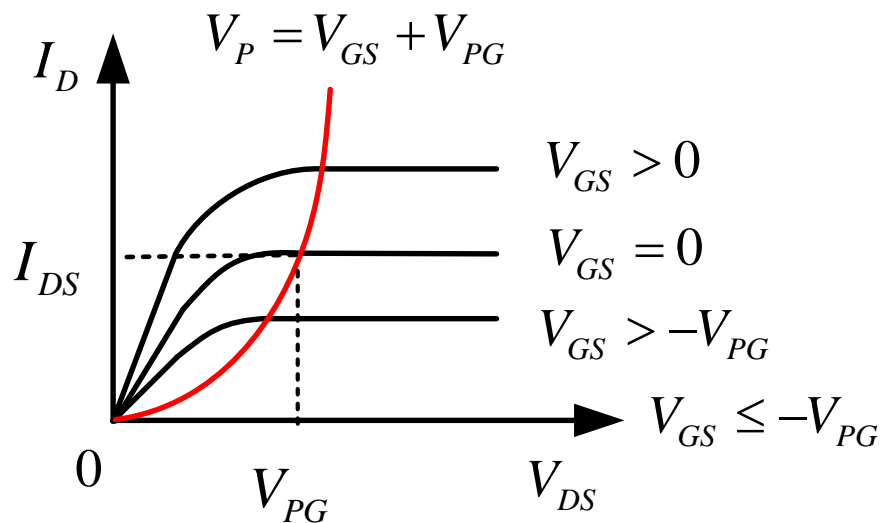
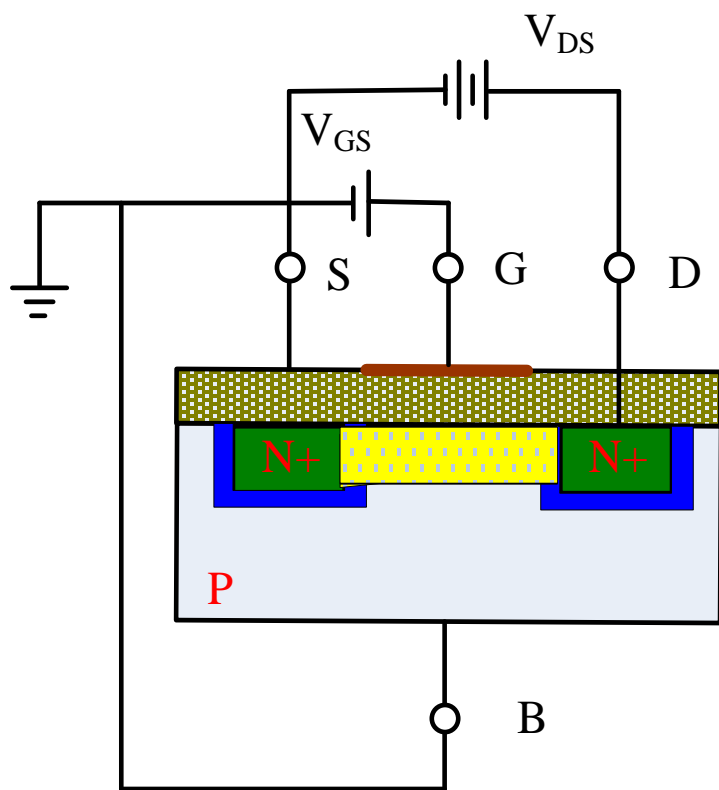
- 对N-DMOS而言，正常工作的前提条件是

$$V_{GS} > -V_{PG}$$

- 对N-DMOS而言，随着 V_{GS} 逐渐增大，沟道导电率逐渐上升

2. 耗尽型MOSFET

■ 漏极伏安特性



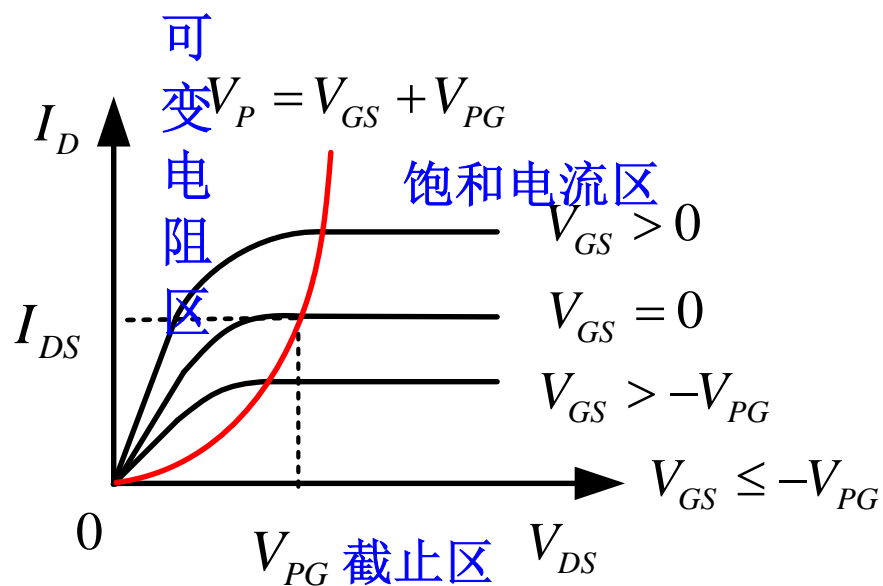
2. 耗尽型MOSFET

■ 预夹断电压 V_P

- 导电沟道恰好被夹断时对应的漏源电压 V_{DS} ，称为预夹断电压，记为 V_P ，且

$$V_P = V_{GS} + V_{PG}$$

2. 耗尽型MOSFET



2. 耗尽型MOSFET

■ 三个工作区

$$\text{饱和电流区: } \begin{cases} V_{DS} \geq V_P \\ -V_{PG} < V_{GS} \end{cases}$$

$$\text{可变电阻区: } \begin{cases} V_{DS} < V_P \\ -V_{PG} < V_{GS} \end{cases}$$

$$\text{截止区: } V_{GS} \leq -V_{PG}$$

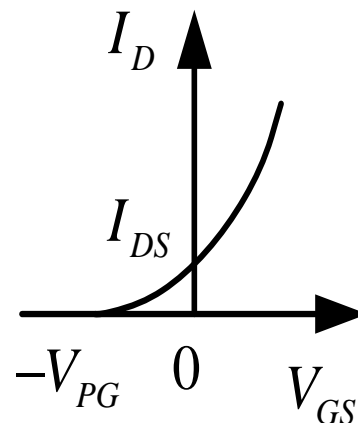
2. 耗尽型MOSFET

■ 转移特性 $I_D = f(V_{DS}, V_{GS})$

$$\Rightarrow I_D = f(V_{GS}) \Big|_{V_{DS} \geq V_P}$$

■ 转移特性方程

$$I_D = \begin{cases} I_{DS} \left(1 + \frac{V_{GS}}{V_{PG}} \right)^2 \\ K_n (V_{GS} + V_{PG})^2 \end{cases}$$



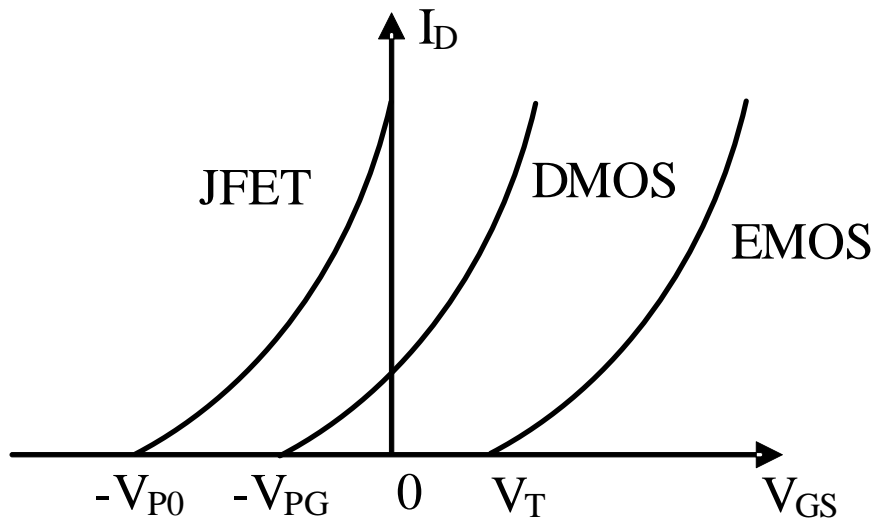
2. 耗尽型MOSFET

■ DMOS器件参数

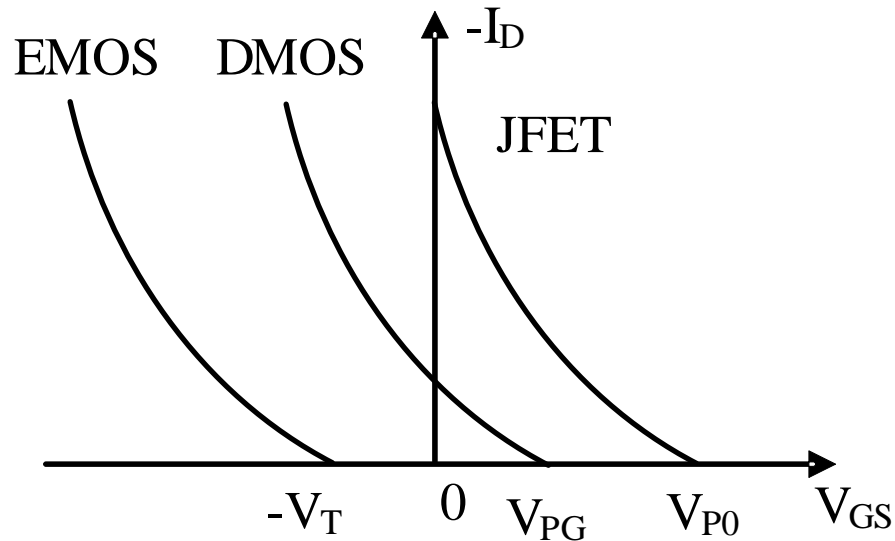
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{饱和漏电流 } I_{DS} \\ \text{夹断电压 } V_{PG} \end{array} \right.$$

各种FET对比

■ 各型FET转移特性对比



三种 N 沟道转移特性比较



三种 P 沟道转移特性比较

各种FET对比

■ JFET、EMOS与DMOS对比

- 相同点：各器件工作原理与伏安特性曲线形态相似
- 不同点：
 - 导电沟道形成机制各不相同
 - 器件参数各不相同
 - 偏置要求（工作前提条件）各不相同
- 对N/P型器件而言，两者的栅源控制电压 V_{GS} 反相，漏极电流 I_D 反相