

第八章 CMOS模拟集成电路

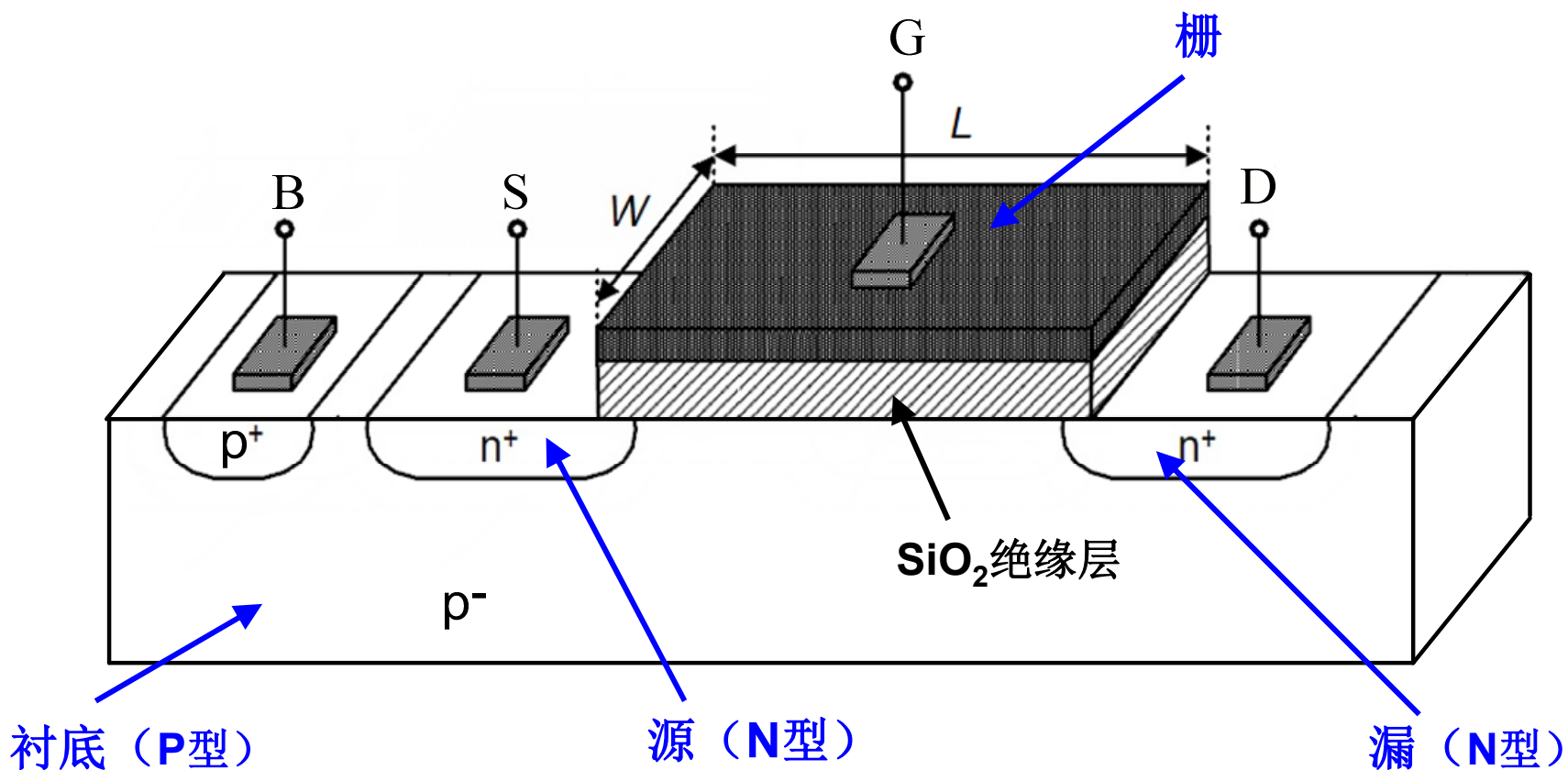
8.2 MOS晶体管类型

MOS晶体管类型

- ◆ 根据沟道的性质
 - NMOS管、PMOS管
- ◆ 根据栅极不加电压时，沟道是否已经存在
 - 增强型、耗尽型
- ◆ 4种类型的MOS管

| | |
|-------------|-------------|
| 增强型 NMOS | 耗尽型 NMOS |
| 增强型 PMOS | 耗尽型 PMOS |

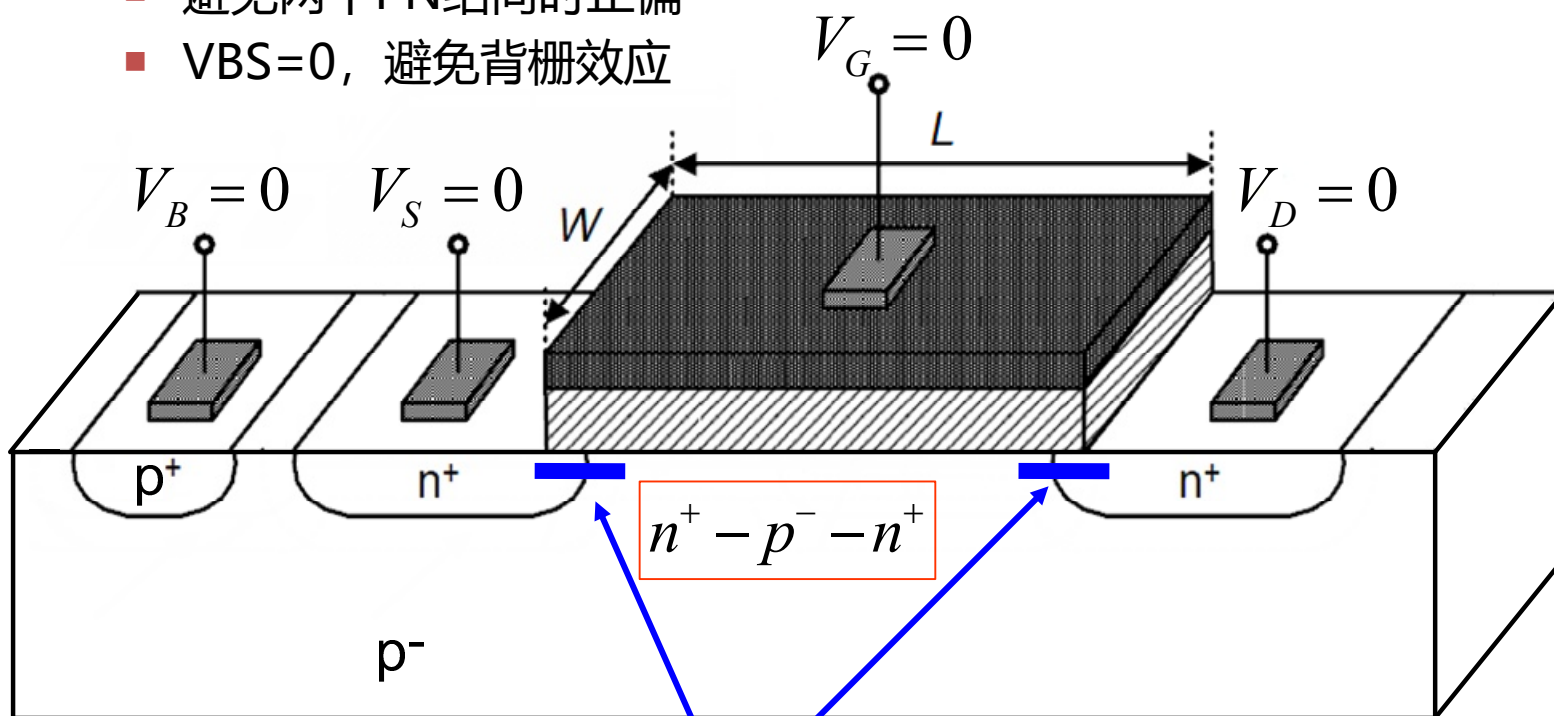
增强型NMOS晶体管



增强型NMOS晶体管

◆ 衬底接地

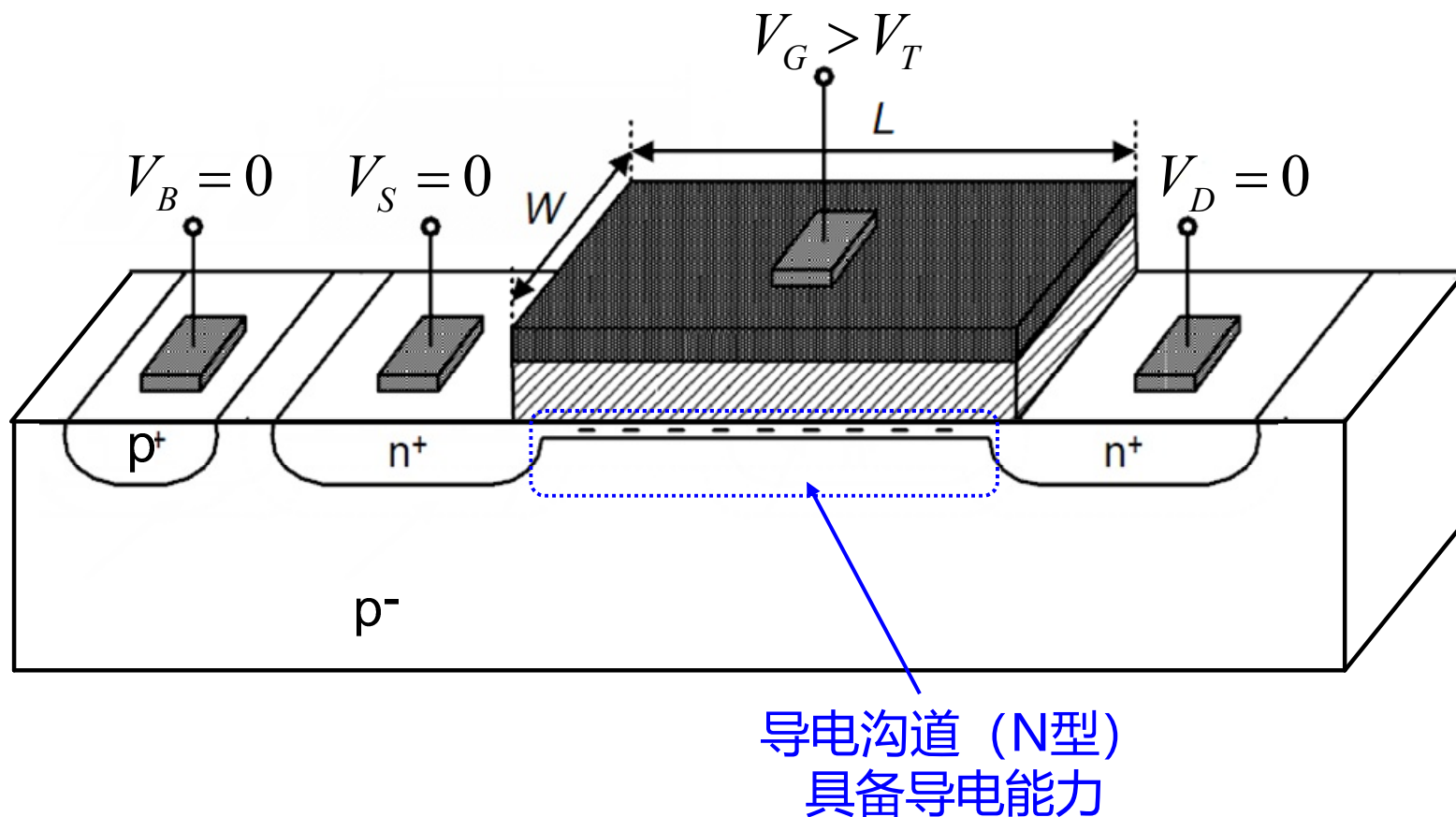
- 避免两个PN结同时正偏
- $V_{BS}=0$, 避免背栅效应



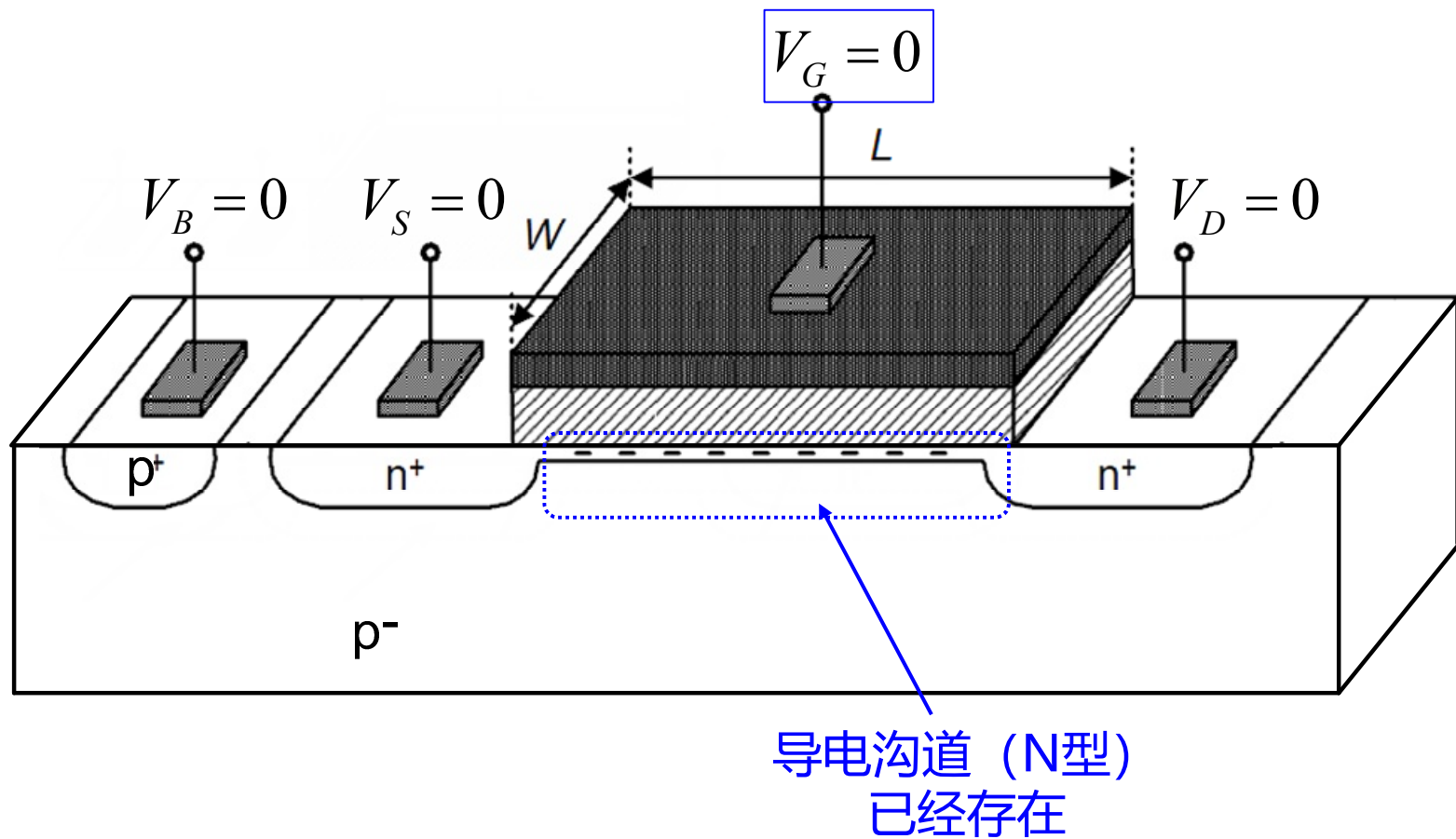
背靠背的两个PN结
源漏之间无法导电

增强型NMOS晶体管

- ◆ 栅源电压 > 阈值电压 $V_{GS} > V_T$



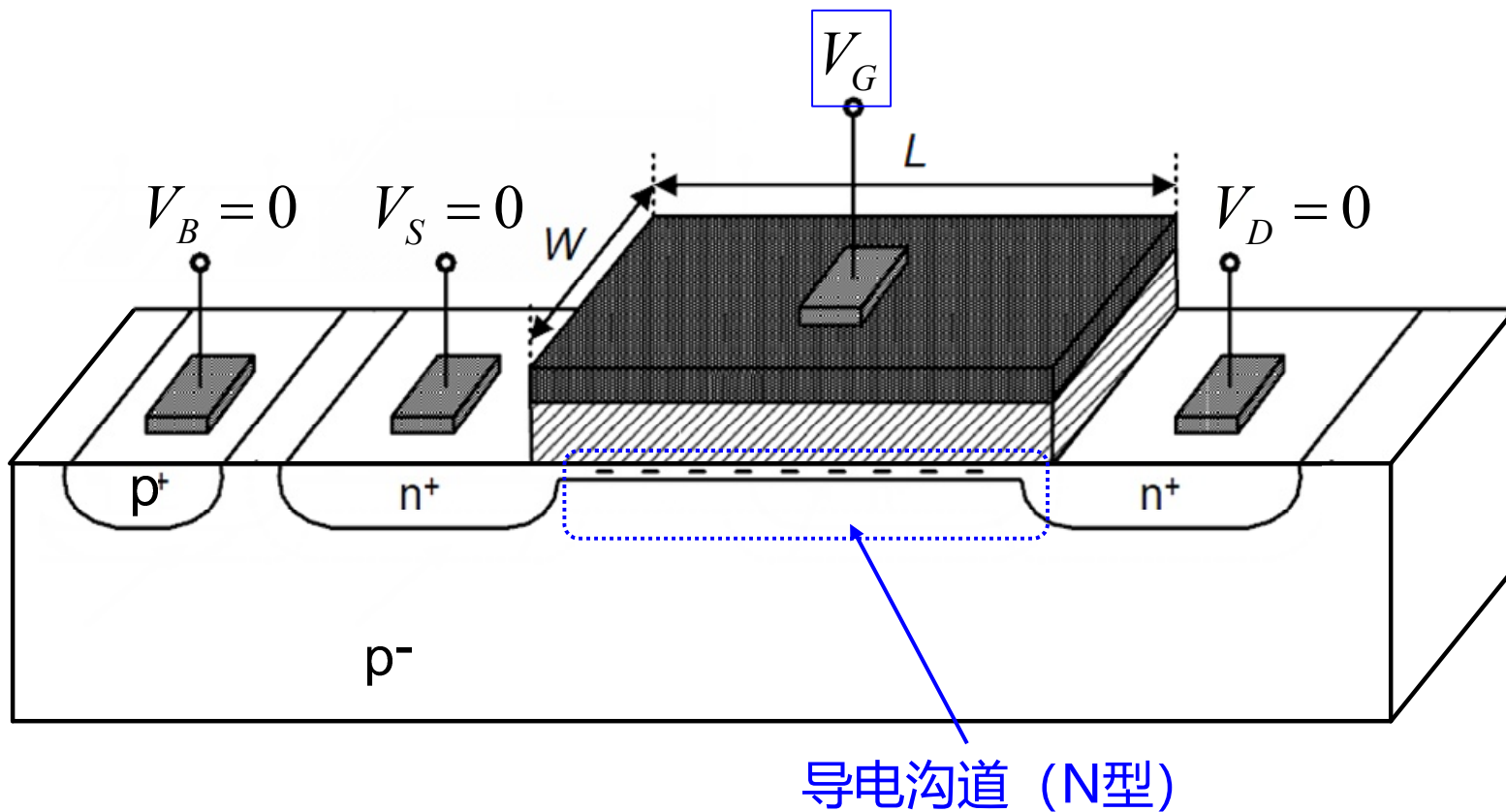
耗尽型NMOS管 $V_{GS} = 0$



耗尽型NMOS管

◆ 改变栅极电压

正电压 ($V_{GS} > 0$) :
沟道变深, 导电能力增大
负电压 ($V_{GS} < 0$) :
沟道变浅, 导电能力减弱

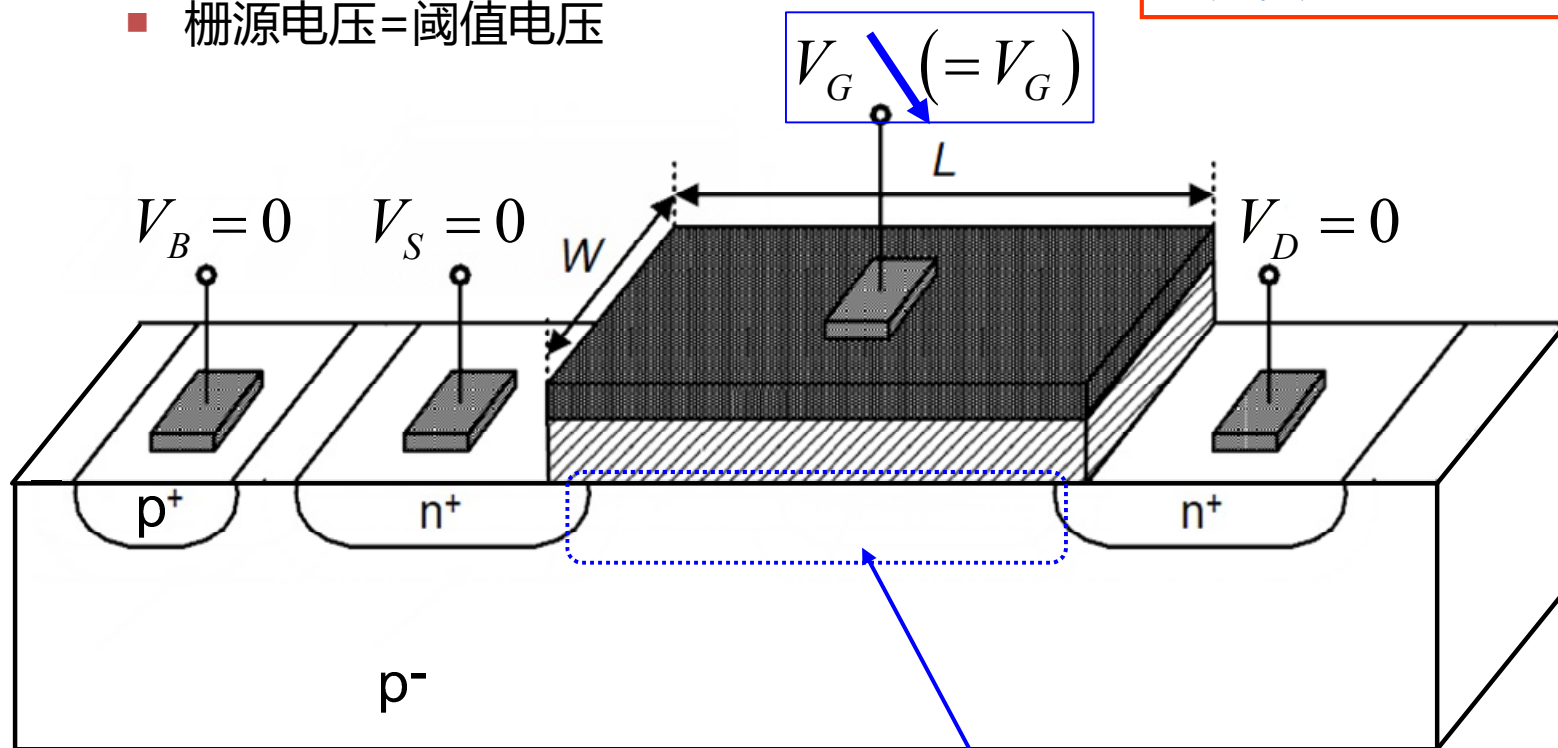


耗尽型NMOS管 $V_{GS} (< 0) = V_T$

阈值电压：
沟道消失对应的栅源电压

耗尽型NMOS管的阈值电压是负值

- ◆ 增大栅极施加的负电压
 - 栅源电压=阈值电压

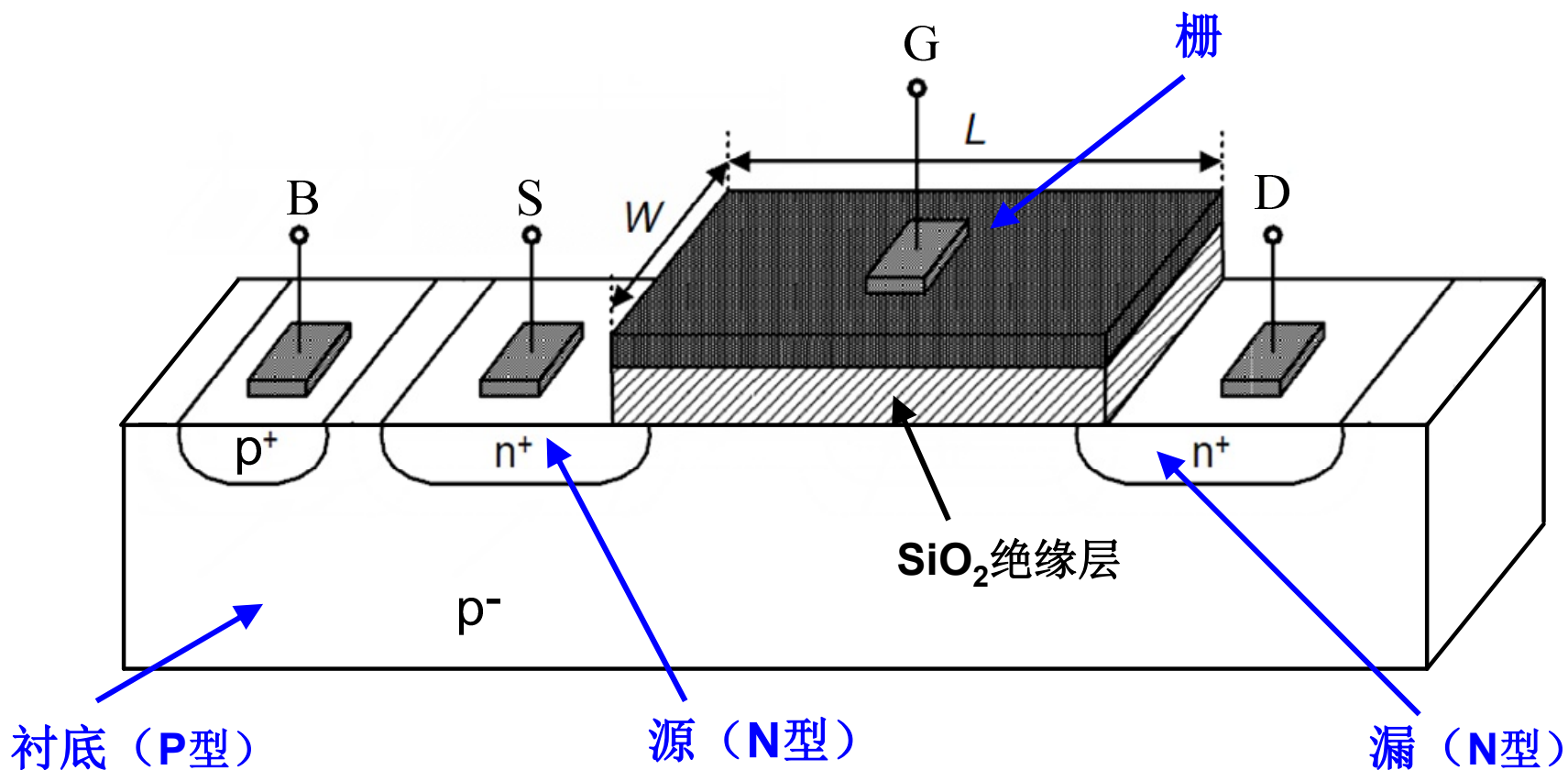


导电沟道消失
不具备导电能力

增强型NMOS管 vs 耗尽型NMOS管

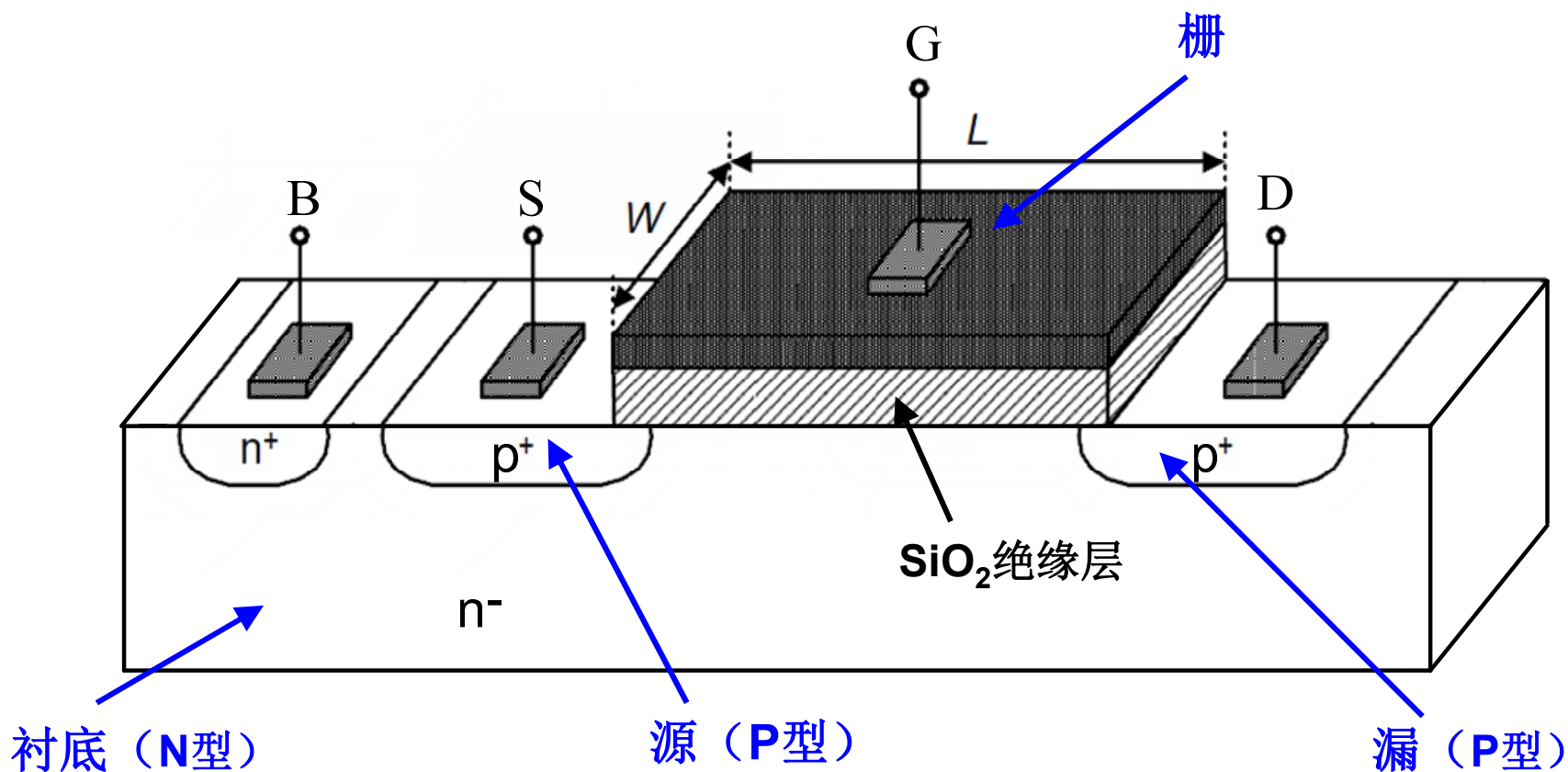
- ◆ 增强型NMOS管
 - ◆ 开关：常关
 - ◆ 栅极加正电压，把开关打开
 - ◆ 打开条件： $V_{GS} > V_T$
 - ◆ 阈值电压 V_T 是正值
- ◆ 耗尽型NMOS管
 - ◆ 开关：常开
 - ◆ 栅极加负电压，把开关关闭
 - ◆ 关闭条件： $V_{GS} < V_T$
 - ◆ 阈值电压 V_T 是负值

增强型NMOS晶体管



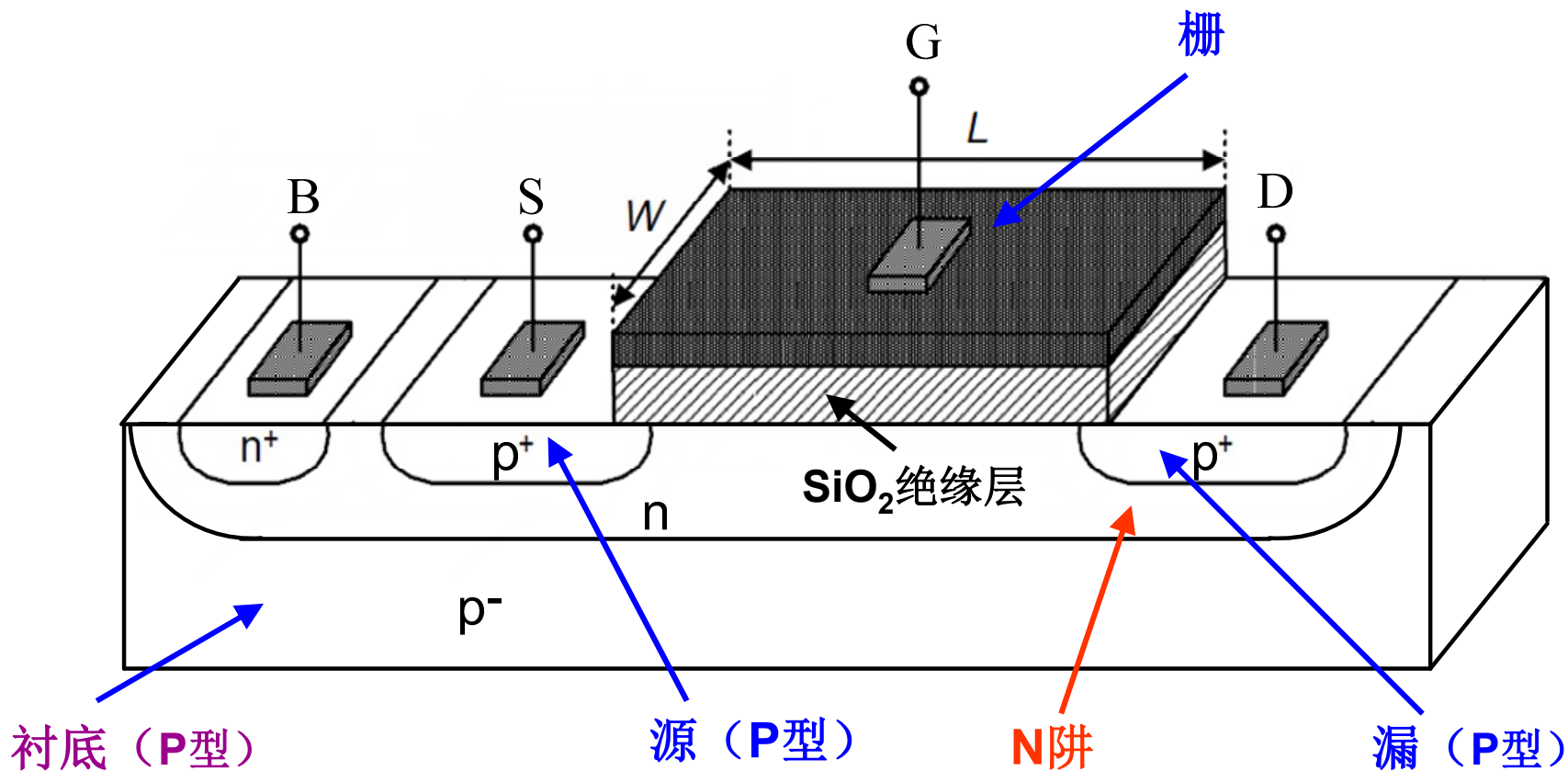
增强型PMOS晶体管

- ◆ PMOS管的结构、载流子、电压极性、电流方向都和NMOS管互补



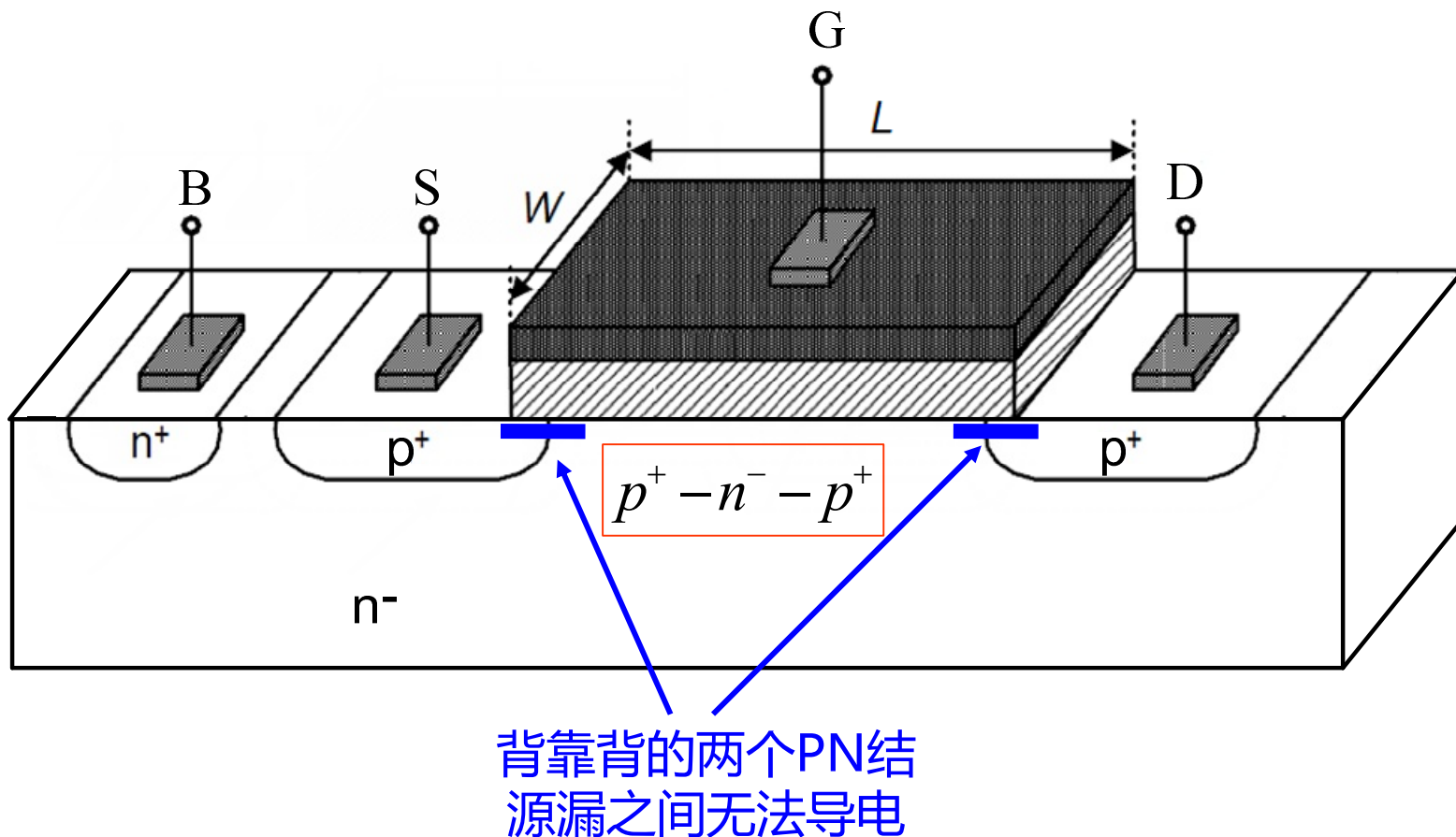
N阱CMOS工艺

- ◆ PMOS管位于P型衬底的N阱中



增强型PMOS晶体管导电原理

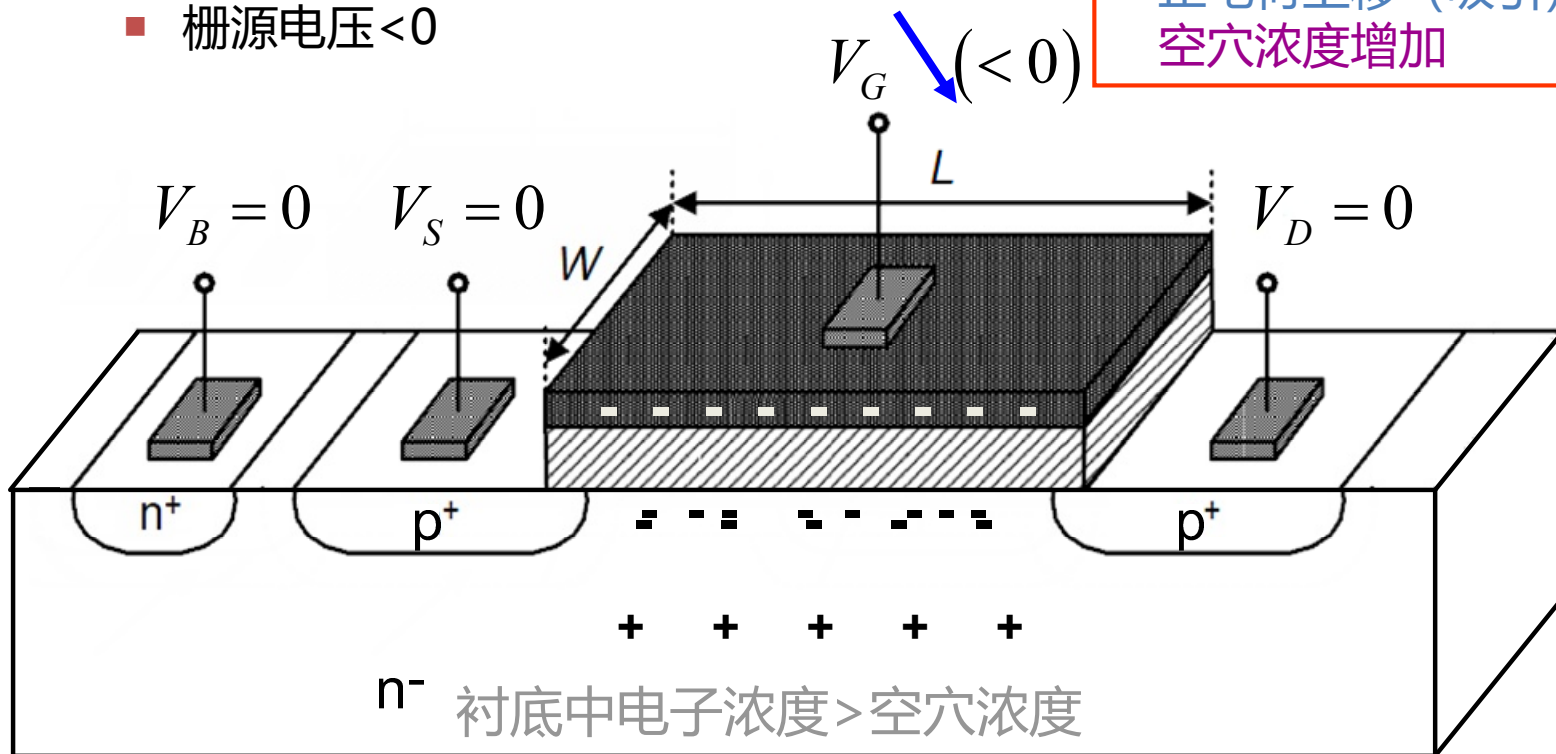
- ◆ 衬底必须接最高电压，以避免两个PN结同时正偏



栅源电压影响 $V_{GS} < 0$

- ◆ 栅极加负电压
 - 栅源电压 < 0

- ① 栅极：积聚负电荷
- ② 衬底中栅极正下方区域：
 - 负电荷下移（排斥）
 - 电子浓度减小
 - 正电荷上移（吸引）
 - 空穴浓度增加



此页原PPT有动画

栅源电压影响

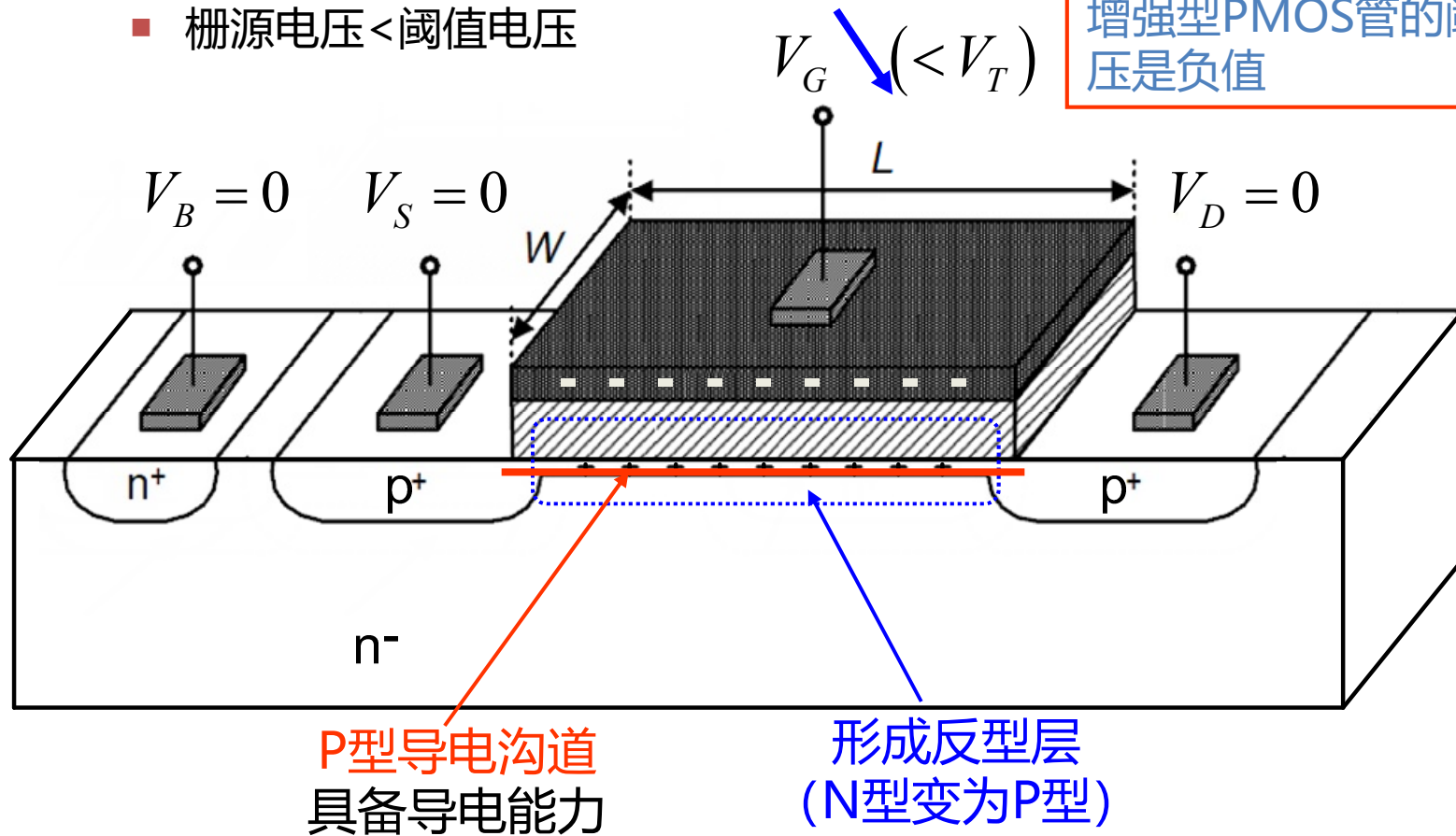
$$V_{GS} < V_T$$

$$|V_{GS}| > |V_T|$$

阈值电压：
衬底中栅极正下方的表面
区域电子浓度=空穴浓度
时，对应的栅源电压

- ◆ 增大栅极负电压
 - 栅源电压<阈值电压

增强型PMOS管的阈值电压是负值



增强型PMOS晶体管

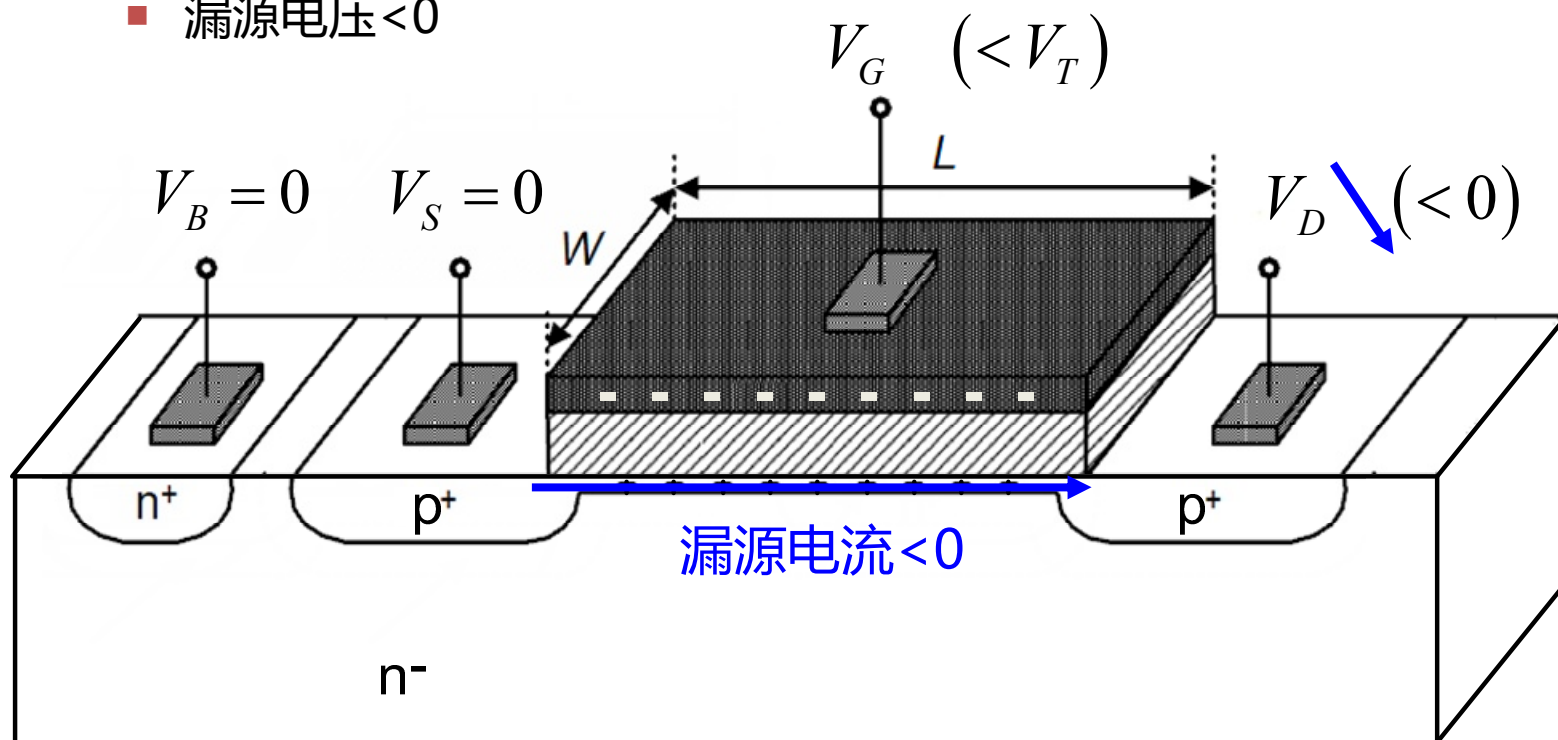
栅源电压影响

$$V_{GS} < V_T$$

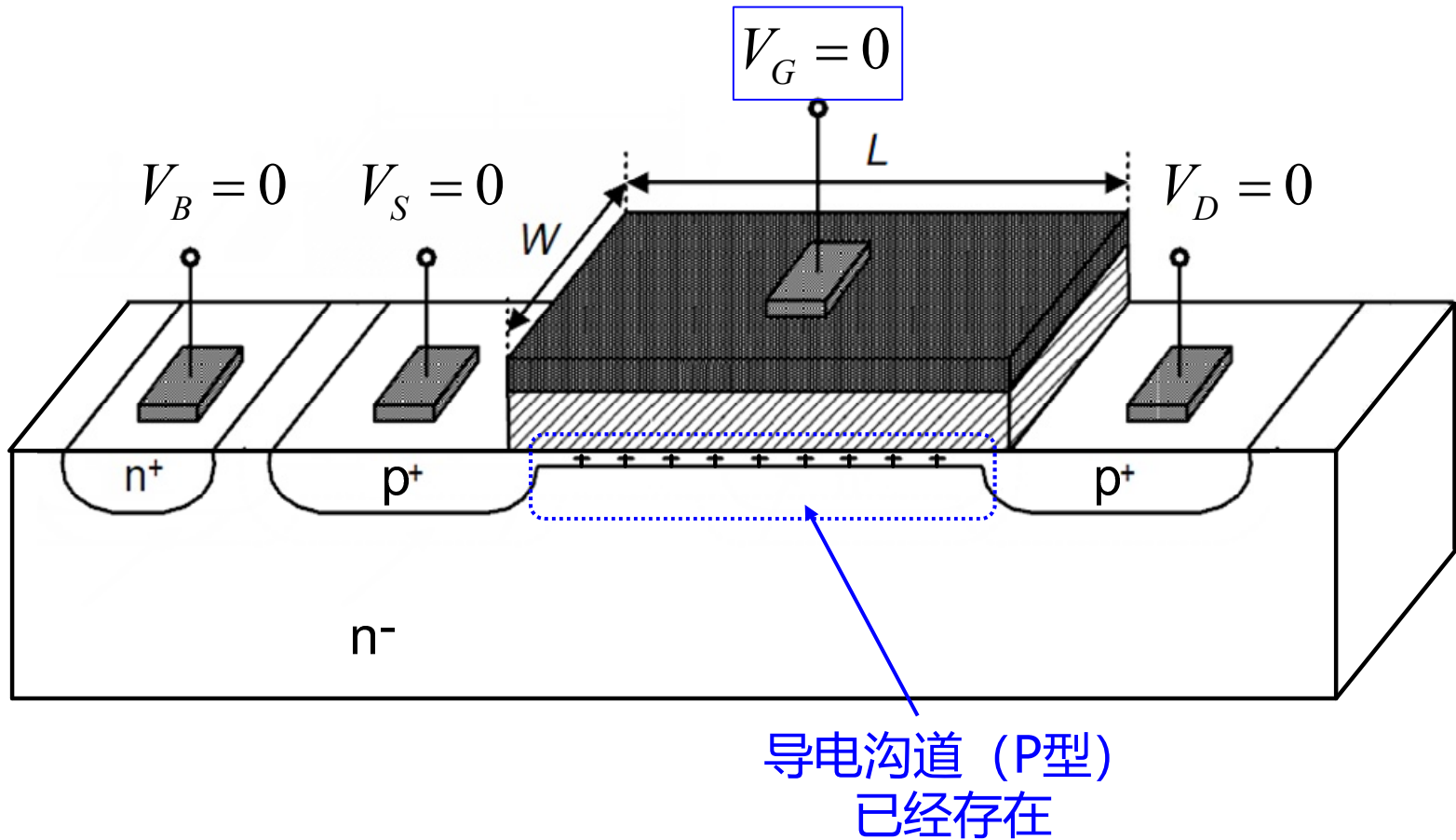
$$|V_{GS}| > |V_T|$$

◆ 栅极电压不变，漏极加负电压

■ 漏源电压 < 0



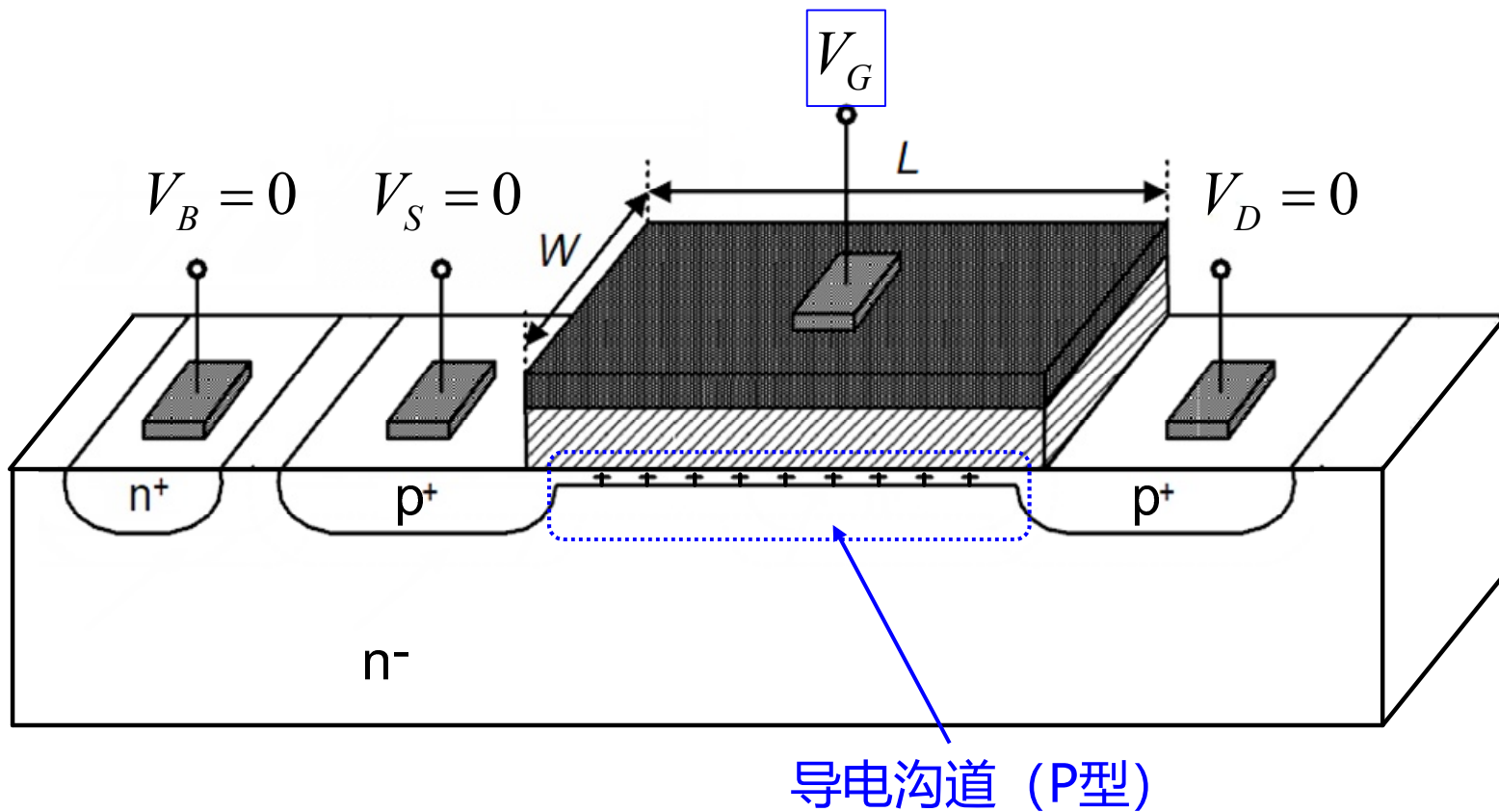
耗尽型PMOS管 $V_{GS} = 0$



耗尽型PMOS管

◆ 改变栅极电压

负电压 ($V_{GS} < 0$) :
沟道变深, 导电能力增大
正电压 ($V_{GS} > 0$) :
沟道变浅, 导电能力减弱



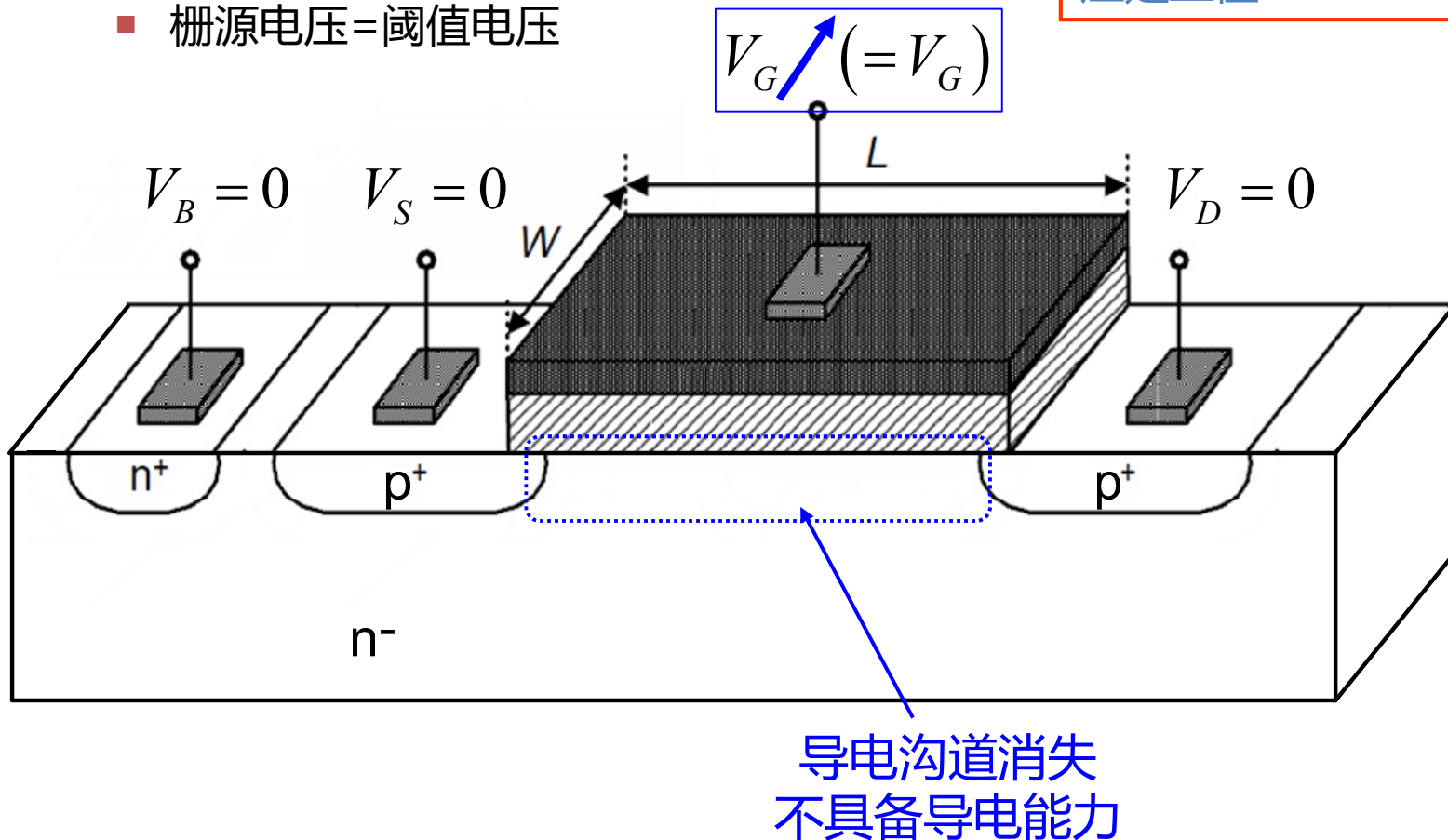
耗尽型PMOS管 $V_{GS}(>0) = V_T$

阈值电压：
沟道消失对应的栅源电压

耗尽型PMOS管的阈值电压是正值

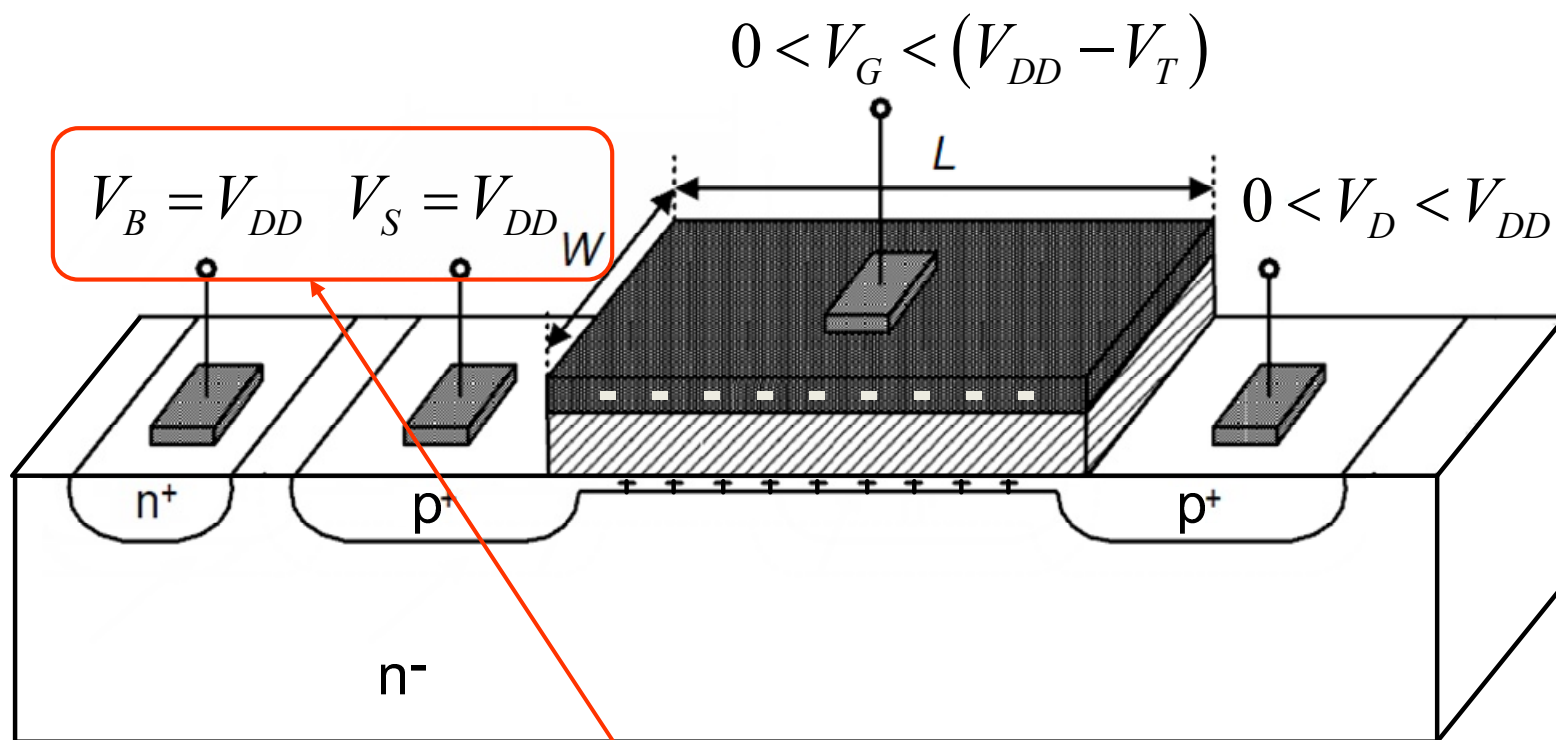
◆ 增大栅极施加的正电压

- 栅源电压=阈值电压



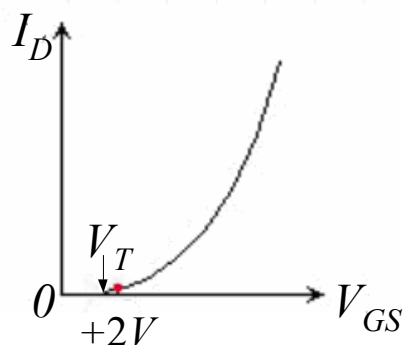
PMOS晶体管加电方式

- ◆ 不需要使用负电压

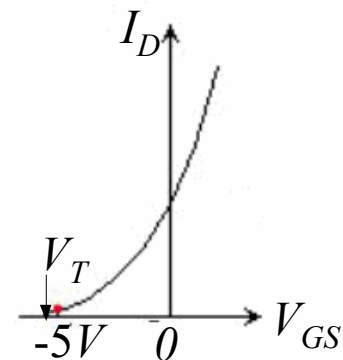


漏与衬底电压相同
 $V_{BS}=0$, 避免背栅效应

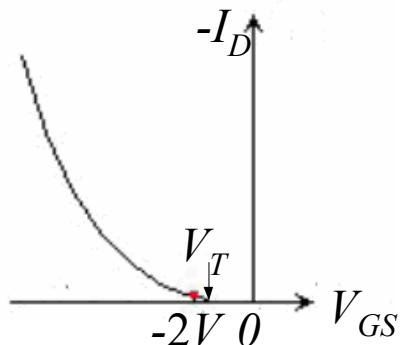
MOS晶体管转移特性



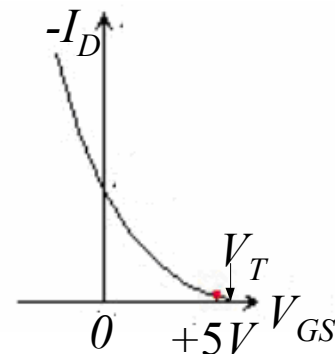
增强型NMOS管



耗尽型NMOS管

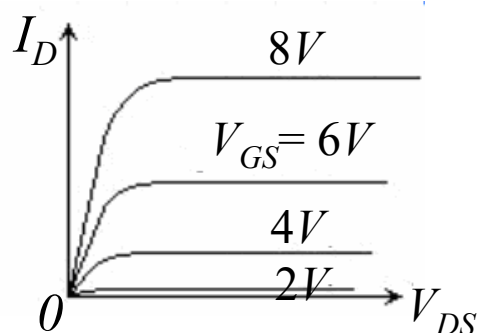


增强型PMOS管

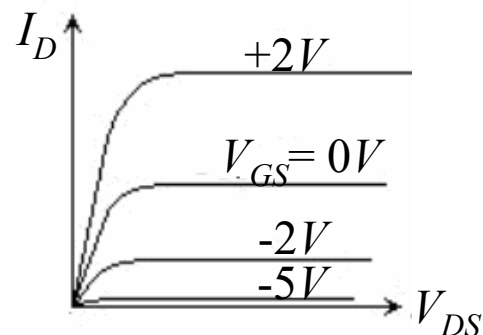


耗尽型PMOS管

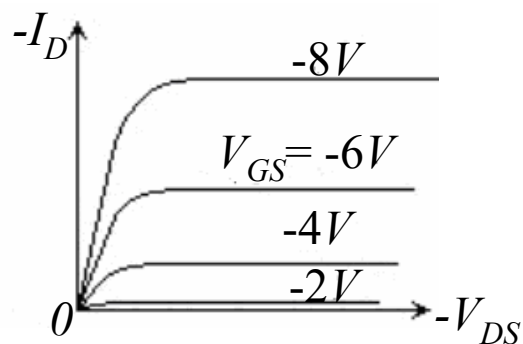
MOS晶体管输出特性



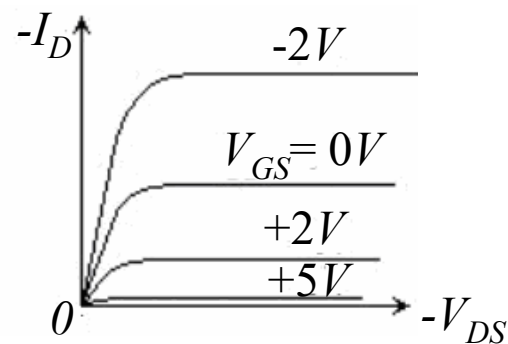
增强型NMOS管



耗尽型NMOS管



增强型PMOS管



耗尽型PMOS管

小结

- ◆ 常见的MOS管以增强型为主
 - NMOS管默认指增强型NMOS管
 - PMOS管默认指增强型PMOS管
- ◆ NMOS管和PMOS管,
- ◆ 除了电压、电流的极性不同之外, 因为载流子不一样 (NMOS管是电子, PMOS管是空穴), 两者特性也会有所区别