

3.3 场效应管

场效应管用**FET**表示（**Field Effect Transistor**）。利用输入回路的电场效应控制输出回路电流的一种半导体器件，具有输入电阻高、热稳定性好、工艺简单、易于集成等优点。

- 场效应管分类：**Metal-Oxide-Semiconductor**
- 绝缘栅型**IGFET**(或**MOS**)（**Insulated Gate Type**）
 - 增强型**MOS**（**Enhancement**）
 - 耗尽型**MOS**（**Depletion**）
- 结型**JFET**（**Junction Type**）
 - 本质上是耗尽型

耗尽型：场效应管没有加偏置电压时，导电沟道就已经存在

增强型：场效应管只有加偏置电压时，才有导电沟道

场效应管的分类：

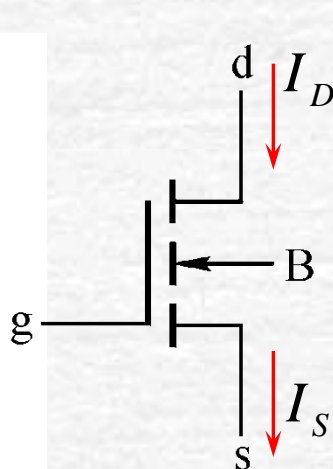
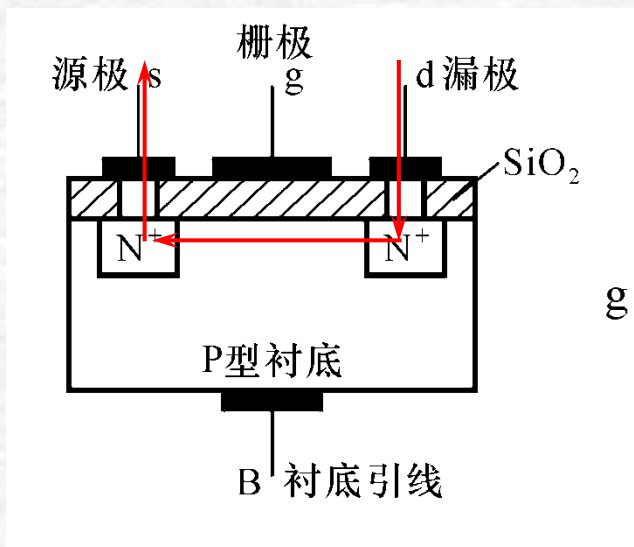


N沟道—电子导电，P沟道—空穴导电

场效应管又称单极型晶体管。

一、绝缘栅场效应管（IGFET）

增强型NMOS管



s: Source 源极

d: Drain 漏极

g: Gate 栅极

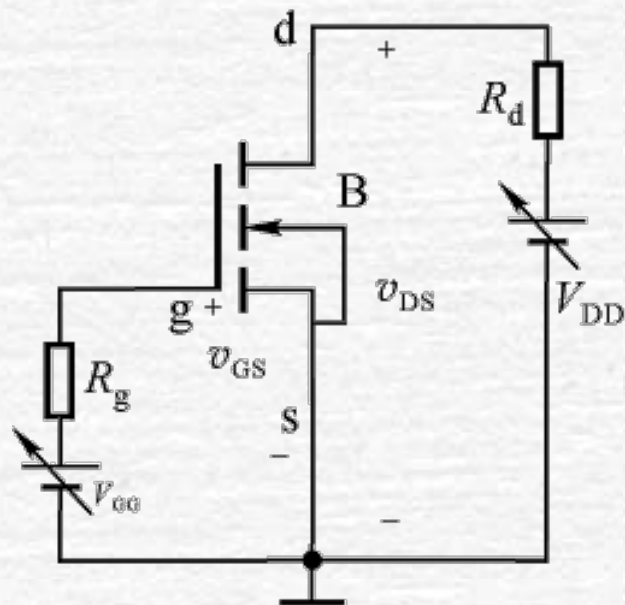
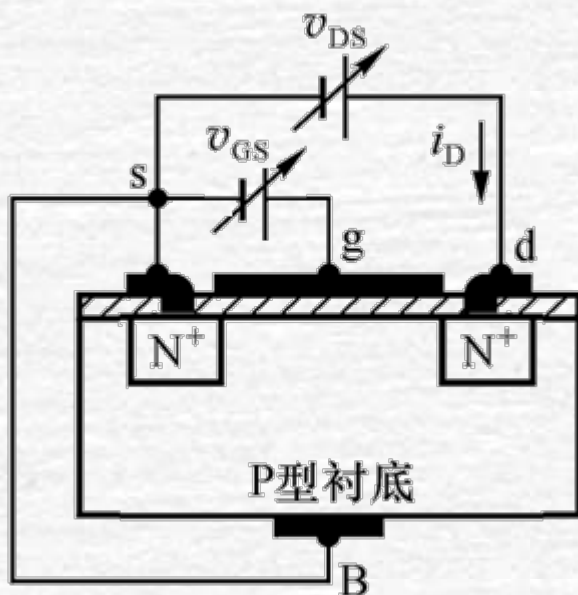
B: Base 衬底

在低掺杂P型衬底上扩散2个高浓度N⁺区，P型表面用热氧化方法生成SiO₂绝缘层，在N⁺区加铝线引出电极。

MOS管的栅极与其它电极被SiO₂绝缘层隔开了，所以称为绝缘栅，栅极输入电阻近似为 ∞ ， $i_G \approx 0$ 。

1. 增强型NMOS管的工作原理

正常工作时外加电源电压的配置

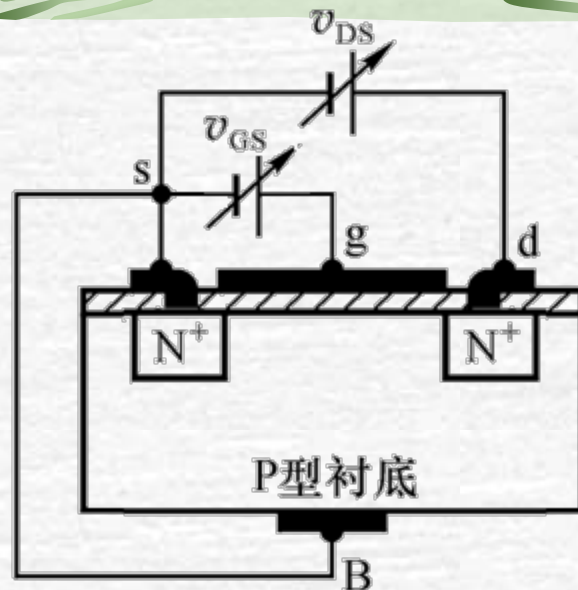
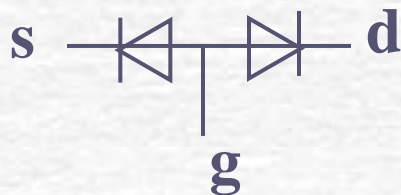


正常工作时，**B**和**s**通常接在一起

工作原理:

① $v_{GS}=0$, v_{DS} 较小: s、d之间没有导电沟道(漏源间只是两个“背向”串联的PN结), 所以d-s间呈现高阻,

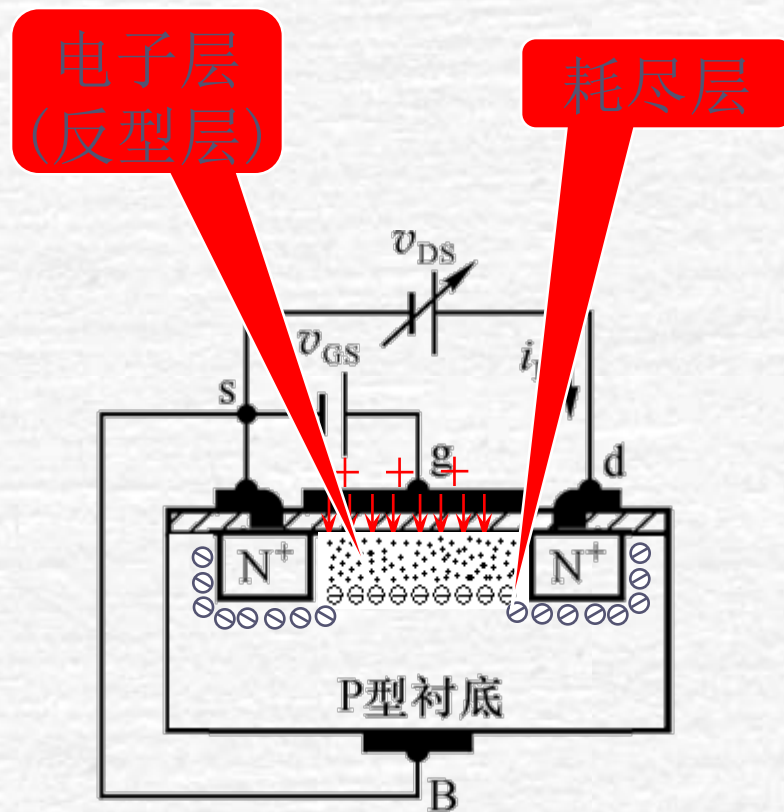
$i_D \approx 0$ 。



$v_{GS}=0$, v_{DS} 较小时示意图

② 当 $v_{GS} > 0$ ，栅极与衬底之间产生一个垂直电场 (方向为由栅极指向衬底), P型区空穴向下移动, 剩下不能移动负离子形成耗尽层;

当 v_{GS} 增强到足够大: 耗尽层下移, 漏-源之间的P型硅表面感应出电子层, 使两个 N^+ 区连通, 形成 **N型导电沟道**。绝缘层与耗尽层之间形成一个N型薄区 (反型层)。

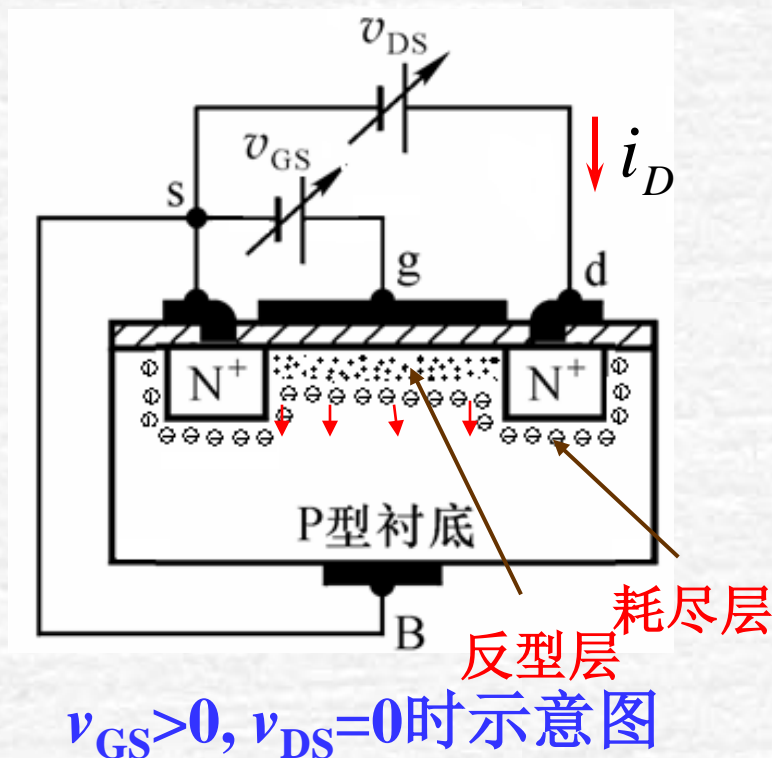


$v_{GS} > 0, v_{DS} = 0$ 时示意图

开始形成导电沟道所需的最小电压称为**开启电压**
 $V_{GS(th)}$ (习惯上常表示为 V_T)。

$v_{GS} > V_T$ 时:

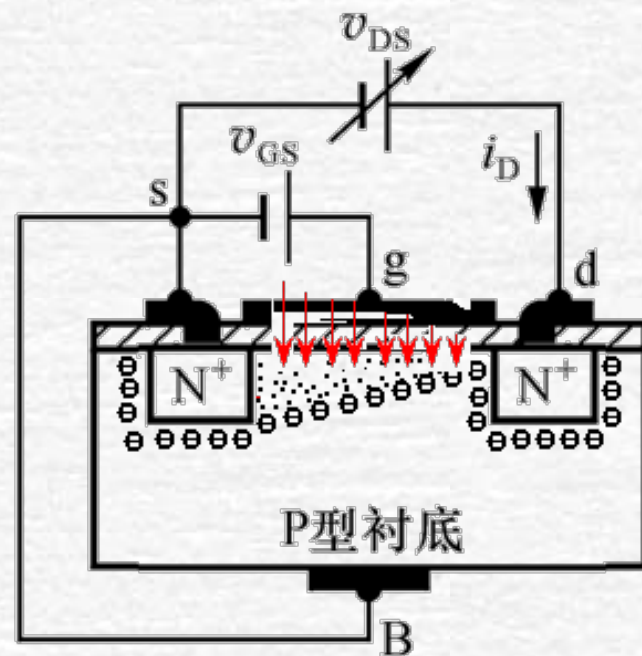
v_{GS} 使漏-源之间的P型硅表面感应出电子层(反型层)使两个 N^+ 区连通, 形成**N型导电沟道**。
 d 、 s 间呈低阻, 所以在 v_{DS} 的作用下产生一定的漏极电流 i_D 。



当 $v_{GS} = 0$ 时没有导电沟道, 而当 v_{GS} 增强到 $> V_T$ 时才形成沟道, 所以称为**增强型MOS管**。并且 v_{GS} 越大, 导电沟道越厚, 等效电阻越小, v_{DS} 一定 i_D 越大。

v_{GS} 对 i_D 具有控制作用

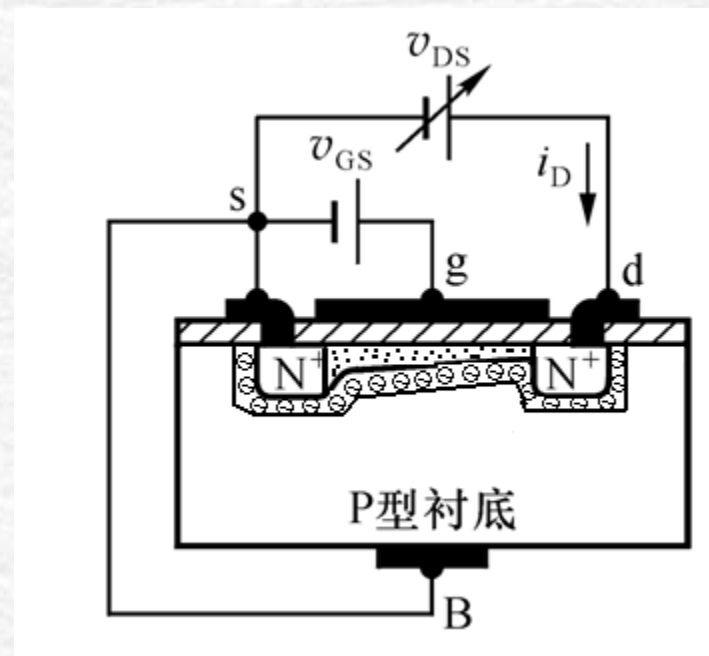
③ 当 $V_{GS} > V_T$ 且为定值， $V_{DS} > 0$ 后，漏-源电压 v_{DS} 产生横向电场：由于沟道电阻的存在， i_D 沿沟道方向所产生的电压降使沟道上的电场产生不均匀分布。近 s 端电压差较高为 v_{GS} ；近 d 端电压差较低，为 $v_{GD} = v_{GS} - v_{DS}$ ，所以沟道的形状呈楔形分布。



$v_{GS} > 0, v_{DS} > 0$ 时示意图

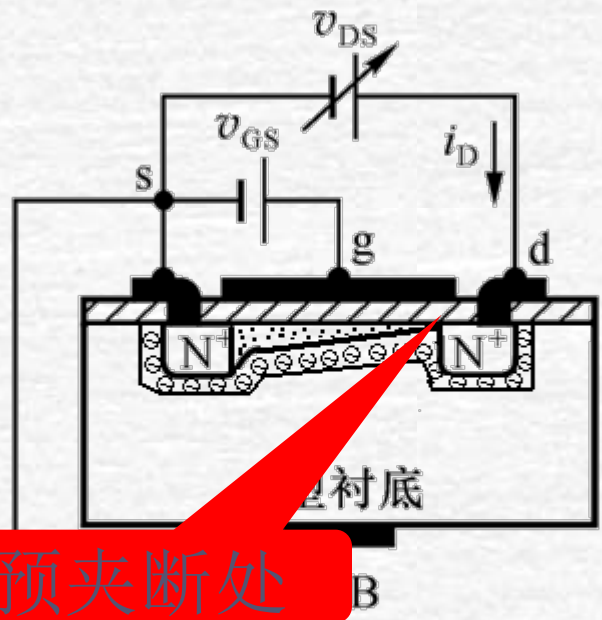
- 当 v_{DS} 较小时： v_{DS} 对导电沟道的影响不大，沟道主要受 v_{GS} 控制，所以 v_{GS} 为定值时，沟道电阻保持不变， i_D 随 v_{DS} 增加而线性增加。

注意：此时，栅漏间的电压 v_{GD} 大于开启电压，沟道尚未夹断。



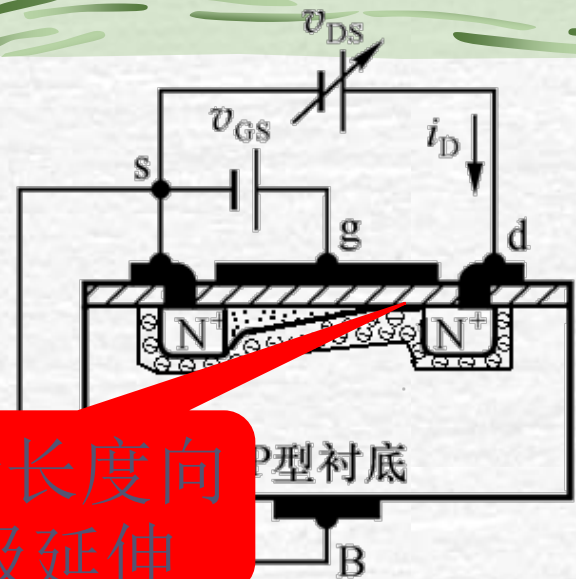
$$v_{GD} = v_{GS} - v_{DS} > V_T$$
$$0 < v_{DS} < v_{GS} - V_T$$

- 当 v_{DS} 增加到 $v_{GD} = v_{GS} - v_{DS} = V_T$ 时（即 $v_{DS} = v_{GS} - V_T$ ）栅漏电压为开启电压时，漏端的感应电子层刚好处于临界状态，此时，称为“预夹断”。



$$v_{GD} = v_{GS} - v_{DS} = V_T$$

● 当 v_{DS} 再增加时（即 $v_{GD} = v_{GS} - v_{DS} < V_T$ 或 $v_{DS} > v_{GS} - V_T$ ）： i_D 将不再增加而基本保持不变。因为 v_{DS} 再增加时，近漏端上的预夹断点向 s 极延伸，使 v_{DS} 的增加部分降落在预夹断区，以维持 i_D 的恒流特点。



夹断长度向
S极延伸

$$v_{GD} = v_{GS} - v_{DS} < V_T$$

$$v_{DS} > v_{GS} - V_T$$

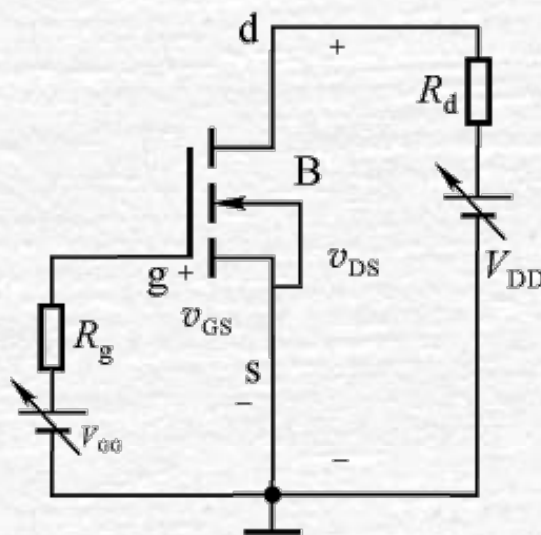
在 $v_{DS} > v_{GS} - V_T$ 或 $v_{GD} = v_{GS} - v_{DS} < V_T$ 时，不同的 v_{GS} 对应不同的 i_D ，电压 v_{GS} 控制的电流源 i_D 。

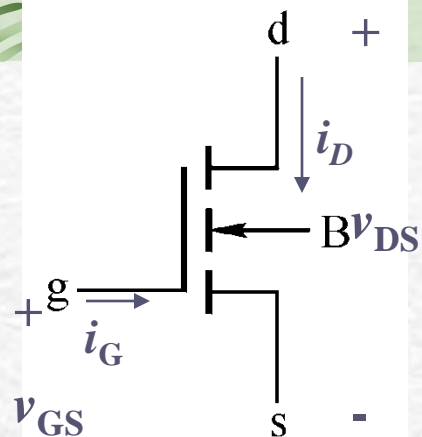
2. 伏安特性与电流方程

(1) 输出特性(漏极特性)

表示漏极电流 i_D 与漏-源电压 v_{DS} 之间的关系

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



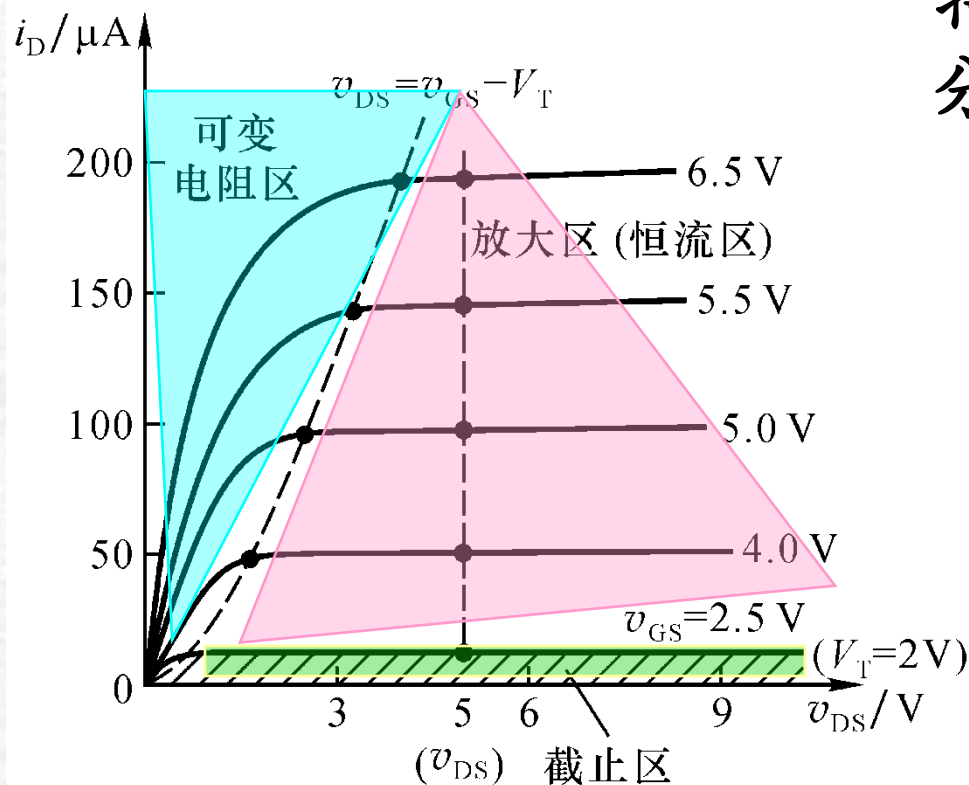


表示漏极电流 i_D 与漏-源电压 v_{DS} 之间的关系

$$i_D = f(v_{DS}) \big|_{v_{GS} = \text{const}}$$

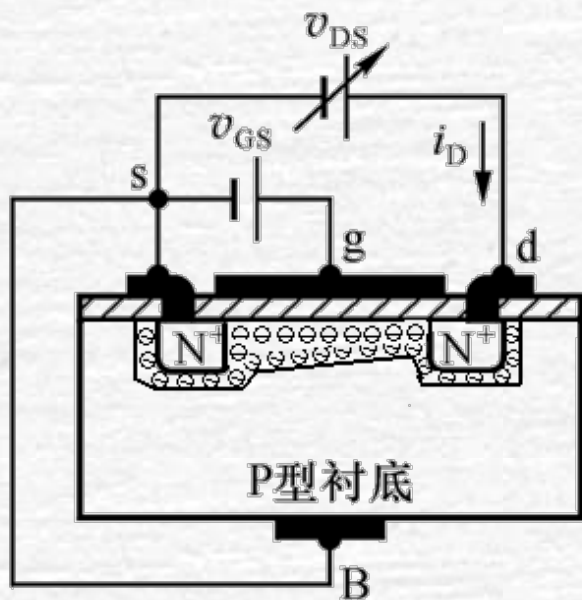
特性与BJT三极管相似，
分为3个工作区：

- 截止区
- 可变电阻区
- 放大区(恒流区、饱和区)

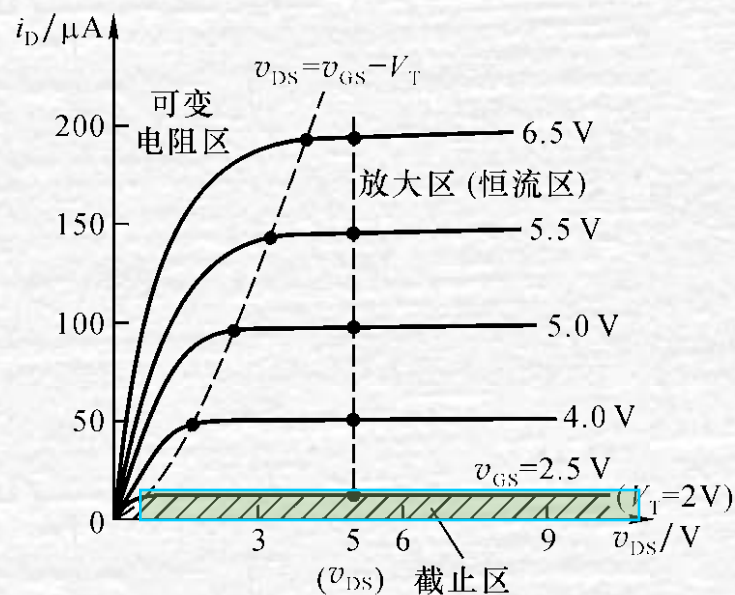


▲截止区 又称夹断区，管子没有导电沟道时的状态。

满足的条件为： $v_{GS} < V_T$ $i_D \approx 0$



$$v_{GS} < V_T$$

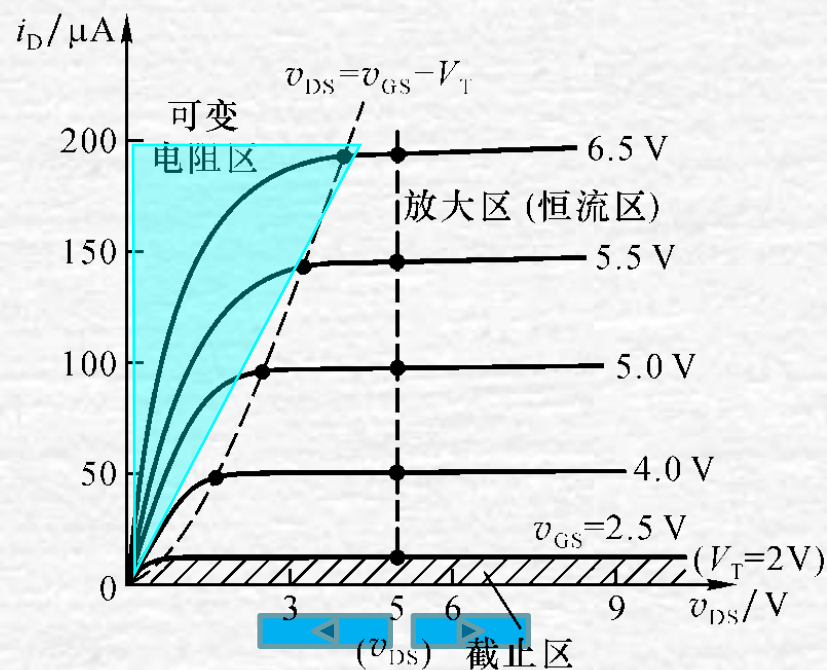
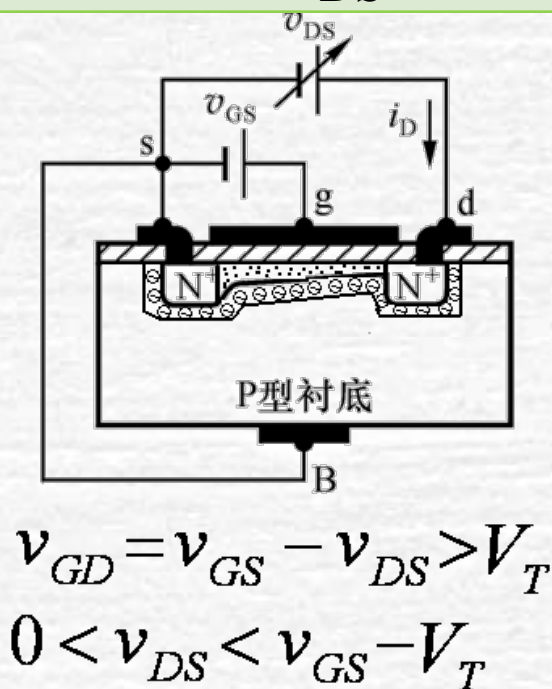


▲ **可变电阻区** 导电沟道形成，且沟道尚未预夹断。

满足的条件为： $v_{GS} > V_T$, $v_{GD} = v_{GS} - v_{DS} > V_T$

在可变电阻区 i_D 随 v_{DS} 增大而增大，而且受 v_{GS} 的控制。可模拟为受 v_{GS} 控制的压控电阻 R_{DS} 。

$$R_{DS} = \frac{v_{DS}}{i_D} \Big|_{v_{GS} = \text{const}}$$



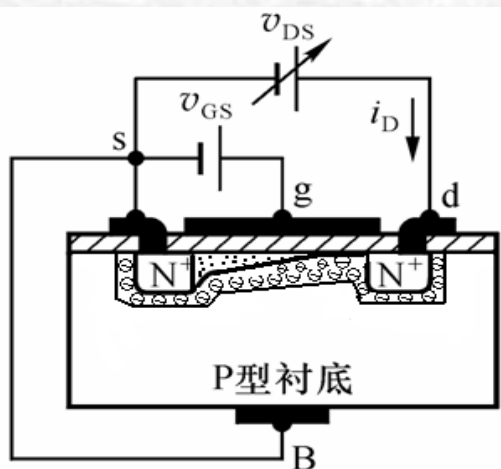
▲放大区 又称恒流区、饱和区。

满足的条件为: $v_{GS} > V_T, v_{GS} - v_{DS} \leq V_T$

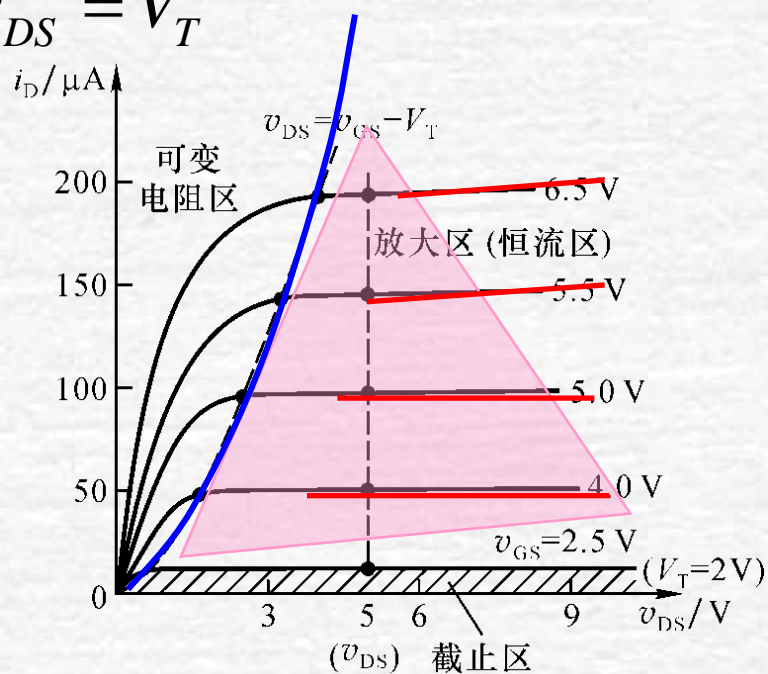
V_{DS} 较大时, 沟道出现楔型, 预夹断后, i_D 与 v_{DS} 几乎无关, 表现为较好的**恒流特性**。

放大区和可变电阻区的过渡点是不明显的

预夹断轨迹: $v_{GD} = v_{GS} - v_{DS} = V_T$



$$v_{GD} = v_{GS} - v_{DS} < V_T$$
$$v_{DS} > v_{GS} - V_T$$

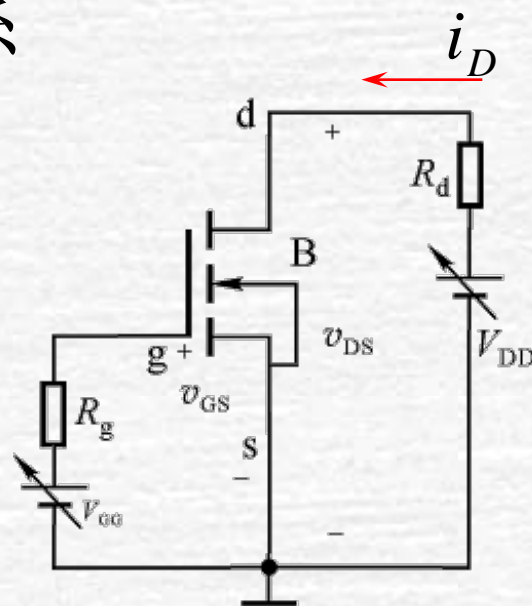


2. 伏安特性与电流方程

(2) 增强型NMOS管的转移特性

在一定 v_{DS} 下，漏极电流 i_D 与栅-源电压 v_{GS} 之间的关系

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



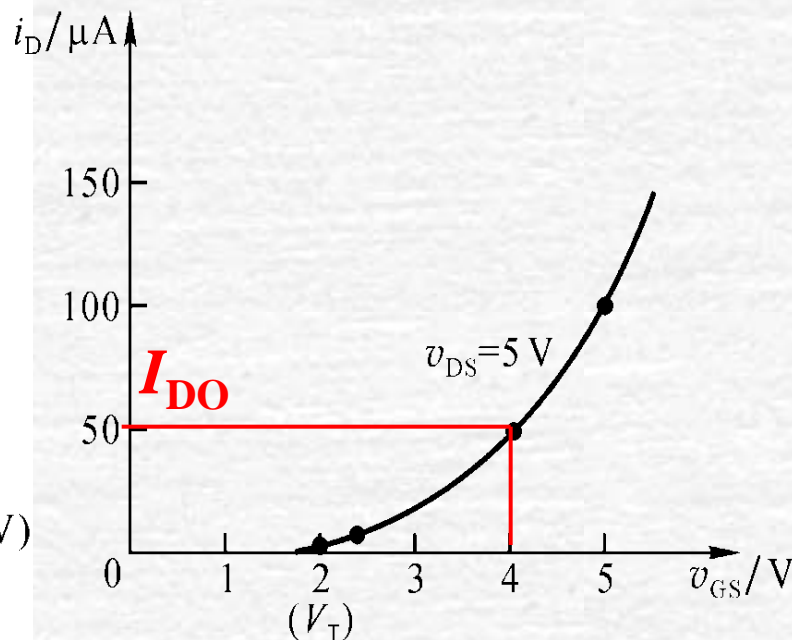
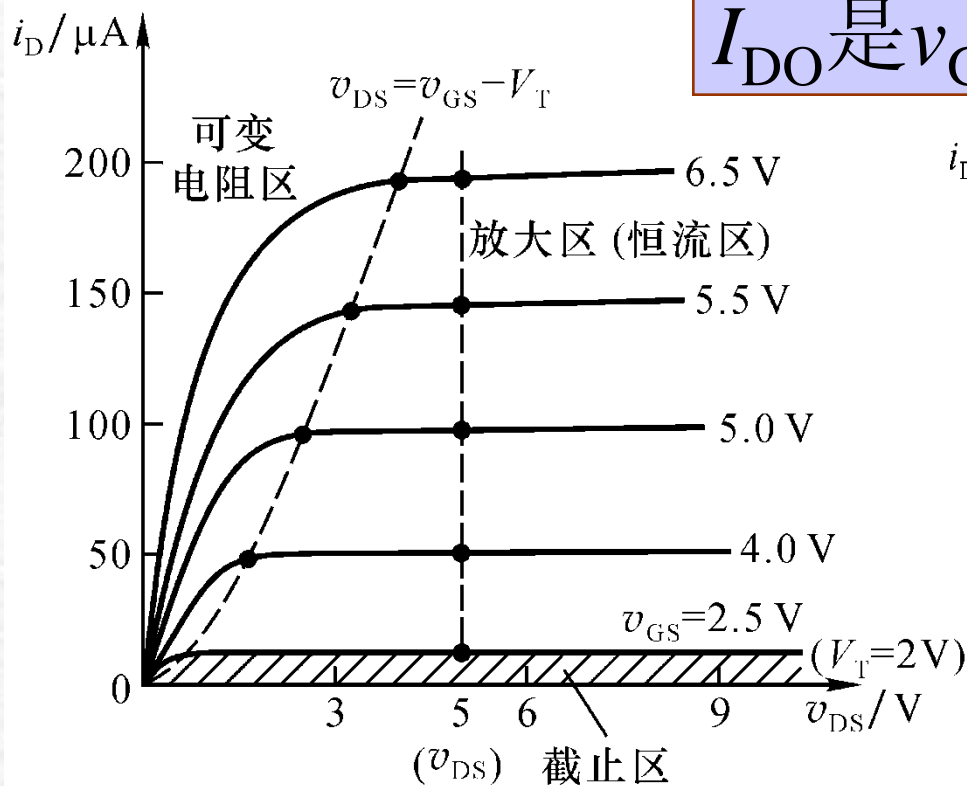
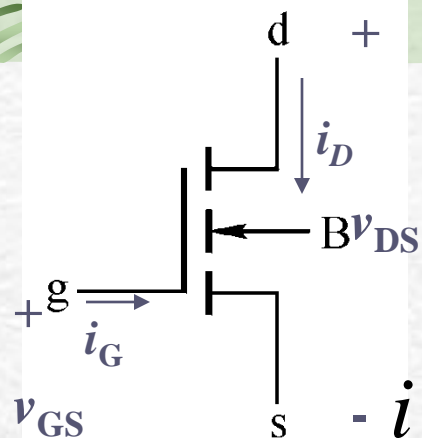
(2) 增强型NMOS管的转移特性

在一定 v_{DS} 下，栅-源电压 v_{GS} 与漏极电流 i_D 之间的关系

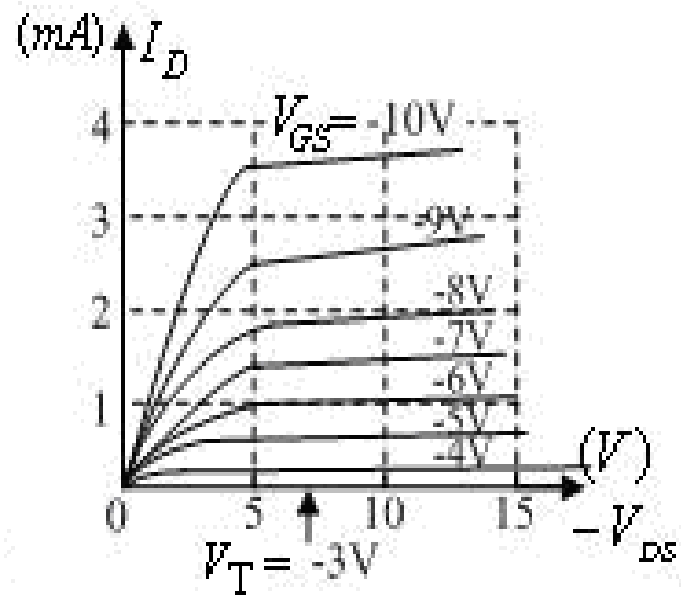
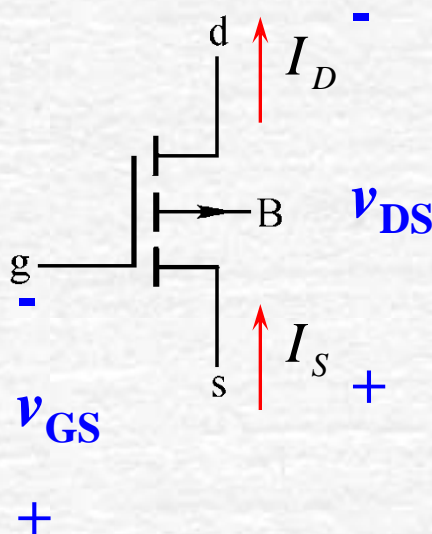
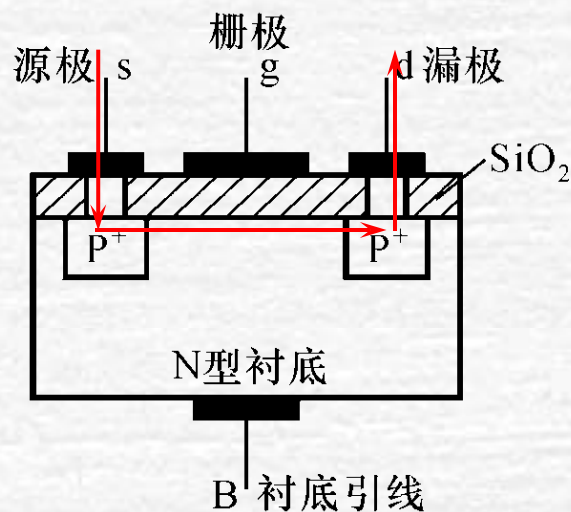
$$i_D = f(v_{GS})|_{v_{DS}=const}$$

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

I_{DO} 是 $v_{GS}=2V_T$ 时的漏极电流。



增强型PMOS管

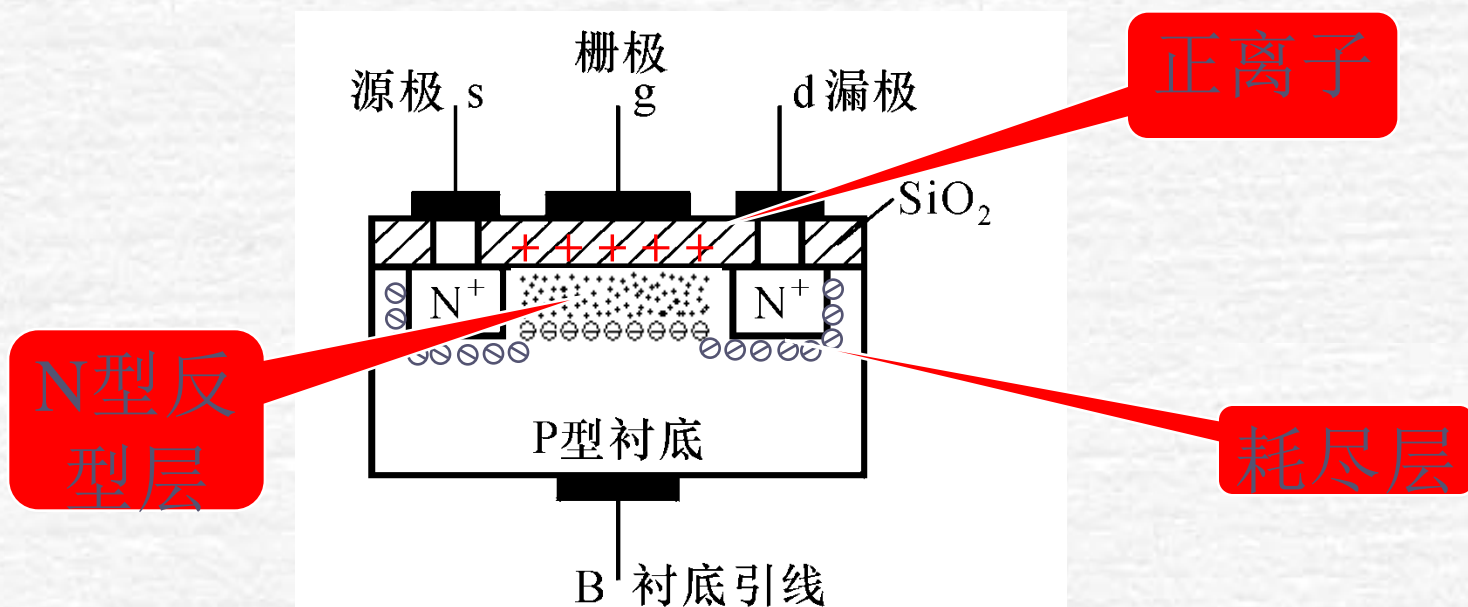
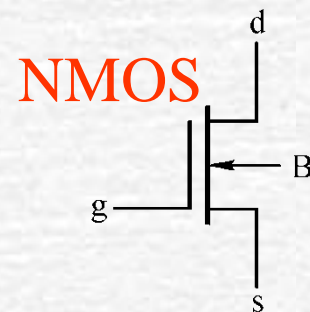


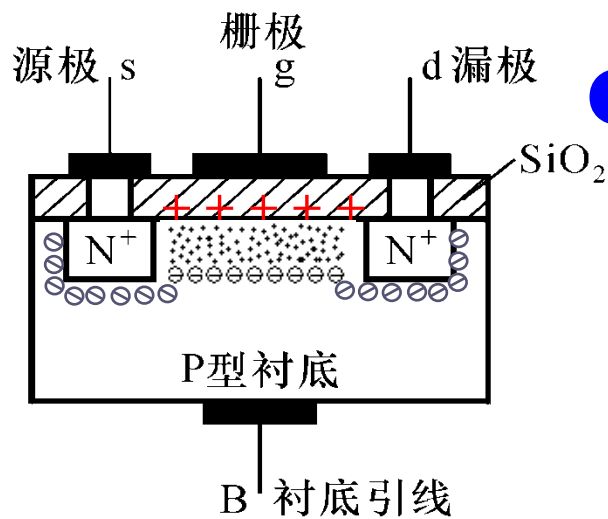
在N型衬底上扩散上2个P⁺区，N型表面用热氧化方法生成SiO₂绝缘层，在二个P⁺区加铝线引出电极。

PMOS与NMOS管的工作原理完全相同，只是电流和电压方向不同。

3、耗尽型NMOS管

- 在制造过程中，人为地在栅极下方的 SiO_2 绝缘层中埋入了大量的 K^+ （钾）或 Na^+ （钠）等正离子。





● $v_{GS}=0$ ，靠正离子作用，使P型衬底表面感应出N型反型层，将两个N⁺区连通，形成原始的N型导电沟道。

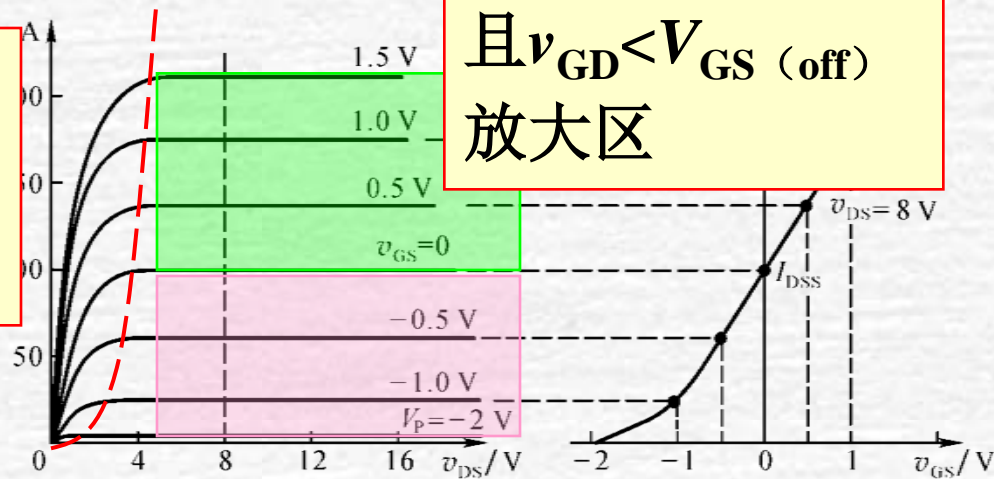
- v_{DS} 一定，外加正栅压 ($v_{GS} > 0$)，导电沟道变厚，沟道等效电阻下降，漏极电流 i_D 增大；
- v_{DS} 一定，外加负栅压 ($v_{GS} < 0$) 时，沟道变薄，沟道电阻增大， i_D 减小。
- v_{GS} 负到某一定值 $V_{GS(off)}$ (常以 V_P 表示，称为夹断电压)，导电沟道消失，整个沟道被夹断， $i_D \approx 0$ ，管子截止。

N沟道耗尽型MOS的输出和转移特性

预夹断轨迹

$$v_{GD} = V_{GS}(\text{off})$$

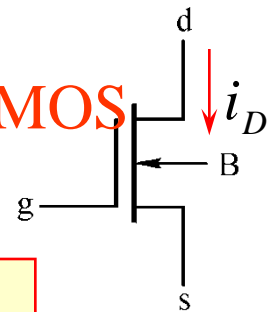
$v_{GS} > V_{GS}(\text{off})$
且 $v_{GD} > V_{GS}(\text{off})$
可变电阻区

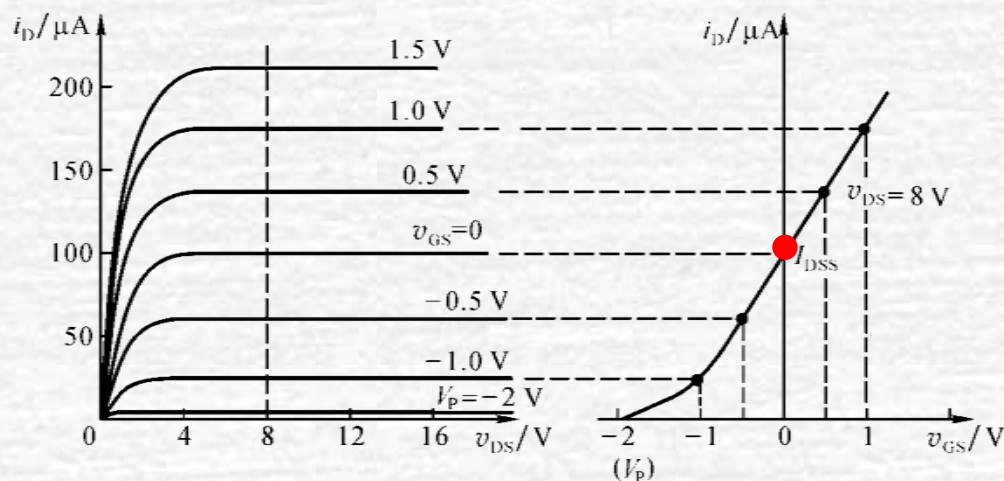


$v_{GS} > V_{GS}(\text{off})$
且 $v_{GD} < V_{GS}(\text{off})$
放大区

$v_{GS} < V_{GS}(\text{off})$
截止区

NMOS





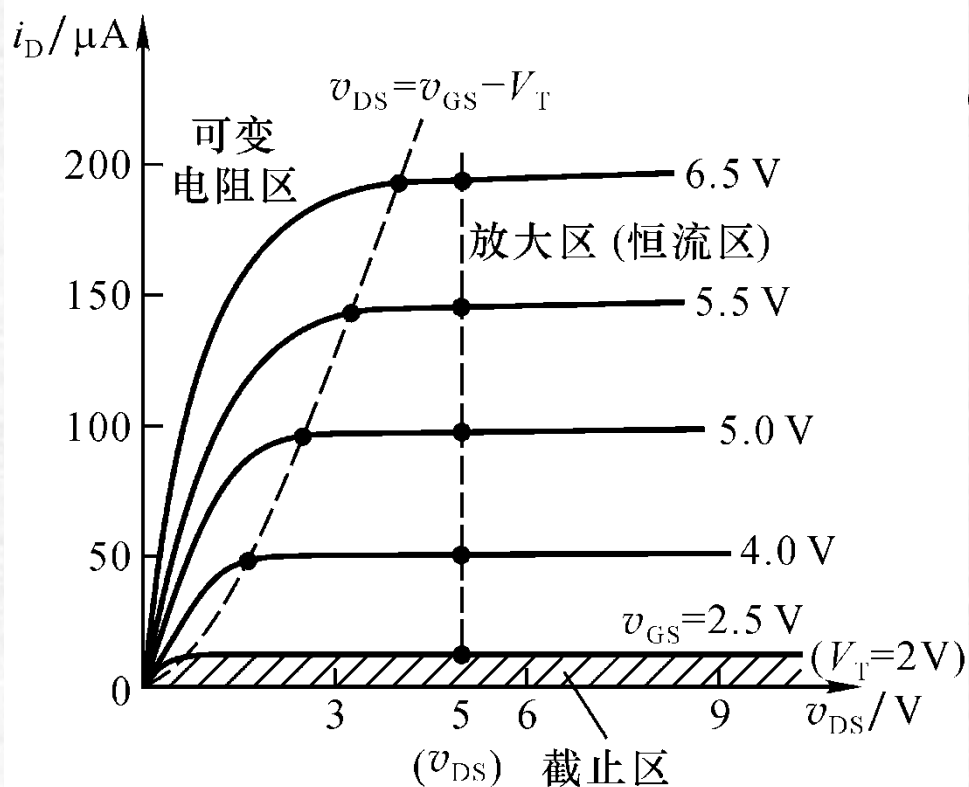
放大区的转移特性电流方程：

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

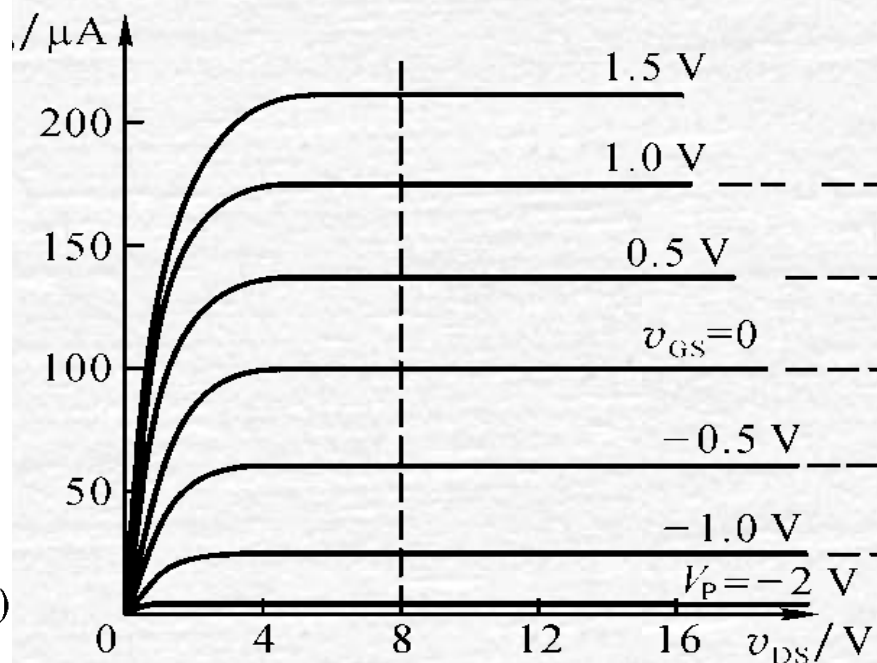
I_{DSS} 为饱和漏极电流，是 $v_{GS}=0$ 时耗尽型MOS管的漏极电流。

梳理:

增强型NMOS管

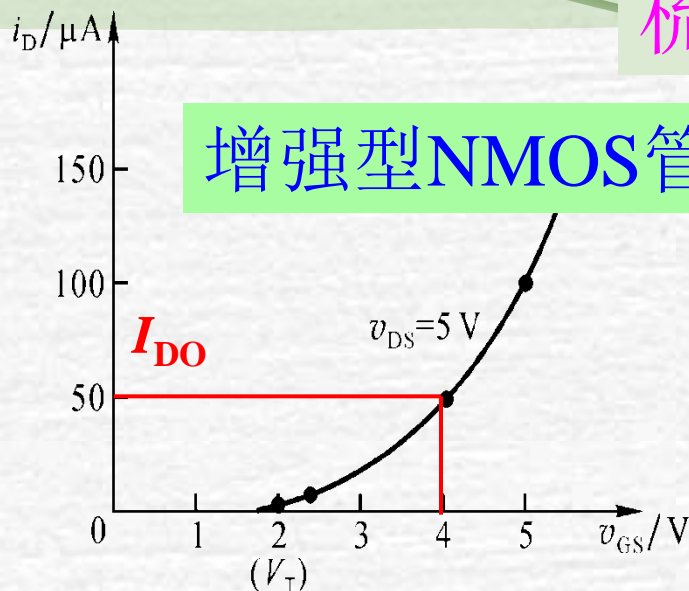


耗尽型NMOS管



梳理:

增强型NMOS管

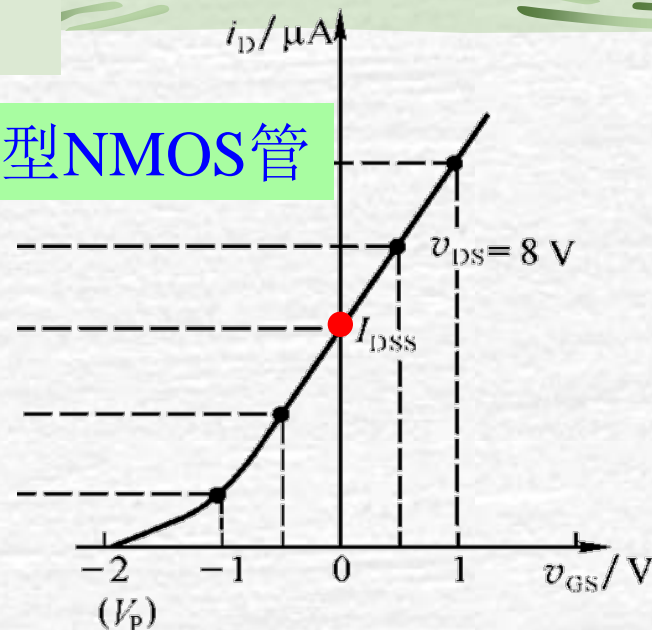


放大区的电流方程:

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

I_{DO} 是 $v_{GS} = 2V_T$ 时的漏极电流。

耗尽型NMOS管

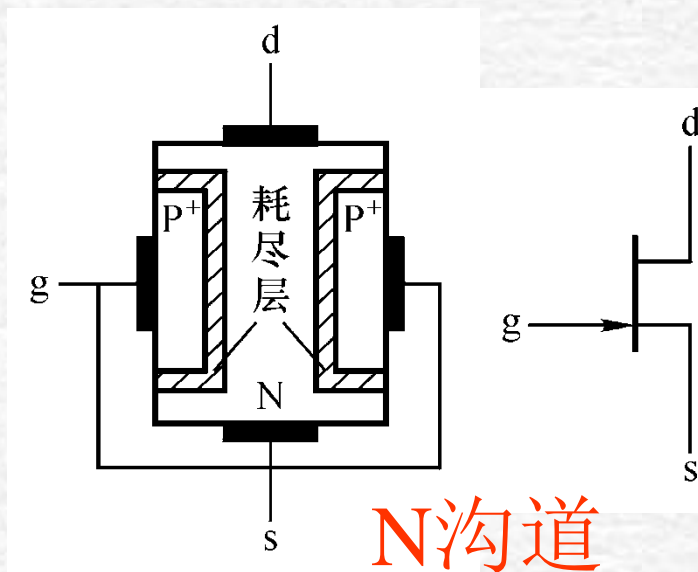


$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{v_{GS}}{V_P} \right)^2$$

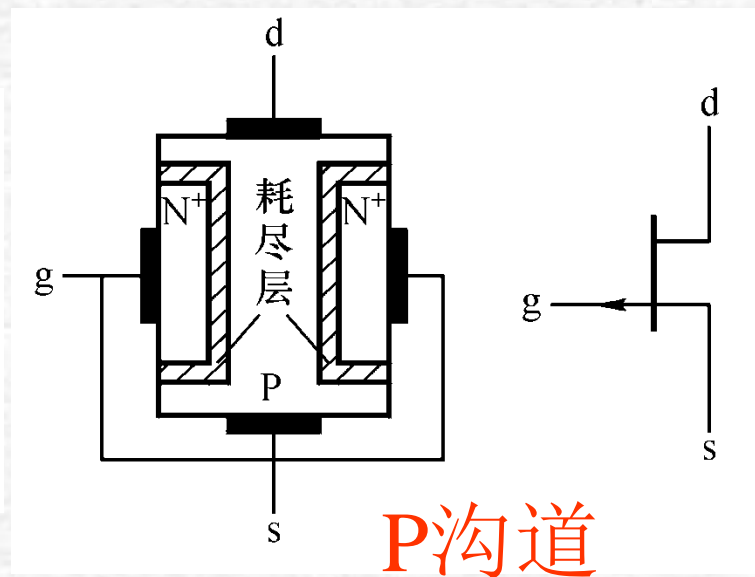
I_{DSS} 为饱和漏极电流，是 $v_{GS} = 0$ 时耗尽型MOS管的漏极电流。

二、结型场效应管 (JFET)

结构与符号



N沟道



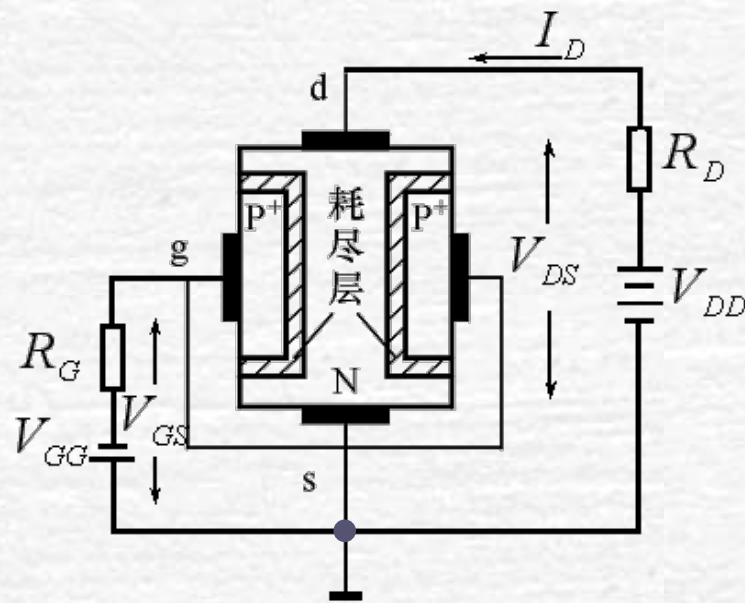
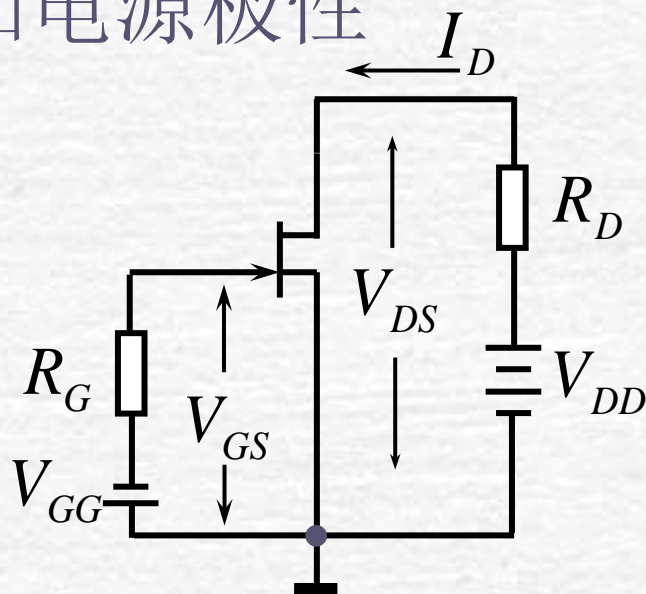
P沟道

在N区两侧扩散两个P⁺区，形成两个PN结。

两个P⁺区相连，引出栅极 g 。N区的上下两端分别引出漏极 d 和源极 s 。

导电原理（以N沟道为例）

外加电源极性

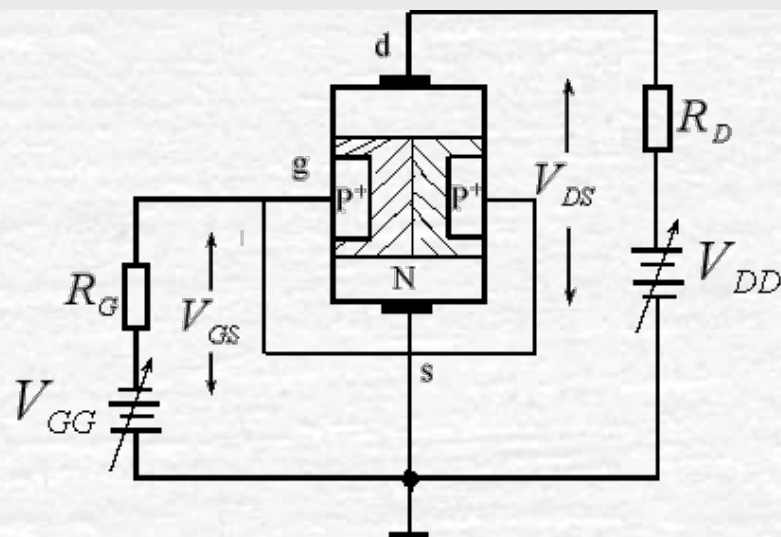
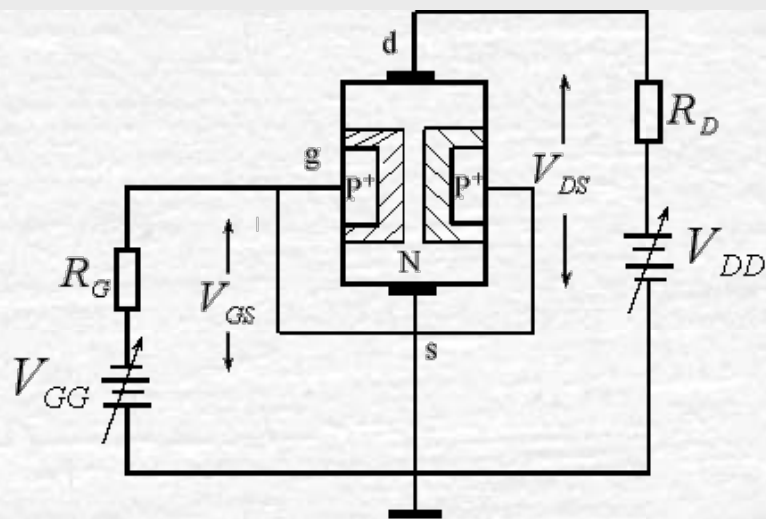


● $v_{GS} = 0$ 时，d和s间存在N型导电沟道（N型区），属于耗尽型。

?? v_{GS} 栅-源电压对导电沟道宽度的控制作用？

?? v_{DS} 漏-源电压对漏极电流的影响？

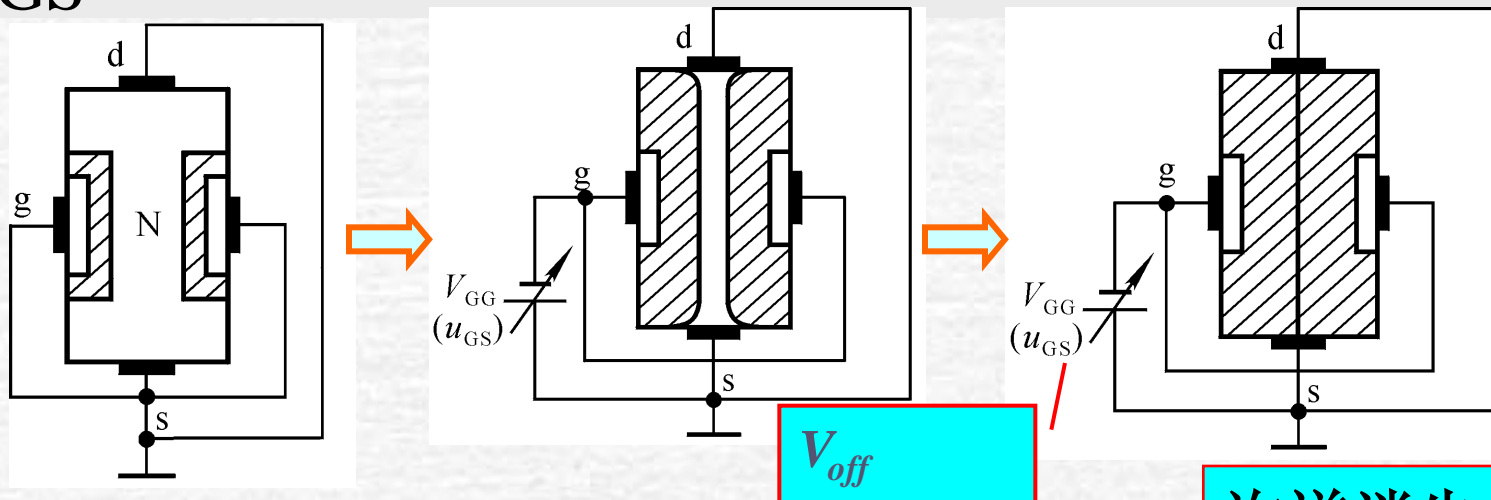
v_{GS} 栅-源电压对导电沟道宽度的控制作用



● $v_{GS} < 0$ 、 $V_{DS} = 0$ 时，耗尽层加宽（主要向沟道一侧加宽）并向沟道中间延伸，沟道变窄。

● 当 $v_{GS} < V_{off}$ （称为夹断电压）时，两个耗尽层增大到相遇，沟道消失，这时称沟道夹断，沟道中的载流子被耗尽。若有 V_{DS} 电压时，沟道电流也为零。

V_{GS} 栅-源电压对导电沟道宽度的控制作用



沟道最宽

沟道变窄

沟道消失
称为夹断

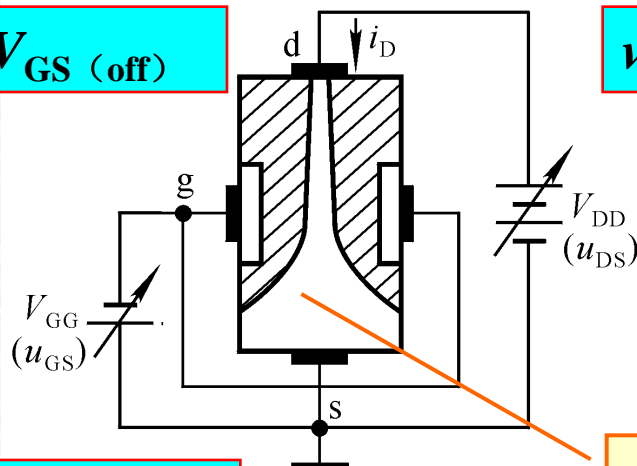
? u_{GS} 可以控制导电沟道的宽度。为什么 g-s 必须加负电压？

v_{DS} 漏-源电压对漏极电流的影响

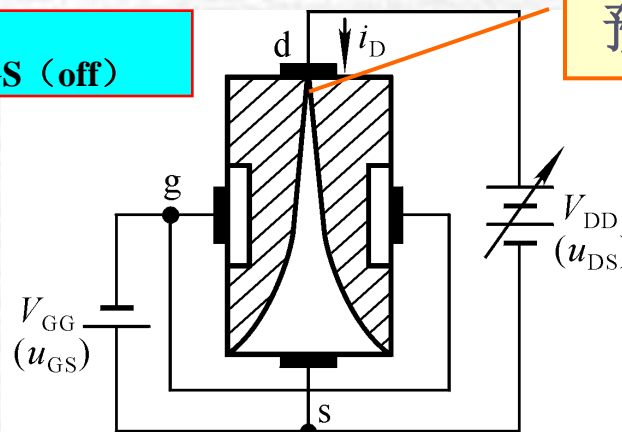
沟道形成楔形

$$v_{GS} > V_{GS(\text{off})}$$

$$v_{GD} > V_{GS(\text{off})}$$

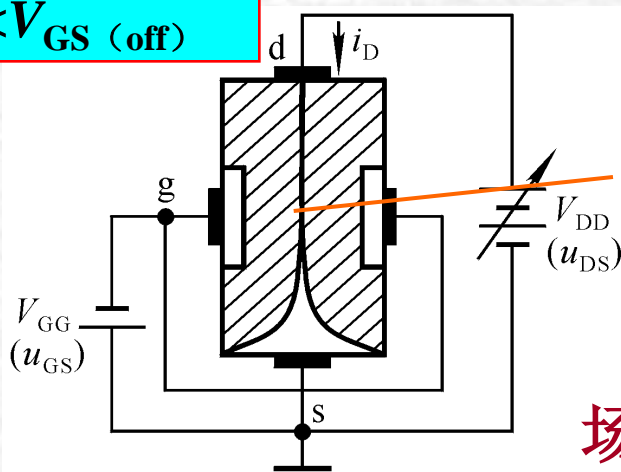


$$v_{GD} = V_{GS(\text{off})}$$



预夹断

$$v_{GD} < V_{GS(\text{off})}$$



V_{DD} 增大, i_D 增大, 可变电阻区。

V_{DD} 的增大, 几乎全部用来克服沟道的电阻, i_D 几乎不变, 进入恒流区, i_D 几乎仅仅决定于 v_{GS} 。

场效应管工作在恒流区的条件是什么?

N沟道结型FET输出特性

$$i_D = f(v_{DS}) \Big|_{v_{GS}=\text{常量}}$$

$$0 > v_{GS} > V_{GS(\text{off})}$$

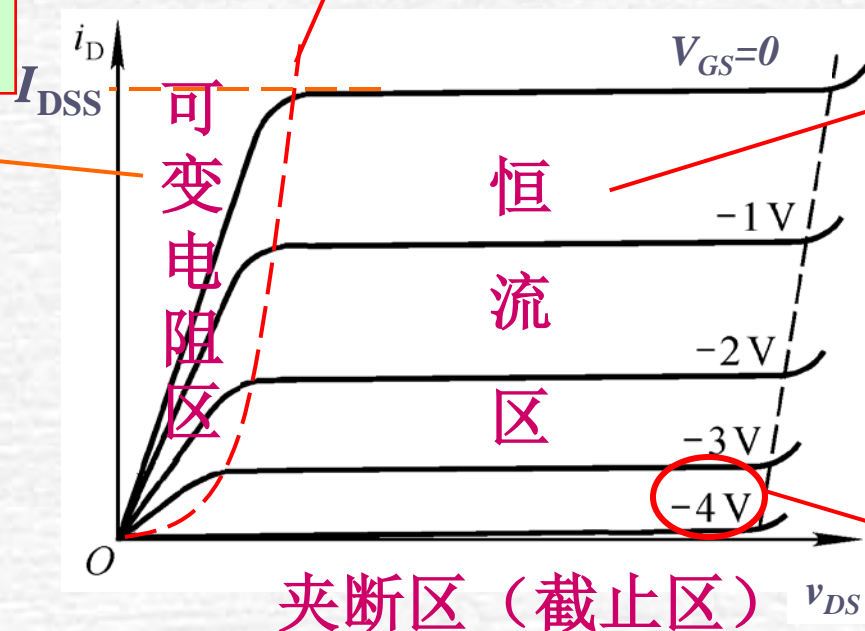
$$\text{且 } v_{GD} < V_{GS(\text{off})}$$

$$0 > v_{GS} > V_{GS(\text{off})}$$

$$\text{且 } v_{GD} > V_{GS(\text{off})}$$

g-s电压控制d-s的等效电阻

预夹断轨迹, $v_{GD} = V_{GS(\text{off})}$



i_D 几乎仅决定于 v_{GS}

$$v_{GS} < V_{GS(\text{off})}$$

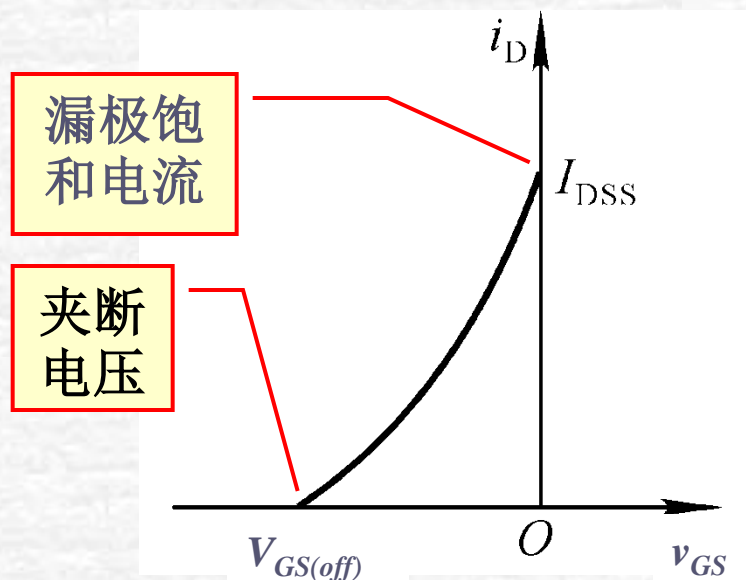
夹断电压

不同型号的管子 $V_{GS(\text{off})}$ 、 I_{DSS} 将不同。

转移特性

$$i_D = f(v_{GS}) \Big|_{v_{DS}=\text{常量}}$$

场效应管工作在恒流区，因而 $v_{GS} > V_{GS(\text{off})}$ 且 $v_{GD} < V_{GS(\text{off})}$ 。



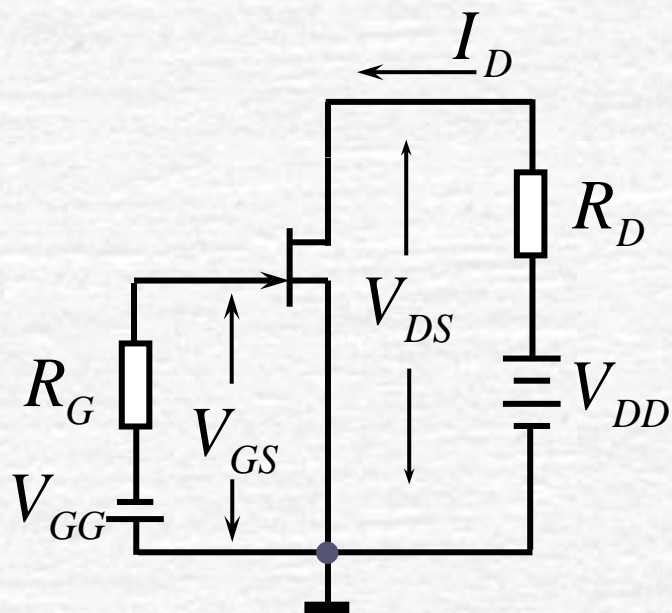
$$v_{DS} > v_{GS} - V_{GS(\text{off})}$$

在恒流区时

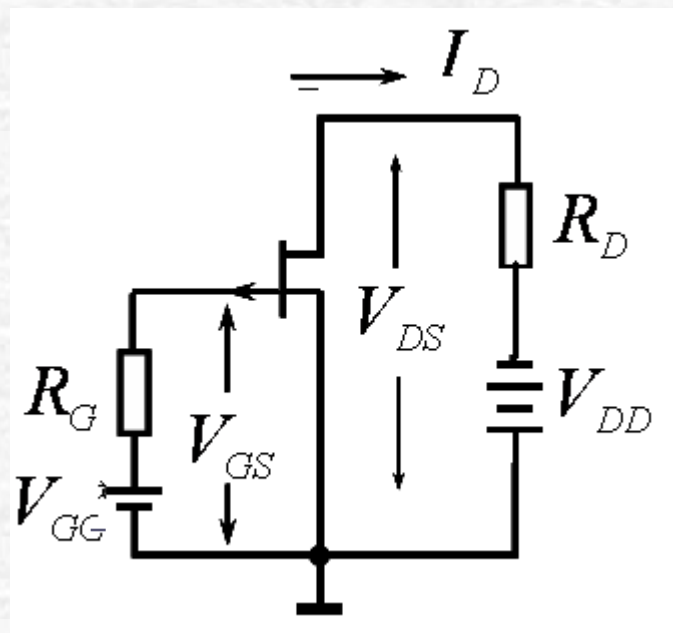
$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{v_{GS}}{V_{GS(\text{off})}}\right)^2$$

P沟道结型:

比较外加偏置:



N沟道结型



P沟道结型

说明体内场效应、表面场效应

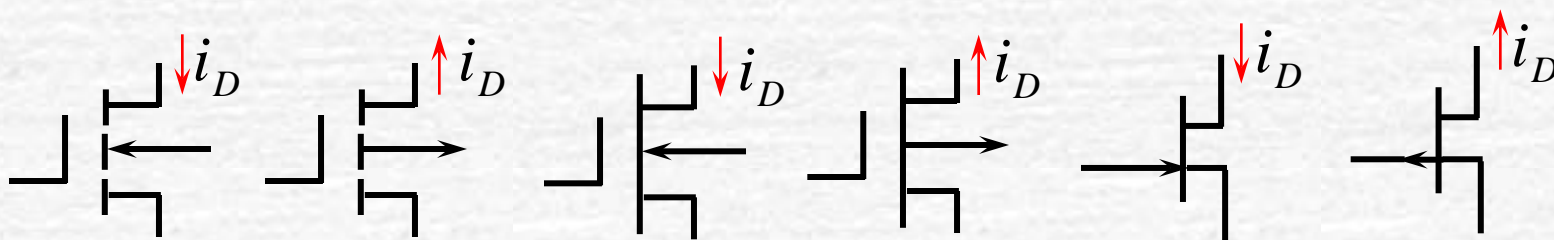
JFET通过 v_{GS} 改变半导体内耗尽层厚度（沟道的截面积）控制 i_D ，称为体内场效应器件；

MOSFET主要通过改变衬底表层沟道的厚度来控制 i_D ，称为表面场效应器件。

梳理:

不同类型FET对电压的极性要求

种类 电压	增强型		耗尽型			
	NMOS	PMOS	NMOS	PMOS	N 结型	P 结型
V_{GS}	正	负	负(或正)	正(或负)	负	正
V_{DS}	正	负	正	负	正	负

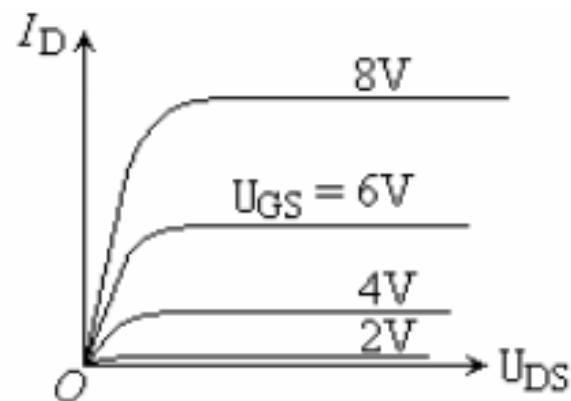
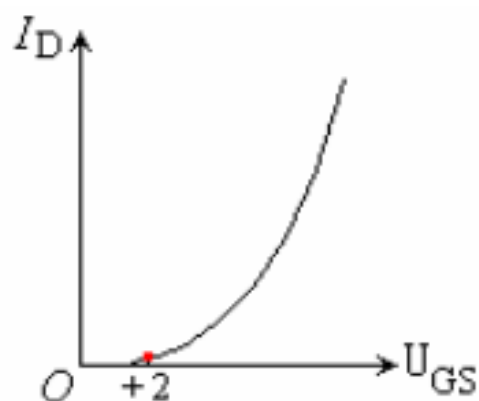
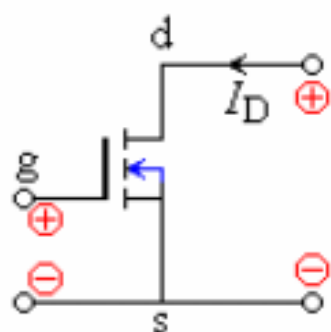


各种场效应管的转移特性和输出特性曲线

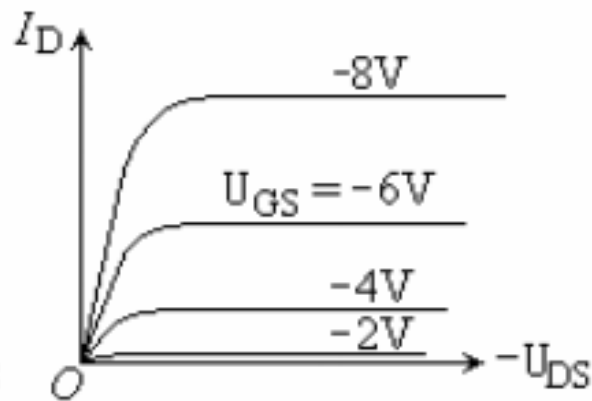
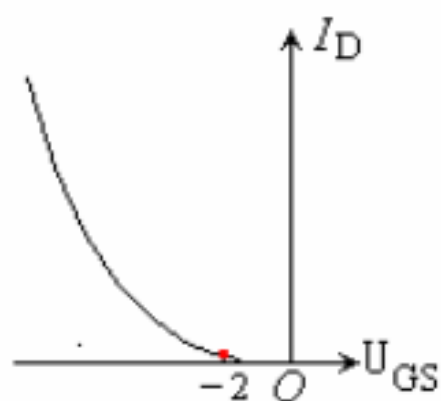
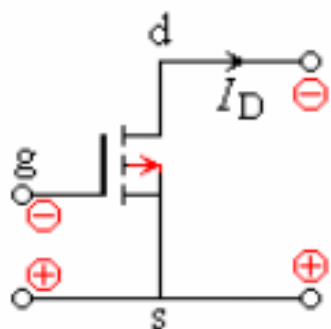
各类绝缘栅场效应三极管的特性曲线

绝缘栅场效应管

N 沟道增强型

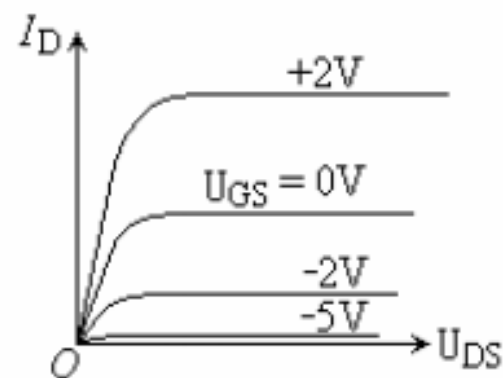
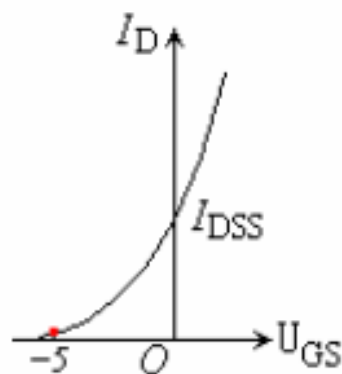
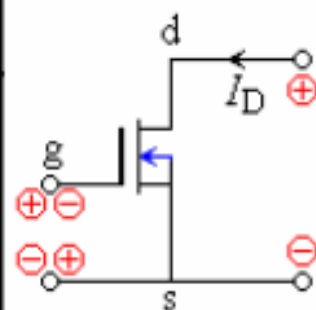


P 沟道增强型

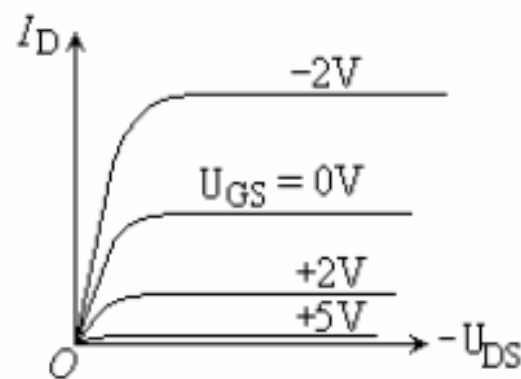
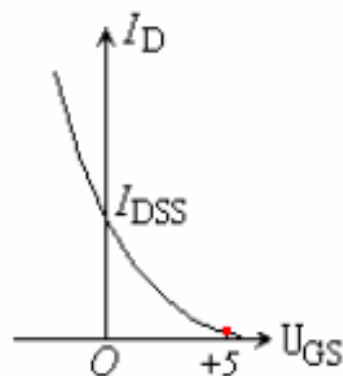
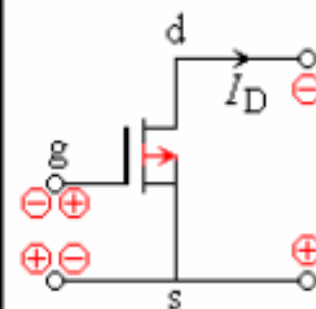


绝缘栅场效应管

N 沟道耗尽型

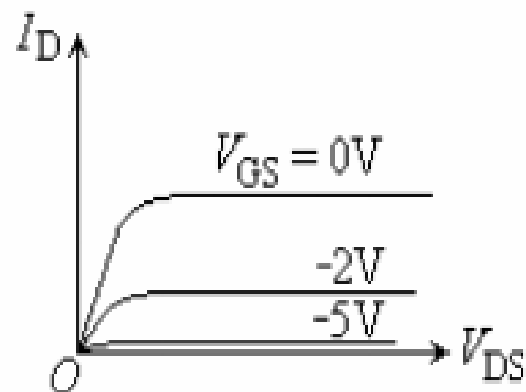
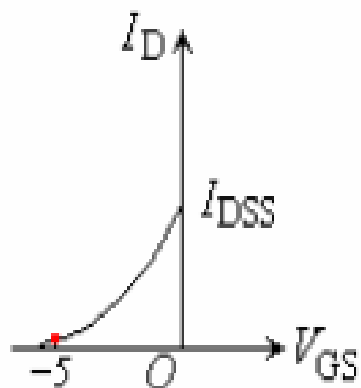
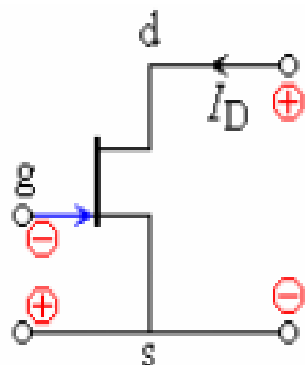


P 沟道耗尽型

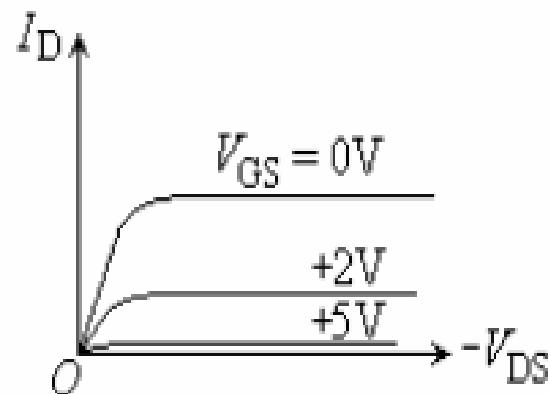
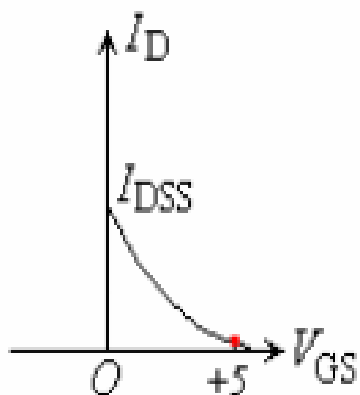
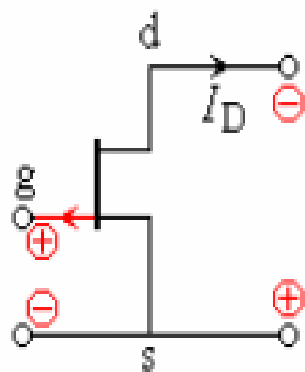


结型场效应管

N 沟道 耗尽型



P 沟道 耗尽型



三、场效应管的主要参数

直流参数

[开启电压 V_T] 增强型管的参数。

[夹断电压 V_P] 耗尽型管的参数。

[饱和漏极电流 I_{DSS}]

指耗尽型管在 $v_{GS}=0$ 时的漏极电流。

[饱和漏极电流 I_{DO}]

指增强型管在 $v_{GS}=2V_T$ 时的漏极电流。

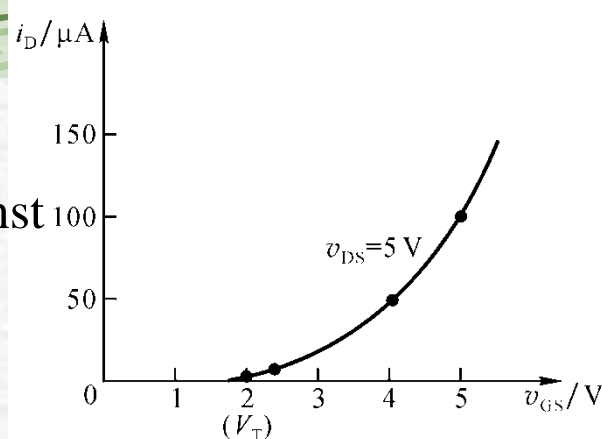
[输入电阻 $R_{GS(DC)}$]

因 $i_G=0$ ，所以输入电阻很大。JFET 大于 $10^7\Omega$ ，MOS 管大于 $10^{12}\Omega$ 。

交流参数

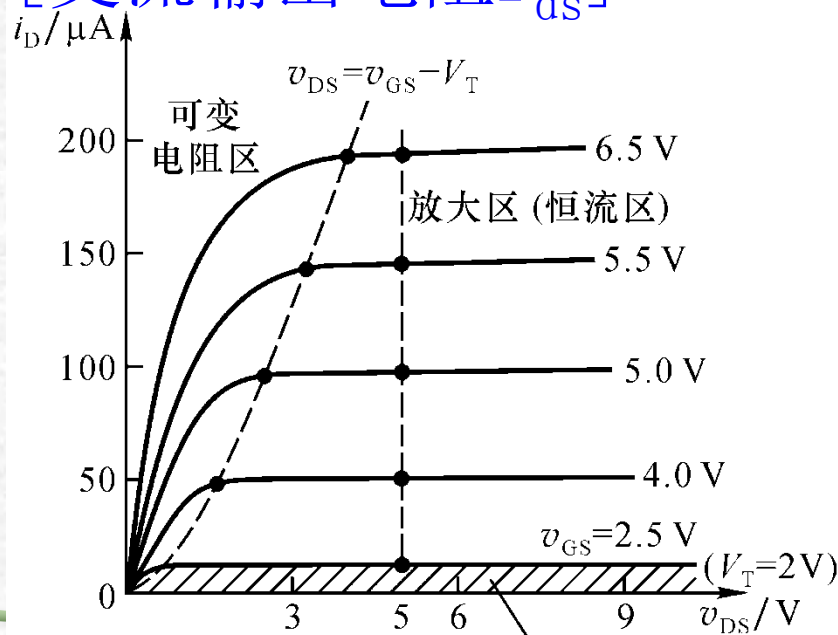
[低频跨导(互导) g_m]

$$g_m = \left. \frac{\Delta i_D}{\Delta v_{GS}} \right|_{v_{DS} = \text{const}}$$



跨导 g_m 反映了栅源电压对漏极电流的控制能力，且与工作点有关，是转移特性曲线上过 Q 点切线的斜率。 g_m 的单位是 mS 。

[交流输出电阻 r_{ds}]



$$r_{ds} = \left. \frac{\Delta v_{DS}}{\Delta i_D} \right|_{v_{GS} = \text{const}}$$

r_{ds} 反映了漏源电压对漏极电流的影响程度，是输出特性曲线上过 Q 点的切线斜率的倒数。

耗尽型跨导：

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

$$g_m = \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \Big|_Q = -\frac{2I_{DSS}}{V_P} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P}\right) = -\frac{2}{V_P} \sqrt{I_{DQ} I_{DSS}}$$

增强型跨导：

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

$$g_m = \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \Big|_Q = \frac{2I_{DO}}{V_T} \left(\frac{V_{GSQ}}{V_T} - 1\right) = \frac{2}{V_T} \sqrt{I_{DO} I_{DQ}}$$

极限参数

[最大漏-源电压 $V_{(BR)DS}$]

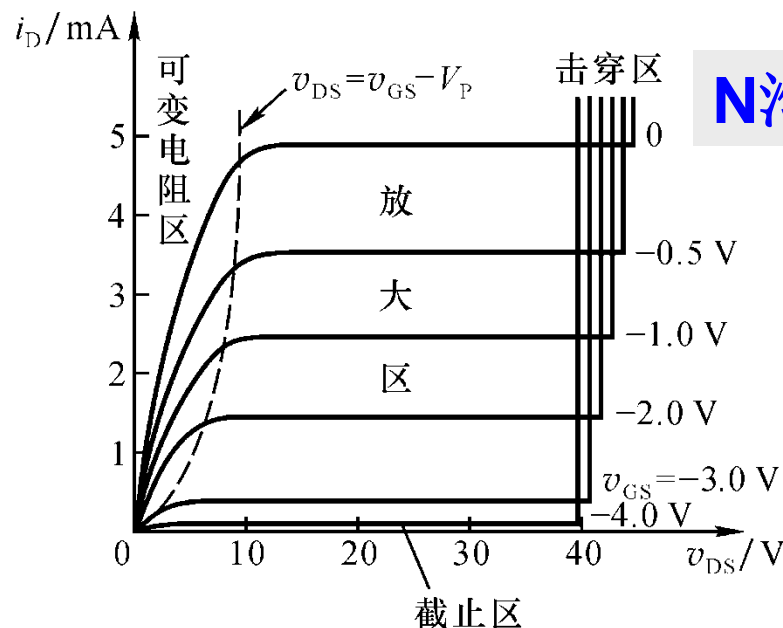
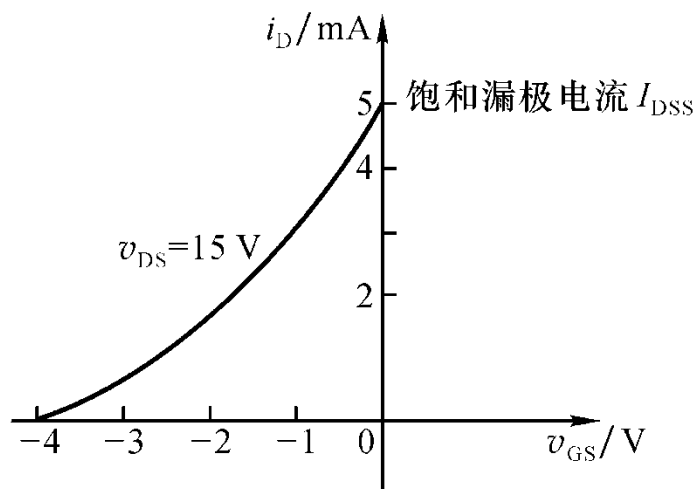
漏极附近发生雪崩击穿时的 v_{DS} 。

[最大栅-源电压 $V_{(BR)GS}$]

栅极与源极间PN结的反向击穿电压（结型）。

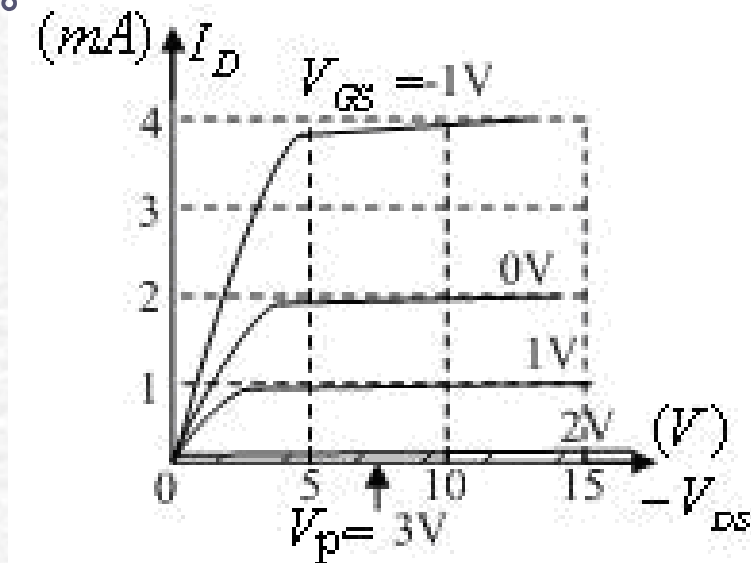
[最大耗散功率 P_{DM}]

同三极管的 P_{CM} 相似。当超过 P_{DM} 时，管子可能烧坏。

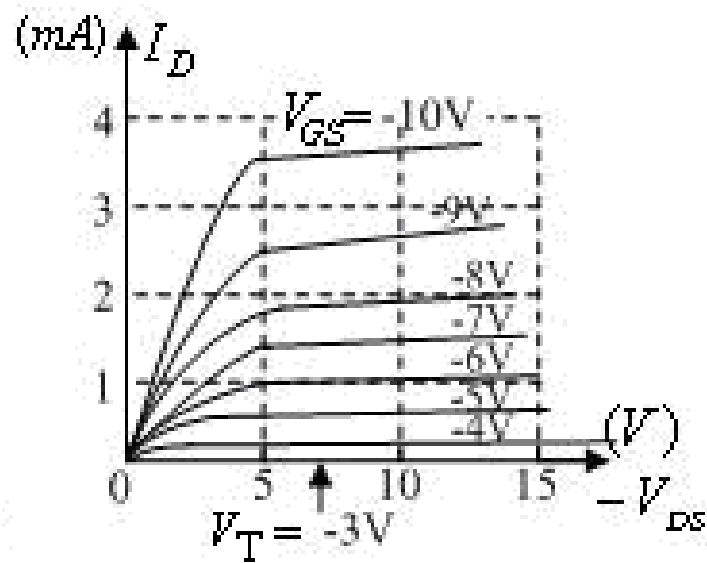


N沟道结型

【例】有两种场效应管，其漏极特性曲线如图（a）（b）所示。判断它们的类型，并从图中读取 V_T 或 V_P ， I_{DSS} 或 I_{DO} 的数值。

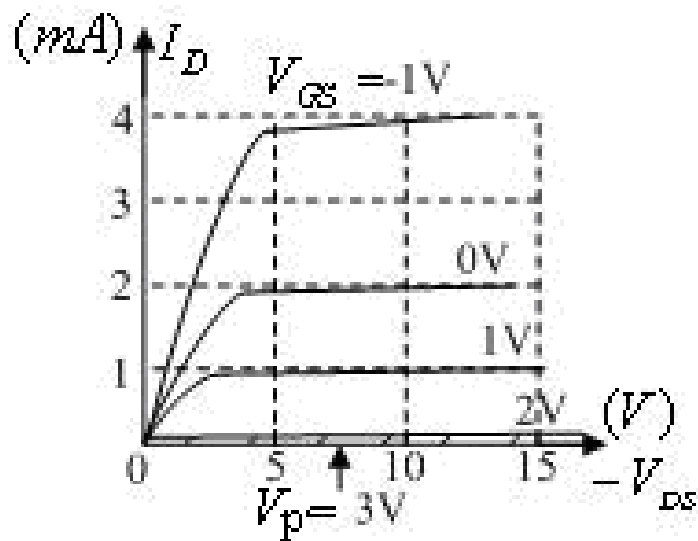


(a)

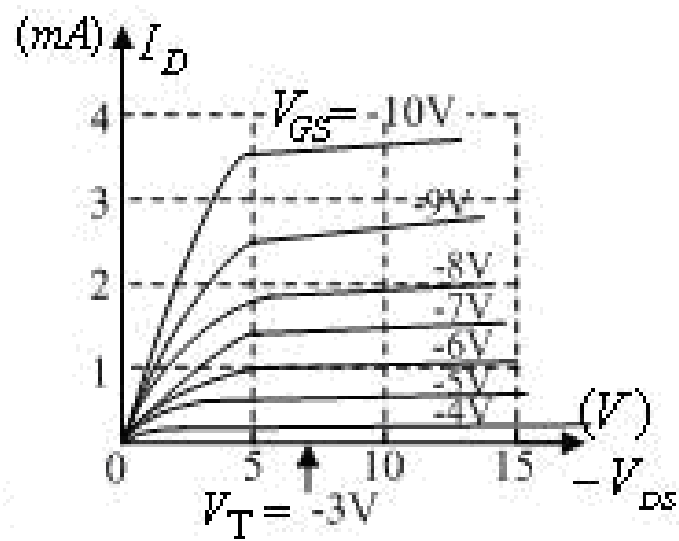


(b)

解：（a） V_{DS} 为负值，为P沟道管； V_{GS} 既可为正又可为负，为耗尽型MOS管；所以该FET应是耗尽型PMOS管。由图可直接读出 $V_P = 3V$ ， $I_{DSS} = 2mA$ 。



(a)



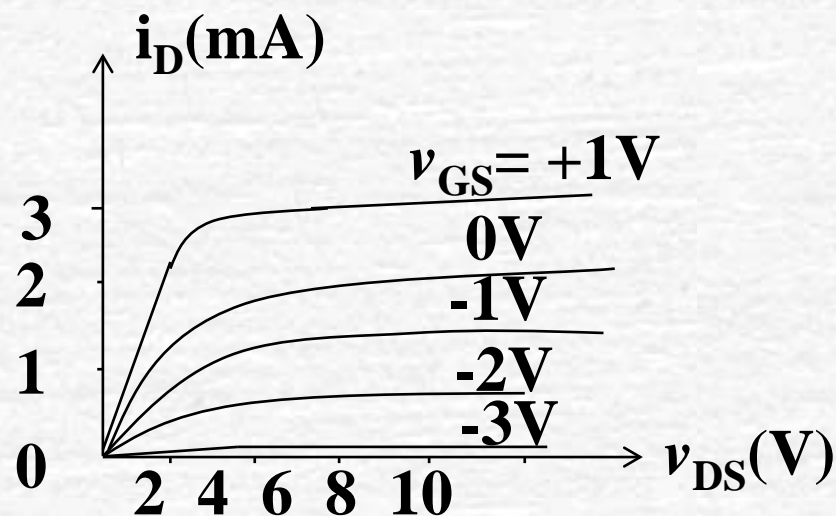
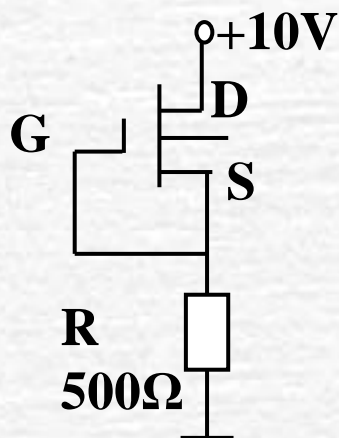
(b)

(b) v_{DS} 为负值，为P沟道管； v_{GS} 为负，为增强型MOS管；
所以该FET应是增强型PMOS管。由图可直接读出

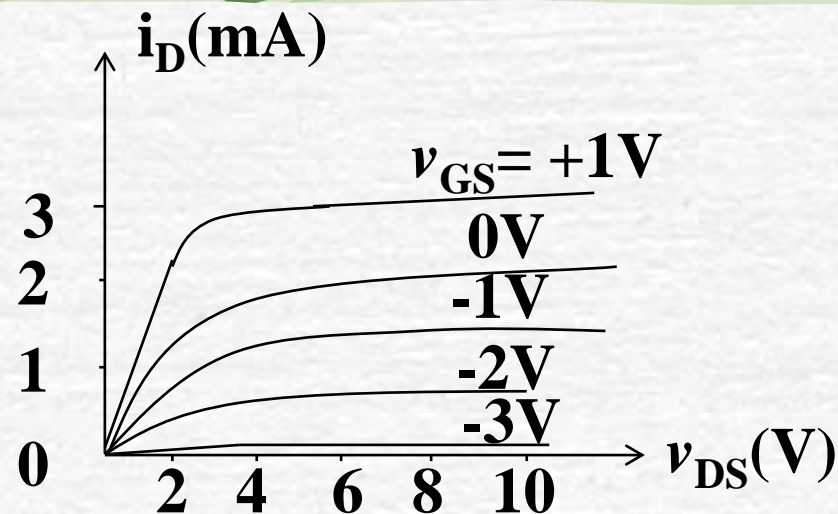
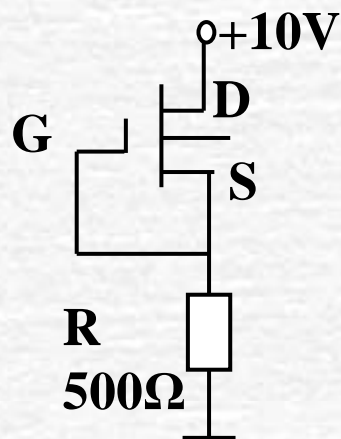
$V_T = -3V$, $I_{D0} = 1mA$ (对应 $v_{GS} = 2V_T = -6V$) 。

【例】左图所示电路中的场效应管具有右图所示的输出特性。

- (1) 该场效应管为____沟道____型MOS管。
- (2) 流过电阻R的电流为____mA，管压降 V_{DS} 为____V。
- (3) 若 $R=5k\Omega$ ，则流过R的电流为____mA， V_{DS} 为____V。



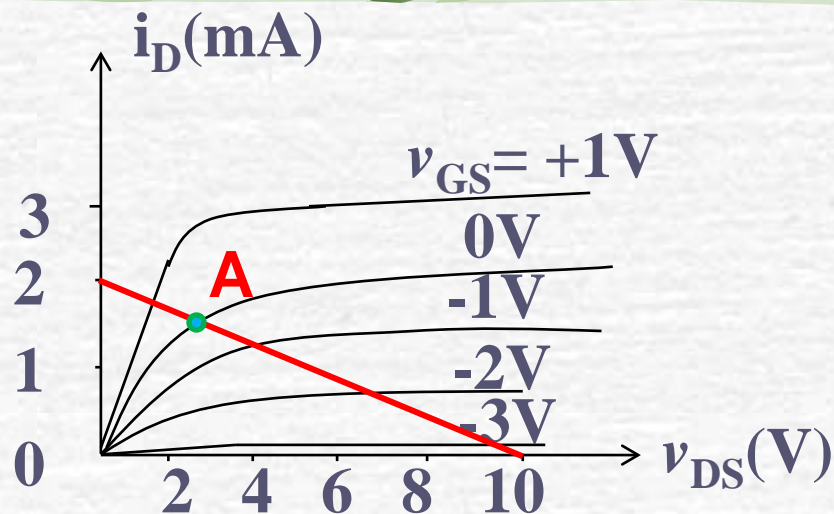
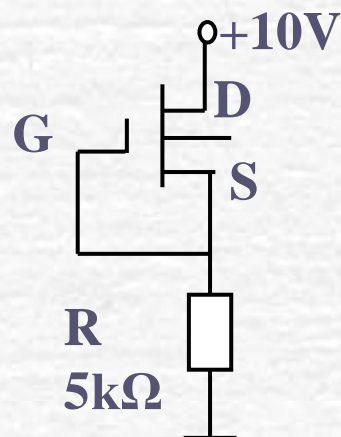
解：(1) 因所加的 V_{DD} 为+10V，所以应为N沟道管，又 v_{GS} 可正可负，所以是耗尽型管。即该场效应管为N沟道耗尽型MOS管。



解：（2）因电路中 $v_{GS}=0V$ ，**先假设管子处于放大区**，
在输出特性中找出 $v_{GS}=0V$ 时 $i_D=2mA$ ，

而 $v_{DS}=V_{DD}-i_DR=9V$ ，满足 $v_{GD}=v_{GS}-v_{DS}=-9 < V_P$ 或 $v_{DS} > v_{GS}-V_P$
($V_P=-3V$)，所以管子确实处于放大区。

即流过电阻 R 的电流为 2 mA，管压降 V_{DS} 为 9 V。

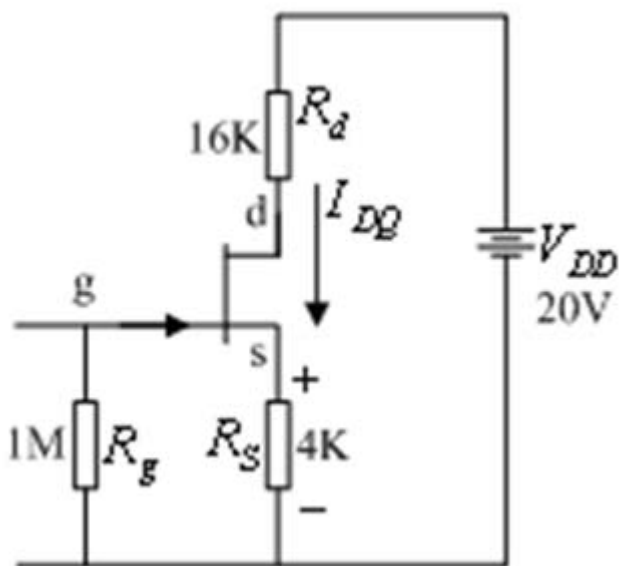


解：（3）假设管子仍处于放大区，

则 $i_D = 2\text{mA}$ ，而 $v_{DS} = V_{DD} - i_D R = 0\text{V}$ ，这时 $v_{GD} = v_{GS} - v_{DS} = 0 > V_P$ ，所以管子已处于可变电阻区。

作出输出回路方程 $v_{DS} = V_{DD} - i_D R$ ，如图所示，与 $v_{GS} = 0\text{V}$ 的特性曲线交于点A，对应 $i_D = 1.5\text{mA}$ ， $v_{DS} = 2.5\text{V}$ 。即流过R的电流为 1.5 mA， V_{DS} 为 2.5 V。

【例】N沟道结型场效应管恒流源电路。估算恒流值。(设 $I_{DSS}=2\text{mA}$,夹断电压 $V_P=-4\text{V}$)



解： 假定在恒流区

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

$$I_D = 2\text{mA} \quad \text{和} \quad I_D = 0.5\text{mA}$$

不合题意

所以 $I_D = I_{DQ} = 0.5\text{mA}$ $V_{GSQ} = -I_{DQ} R_s = -0.5 \times 4 = -2$

$$V_{DSQ} = V_{DD} - I_D (R_d + R_s) = 20 - (16 + 4) \times 0.5 = 10\text{V}$$

$$V_{GDQ} = V_{GS} - V_{DSQ} = -12\text{V} < V_P$$

可见，场效应管工作在恒流区(即放大区)的假设正确

3.4 集成电路中的电子器件

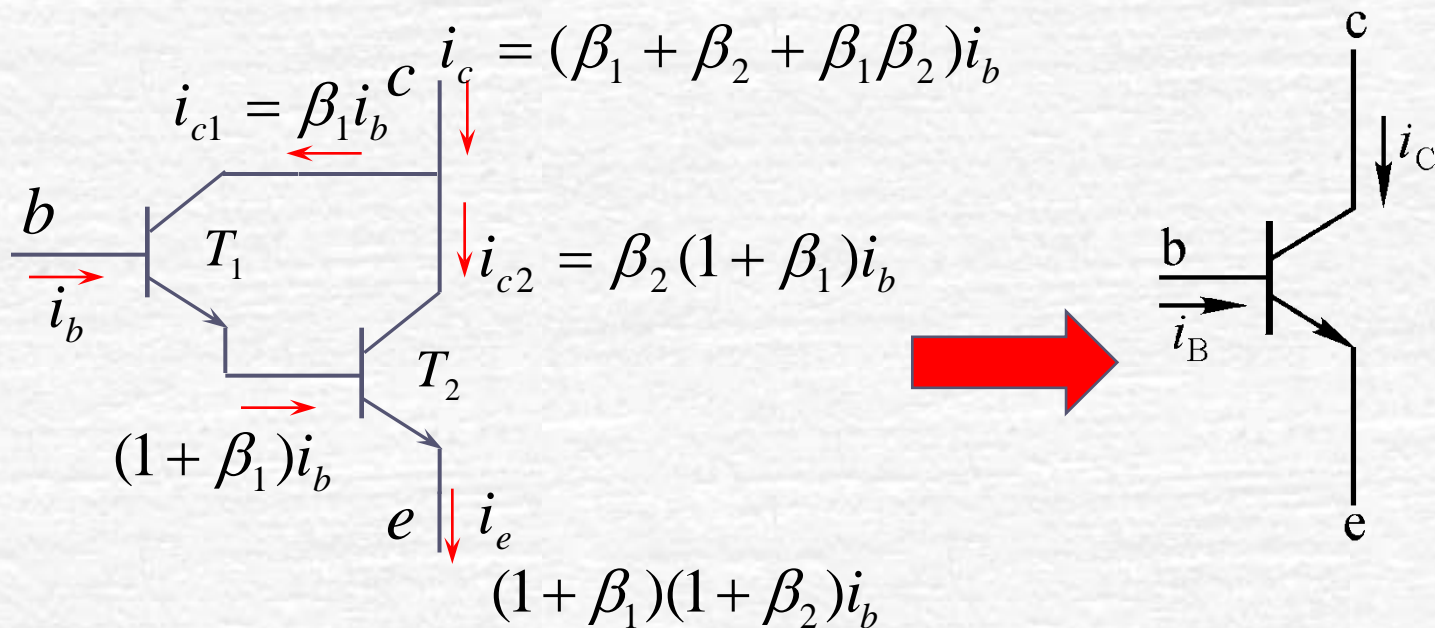
集成电路是将电阻、电容、二极管、三极管、场效应管等元器件以及电路中的连接线集中制作在同一块芯片上，完成或实现各种功能和指标的电子电路。

集成电路特点：

- 实现材料、元器件、电路的有机结合
- 元件密度高、体积小、连线短、焊点少
- 不能制作电感、大容量电容

一、复合管(达林顿管)

复合管是将两只或两只以上的三极管按一定方式相连，等效为性能更好的三极管。又称达林顿管Darlington。

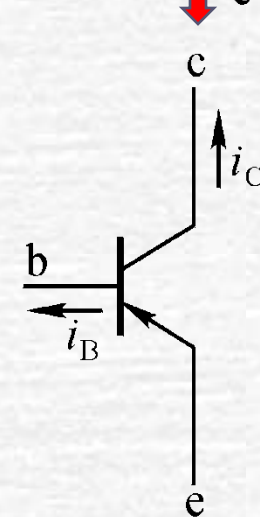
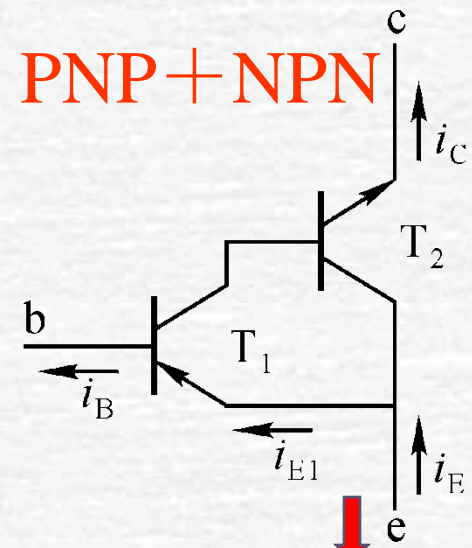
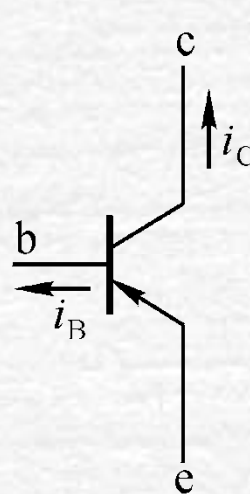
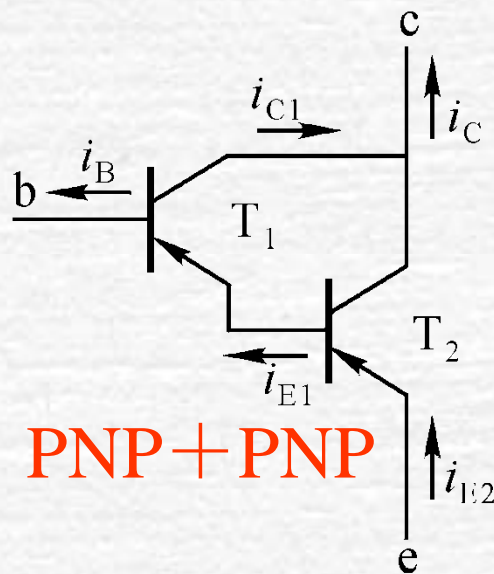
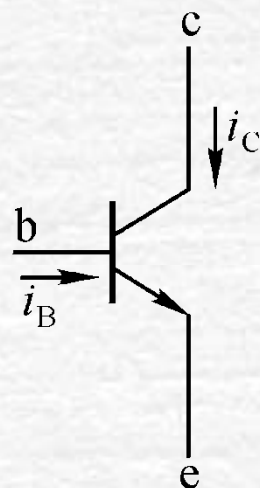
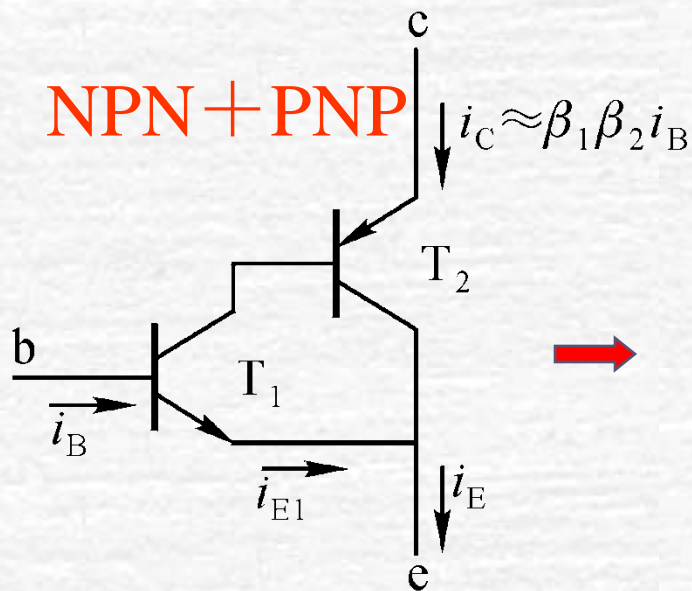


复合管连接原则

连接后各管内电流能顺利流通，
且具有电流放大作用。

复合管特点：

- 等效管类型取决于前置管类型
- 同样输出电流时，等效管的输入电流大大减小
- 等效管的 β 是 β_1 、 β_2 的乘积：
$$\beta \approx \beta_1 \beta_2$$



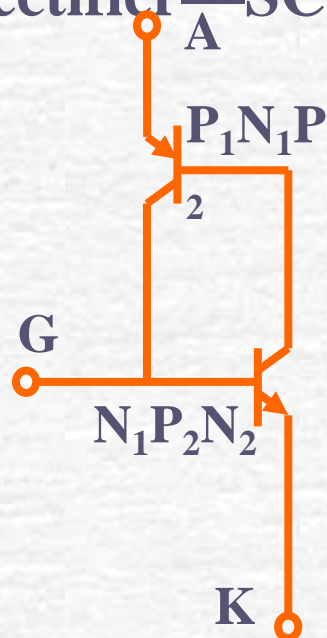
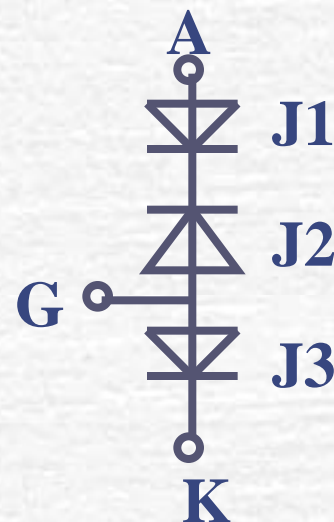
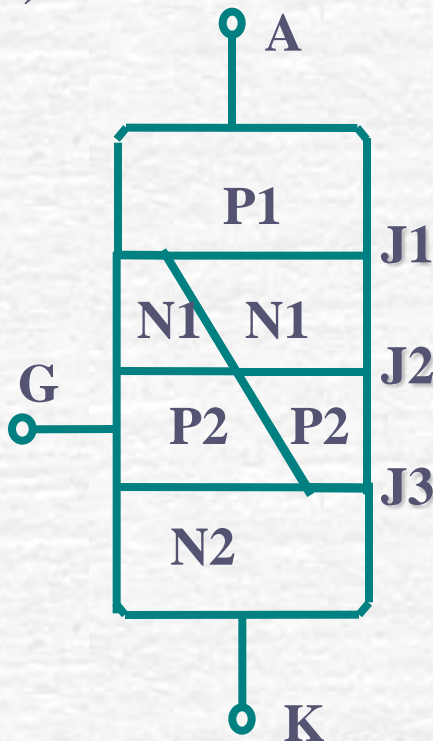
二、晶闸管(Thyristor)可控硅(Silicon Controlled Rectifier—SCR)

1) 内部结构

四层三端器件

P1 N1 P2 N2

三个PN结 J1,J2,J3



2) 工作原理

(1) 阻断状态

条件:G 悬空

$U_{AK} > 0$ 时, J1,J3正偏 ,J2反偏→A、K间无电流
→正向阻断状态

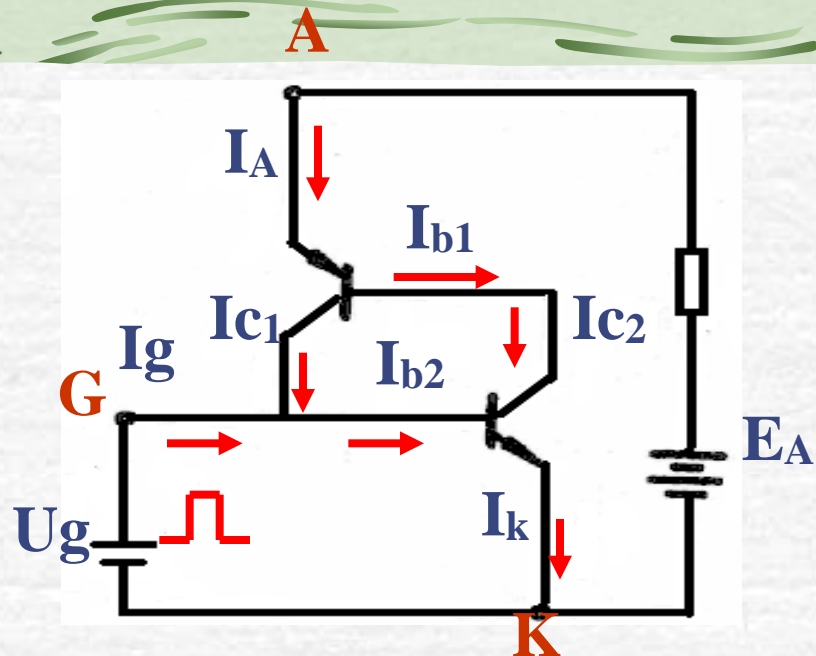
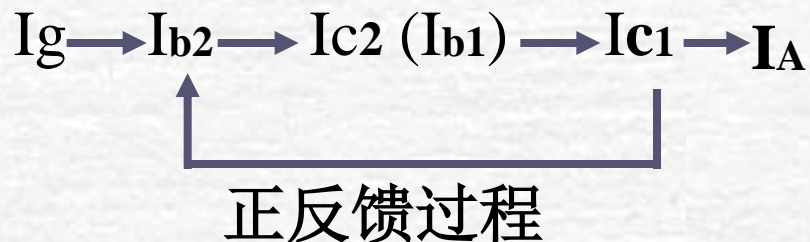
$U_{AK} < 0$ 时, J1,J3反偏 ,J2正偏→A、K间无电流
→反向阻断状态

(2) 导通状态

条件: **AK正偏, GK正偏.**

加 I_g 电流 \rightarrow 正反馈, 晶闸管迅速导通。

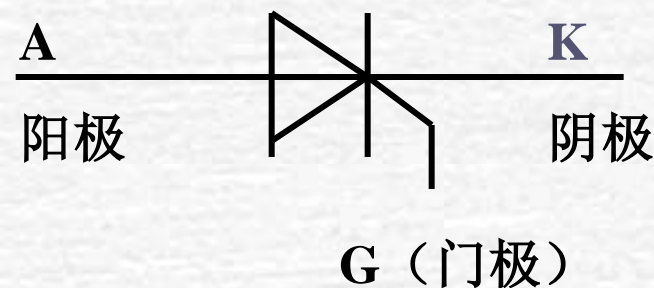
导通过程:



(3) 关断

关断条件: I_A 减小至维持电流 I_H 以下。

实现方法: U_{AK} 减小到零或加反压



① 承受反向电压时，不论门极是否有触发电流，晶闸管都不会导通。

② 承受正向电压时，仅在门极有触发电流的情况下晶闸管才能开通→**导通条件**。

③ 晶闸管导通后相当于二极管→单向导电性

④ 一旦导通，门极就失去控制作用→半控性

门极常采用正向脉冲信号驱动→触发

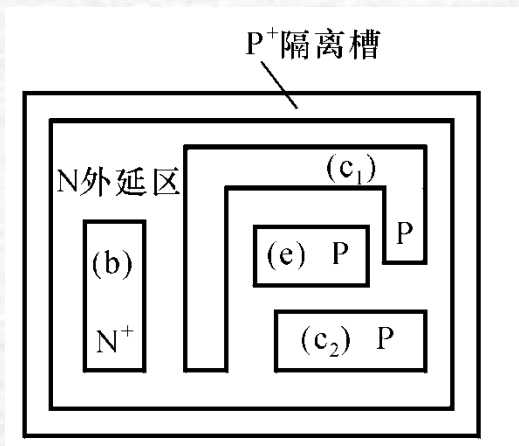
⑤ 导通后阳极电流 I_A 小于维持电流 I_H 才会关断→**关断条件**

关断方法

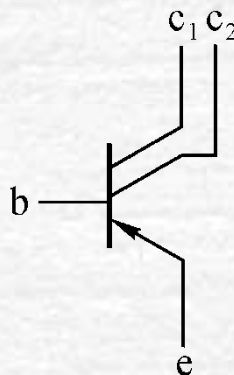
- 交流电路利用电压反向自动关断晶闸管
- 直流电路设置关断电路加反压关断晶闸管

二、多集电极管与多发射极管

多集电极管



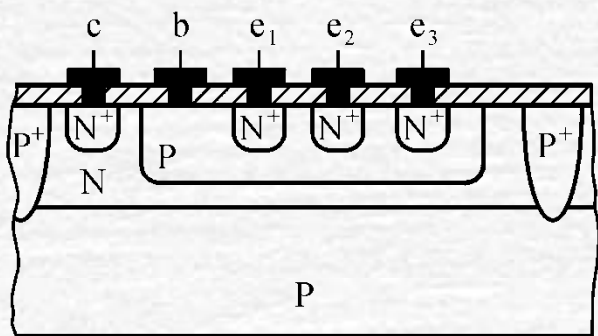
结构图



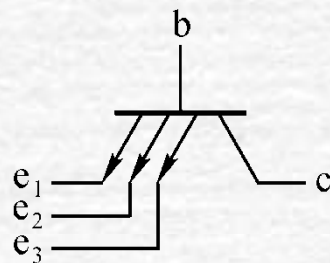
电路符号

在制作PNP型管时，若作多个集电区，则得到多集电极管，它们的集电极电流之比约等于各集电区面积之比。

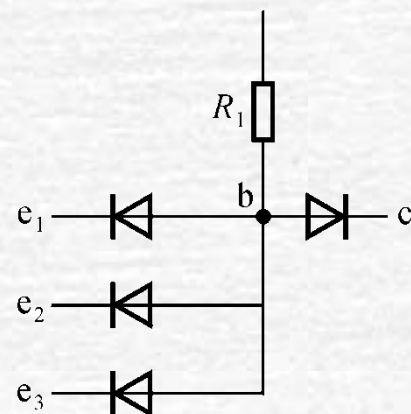
多发射极管



结构图

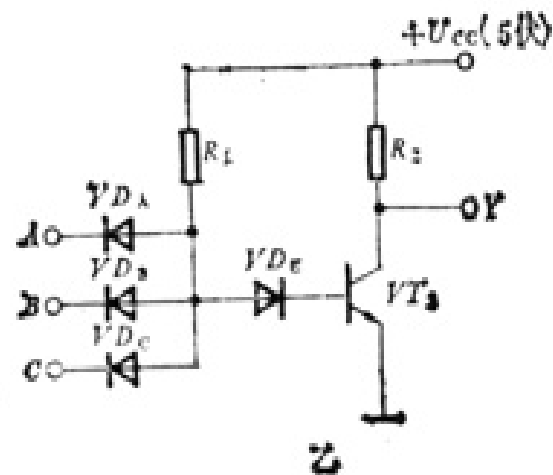
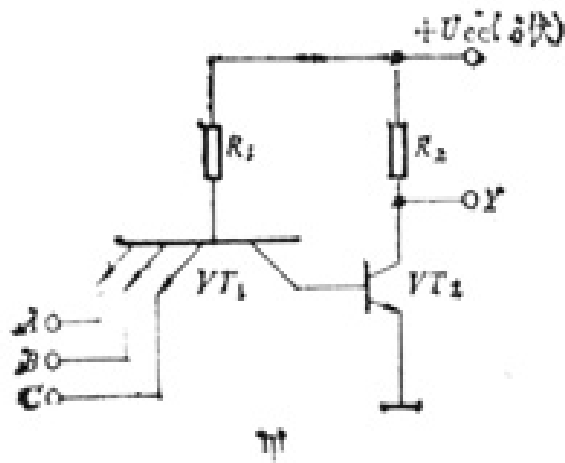


电路符号



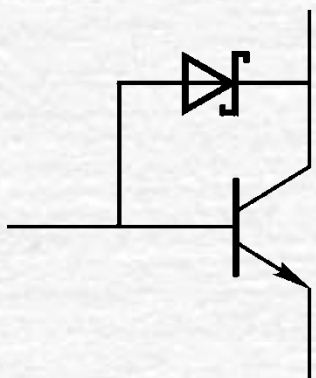
等效电路

最简单的TTL与非门电路

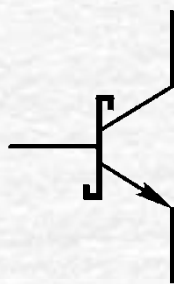


三、肖特基三极管

肖特基二极管（SBD）的导通电压只有0.4V，没有电荷存储效应，开关时间很短。

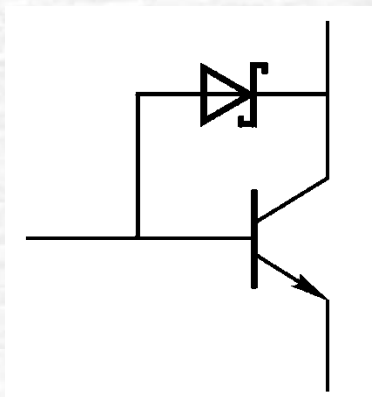


结构



电路符号

肖特基三极管可以有效地限制管子的饱和深度，大大缩短开关时间。



三极管未饱和时， J_c 反偏，SBD截止，对电路没影响；当三极管进入饱和时， J_c 正偏，SBD导通，使集电极正向偏压被箝位在0.4V，限制管子的饱和深度，同时又使三极管基极电流减小。



☞ The end

