

2022年 秋季学期

2. PN 结的单向导电性

PN结加正向电压导通：必要吗？
耗尽层变窄，扩散运动加剧，由于外电源的作用，形成扩散电流，PN结处于导通状态。

加反向电压截止：
耗尽层变宽，阻止扩散运动，有利于漂移运动，形成漂移电流。由于电流很小，故可近似认为其截止。

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

1

2022年 秋季学期

四、PN 结的电容效应

1. 势垒电容

PN结外加电压变化时，空间电荷区的宽度将发生变化，有电荷的积累和释放的过程，与电容的充放电相同，其等效电容称为势垒电容 C_b 。

2. 扩散电容

PN结外加的正向电压变化时，在扩散路程中载流子的浓度及其梯度均有变化，也有电荷的积累和释放的过程，其等效电容称为扩散电容 C_d 。

结电容： $C_j = C_b + C_d$

结电容不是常量！若PN结外加电压频率高到一定程度，则失去单向导电性！

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

2

2022年 秋季学期

半导体二极管及其基本应用

- 一、二极管的组成
- 二、二极管的伏安特性及电流方程
- 三、二极管的等效电路
- 四、二极管的主要参数
- 五、基本应用

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

3

2022年 秋季学期

一、二极管的组成

将PN结封装，引出两个电极，就构成了二极管。

小功率二极管 大功率二极管 稳压二极管 发光二极管

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

4

2022年 秋季学期

一、二极管的组成

将PN结封装，引出两个电极，就构成了二极管。

(a) 点接触型: 金属丝, N型硅片, 阳极引线, 阴极引线, 外壳

(b) 面接触型: 铝合金小球, PN结, N型硅, 金锡合金, 底座, 阳极引线, 阴极引线

(c) 平面型: 阳极引线, P型硅, SiO₂保护层, N型硅, 阴极引线

点接触型: 结面积小, 结电容小, 故结允许的电流小, 最高工作频率高。

面接触型: 结面积大, 结电容大, 故结允许的电流大, 最高工作频率低。

平面型: 结面积可小, 可大, 小的工作频率高, 大的结允许的电流大。

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

5

2022年 秋季学期

二、二极管的伏安特性及电流方程

二极管的电流与其端电压的关系称为伏安特性。

$i = f(u)$

$i = I_s (e^{\frac{u}{U_T}} - 1)$ (常温下 $U_T = 26\text{mV}$)

击穿电压, 反向饱和电流, 开启电压

材料	开启电压	导通电压	反向饱和电流
硅Si	0.5V	0.5~0.8V	1 μA 以下
锗Ge	0.1V	0.1~0.3V	几十 μA

温度的电压当量

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

6

2022年 秋季学期

从二极管的伏安特性可以反映出:

1. 单向导电性

正向特性为指数曲线

$i = I_s (e^{\frac{u}{U_T}} - 1)$

若正向电压 $u \gg U_T$, 则 $i \approx I_s e^{\frac{u}{U_T}}$

若反向电压 $|u| \gg U_T$, 则 $i \approx -I_s$

反向特性为横轴的平行线

2. 伏安特性受温度影响

$T (^{\circ}\text{C}) \uparrow \rightarrow$ 在电流不变情况下管压降 $u \downarrow$

\rightarrow 反向饱和电流 $I_s \uparrow$, $U_{(BR)} \downarrow$ 增大1倍/ 10°C

$T (^{\circ}\text{C}) \uparrow \rightarrow$ 正向特性左移, 反向特性下移

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

7

2022年 秋季学期

三、二极管的等效电路

1. 将伏安特性折线化

导通时 Δi 与 Δu 成线性关系

理想二极管

理想开关: 导通时 $U_D = 0$, 截止时 $I_S = 0$

近似分析中最常用: 导通时 $U_D = U_{on}$, 截止时 $I_S = 0$

应根据不同情况选择不同的等效电路!

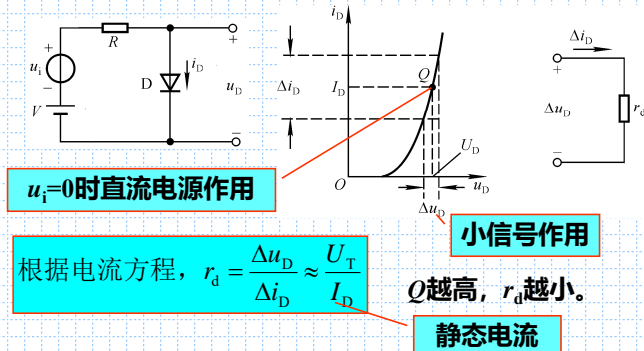
100V? 5V? 1V? ?

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

8

2. 微变等效电路 (*)

当二极管在静态基础上有一动态信号作用时, 则可将二极管等效为一个电阻, 称为动态电阻, 也就是微变等效电路。



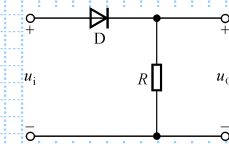
wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

9

四、二极管的主要参数

- 最大整流电流 I_F : 最大平均值
- 最大反向工作电压 U_R : 最大瞬时值
- 反向电流 I_R : 即 I_S
- 最高工作频率 f_M : 因PN结有电容效应



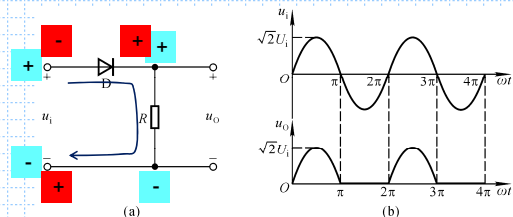
wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

10

五、普通二极管的基本应用

- 整流电路: 忽略正向压降和反向电流
 - 将交流电压转换成直流电压, 称为整流



u_i 上“+”下“-”, 二极管导通, $u_o = u_i$ 。

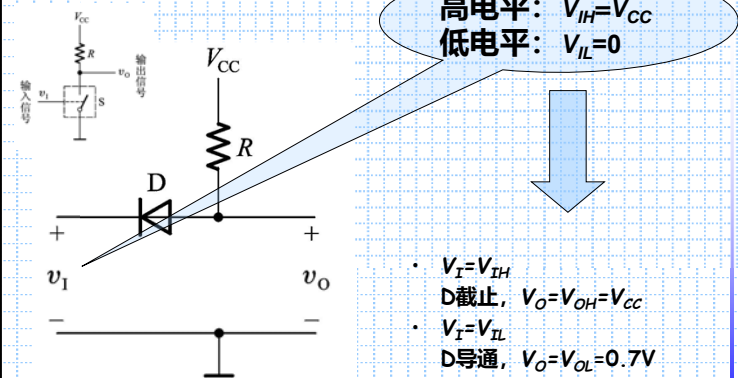
u_i 上“-”下“+”, 二极管截止, $u_o = 0$ 。

wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

11

3.2.1 二极管的开关特性



wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

12

2022年 秋季学期

3.2.2 二极管与门

设 $V_{CC} = 5V$
 加到A,B的 $V_{IH} = 3V$ $V_{IL} = 0V$
 二极管导通时 $V_{DF} = 0.7V$

规定3V以上为1
 0.7V以下为0

A	B	Y
0V	0V	0.7V
0V	3V	0.7V
3V	0V	0.7V
3V	3V	3.7V

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

13

2022年 秋季学期

五、普通二极管的基本应用

· 开关电路：二极管导通电压为0.7V

高电平
 低电平

只有 u_{11} 和 u_{12} 二均为高电平, u_O 均为高电平——称为与门。
 二极管一端电位确定, 另一端电位就确定——钳位作用。

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

14

2022年 秋季学期

3.2.3 二极管或门

设 $V_{CC} = 5V$
 加到A,B的 $V_{IH} = 3V$ $V_{IL} = 0V$
 二极管导通时 $V_{DF} = 0.7V$

规定2.3V以上为1
 0V以下为0

A	B	Y
0V	0V	0V
0V	3V	2.3V
3V	0V	2.3V
3V	3V	2.3V

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

15

2022年 秋季学期

二极管构成的门电路的缺点

- 电平有偏移
- 带负载能力差

↓

- 只用于IC内部电路

wang_hong@tsinghua.edu.cn 清华大学

16

场效应管及其放大电路

- 一、结型场效应管 (**)
- 二、绝缘栅型场效应管
- 三、场效应管的分类

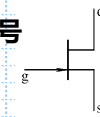
单极型管：噪声小、抗辐射能力强、低电压工作

场效应管有三个极：源极 (s)、栅极 (g)、漏极 (d)，对应于晶体管的e、b、c；有三个工作区域：截止区、恒流区、可变电阻区，对应于晶体管的截止区、放大区、饱和区。

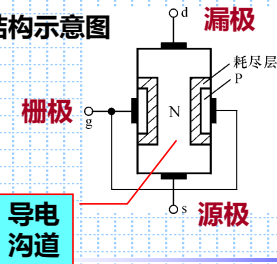
一、结型场效应管 (以N沟道为例) (**)

1. 符号与结构

符号

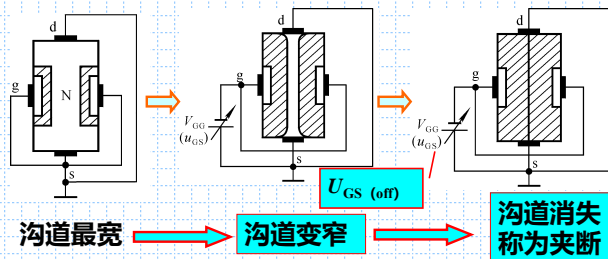


结构示意图



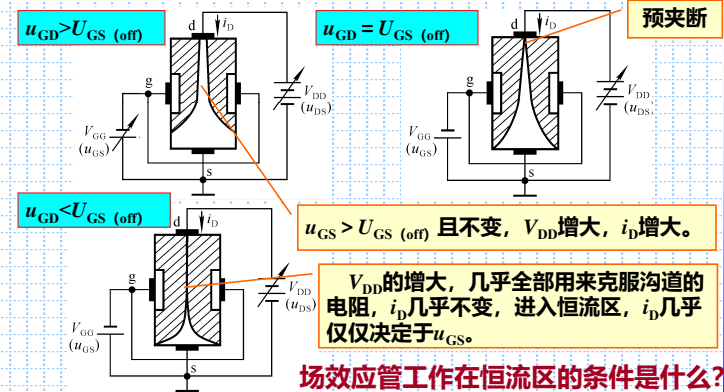
2. 工作原理

(1) 栅-源电压对导电沟道宽度的控制作用

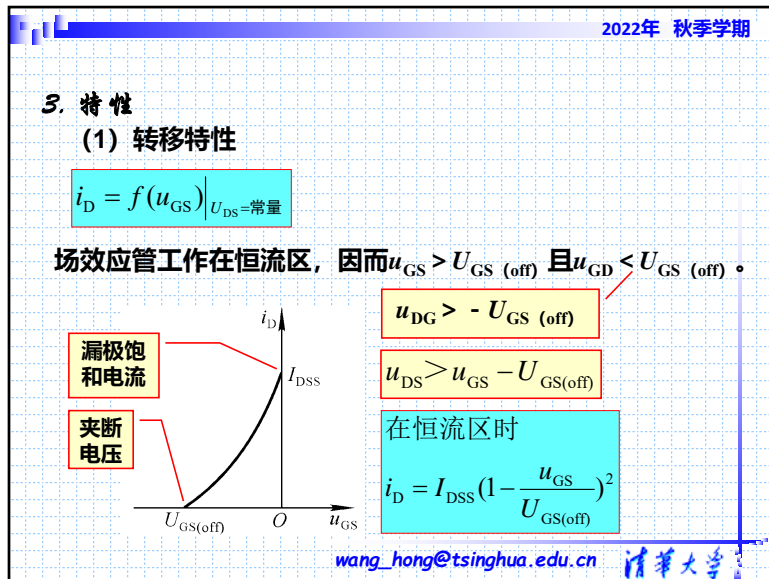


u_{GS} 可以控制导电沟道的宽度。为什么g-s必须加负电压？

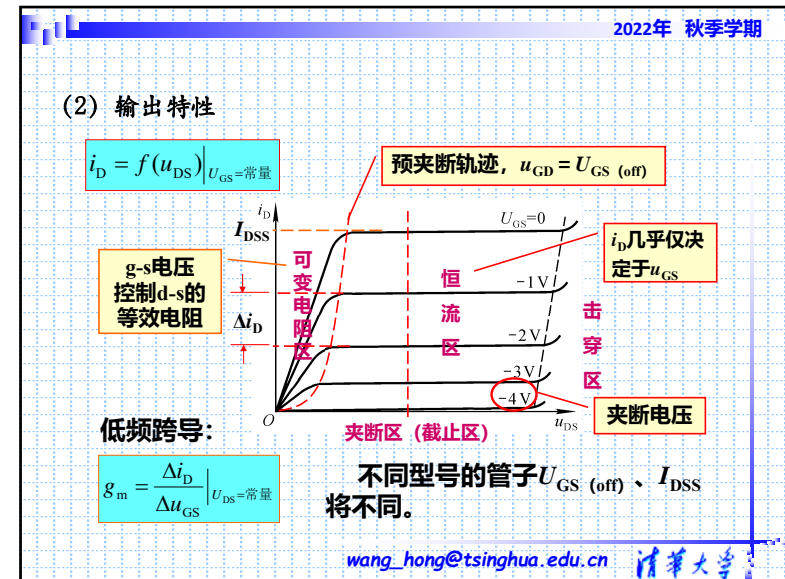
(2) 漏-源电压对漏极电流的影响



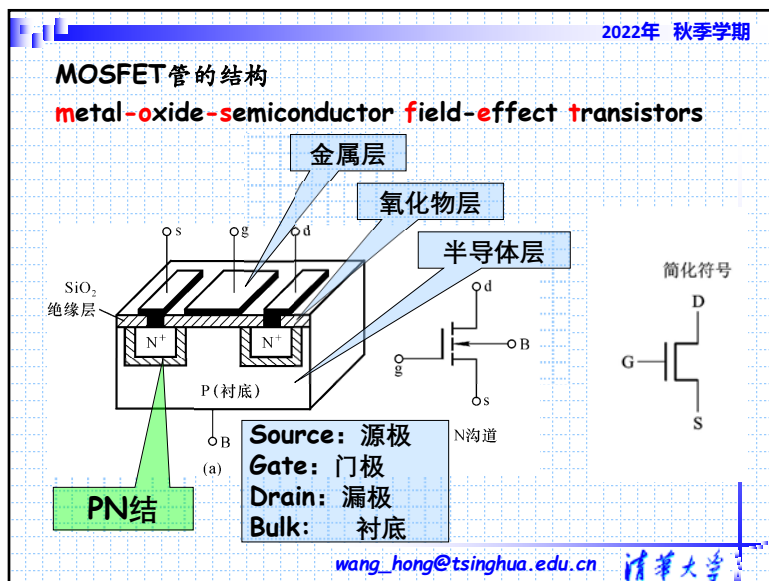
场效应管工作在恒流区的条件是什么？



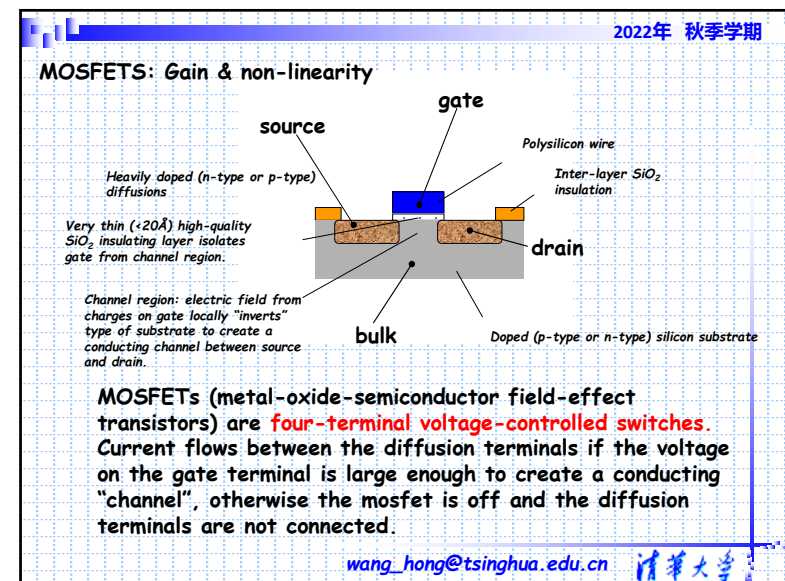
21



22



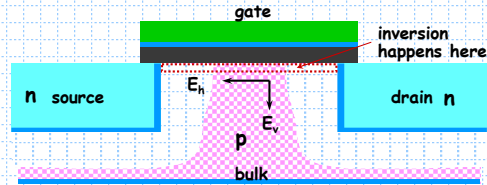
23



24

FETs as switches

The four terminals of a Field Effect Transistor (gate, source, drain and bulk) connect to conducting surfaces that generate a complicated set of electric fields in the channel region which depend on the relative voltages of each terminal.



INVERSION:

A sufficiently strong vertical field will attract enough electrons to the surface to create a conducting n-type channel between the source and drain.

CONDUCTION:

If a channel exists, a horizontal field will cause a drift current from the drain to the source.

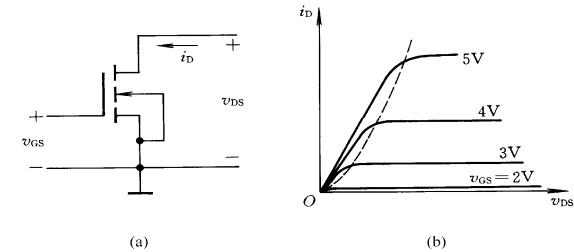
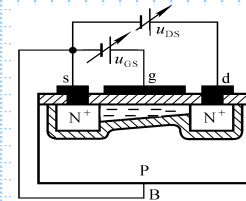
wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

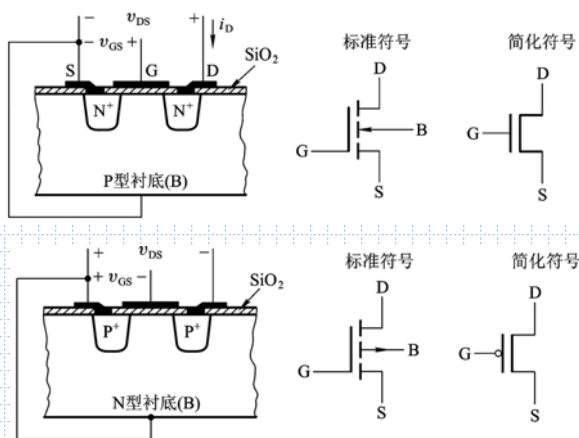
25

特性曲线 (分三个区域)

- ① 截止区
- ② 可变电阻区
- ③ 恒流区



26



wang_hong@tsinghua.edu.cn

清华大学

27