

## 复习重点 2023.01.04

### 4 PN 二极管

- 正反偏伏安特性的理想情况与非理想因素
- 击穿电压的种类和特点

### 5、6、7 MOSFET

- 影响阈值电压的因素：栅氧层厚度、氧化层电荷、金属功函数差、衬底偏压、短沟道效应（含 DIBL）
- 氧化层电学厚度或有效厚度的概念，除自身物理厚度外，还需要考虑哪些厚度？（相应的电容串并联等效电路）
- 会识别 CMOS 电路的版图，分清沟道长度与宽度，解释 NMOS 和 PMOS 沟道宽度上的差别
- 急变倒掺杂衬底下的理想伏安特性（ $m = 1$ 时退化为萨方程），哪些因素对输出电流有影响，怎样影响：沟道宽长比、迁移率（受栅压或垂直电场影响）、氧化层有效电容
- 短沟道导致的水平电场增强下的漂移速度饱和对输出特性的影响，学会用  $I_D = WQ_{inv}(x)v(x)$  计算不同位置的载流子漂移速度
- 亚阈值导电，亚阈值摆幅、阈值电压、截止漏电流  $I_{off}$  之间的关系，影响亚阈值摆幅的因素
- DIBL 效应：阈值电压跌落， $I_{off}$  增大，饱和区输出特性曲线倾斜（输出电导增大或输出电阻减小）；同时因为 DIBL 意味着栅压对表面状态控制力减弱（即在半导体的分压减弱），亚阈值摆幅也会增大（恶化）
- 表征 DIBL 效应的特征长度与那 3 个参数相关

### 8 双极晶体管

- 电流增益随集电极电流的变化规律及机理解释
- 影响电流增益和特征频率的各种因素（填表）
- 发射区考虑重掺杂效应（基区不考虑）的电流增益相关因子的计算：  
发射极注入效率  $\gamma$

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{G_B}{G_E}} = \frac{1}{1 + \frac{N_B W_B}{D_B} \cdot \frac{D_E}{N_E W_E} \cdot \frac{n_{iE}^2}{n_i^2}}$$

（其中  $n_{iE}^2$  为方便计算，题目中会直接给出，实践中需由经验公式计算或查实验曲线获得）

基区输运因子  $\alpha_T$

（注意：第 8 章 ppt 中误写为基区渡越因子，请自行纠正）

$$\alpha_T = 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{W_B}{L_B} \right)^2$$

电流增益

$$\alpha_F = \gamma \alpha_T \delta$$

（较大偏压下  $\delta = 1$  无需计算）

$$\beta_F = \frac{\alpha_F}{1 - \alpha_F}$$

附：

1. 第 5、6、7 章作业第 10 题（教材第 7 章第 7.3 题）参考答案。
2. 第 4 章作业 2，第 3 题，参考答案。此题更大程度上属半导体物理课程范围，仅供学习参考。

1. 第 5、6、7 章作业第 10 题（教材第 7 章第 7.3 题）参考答案

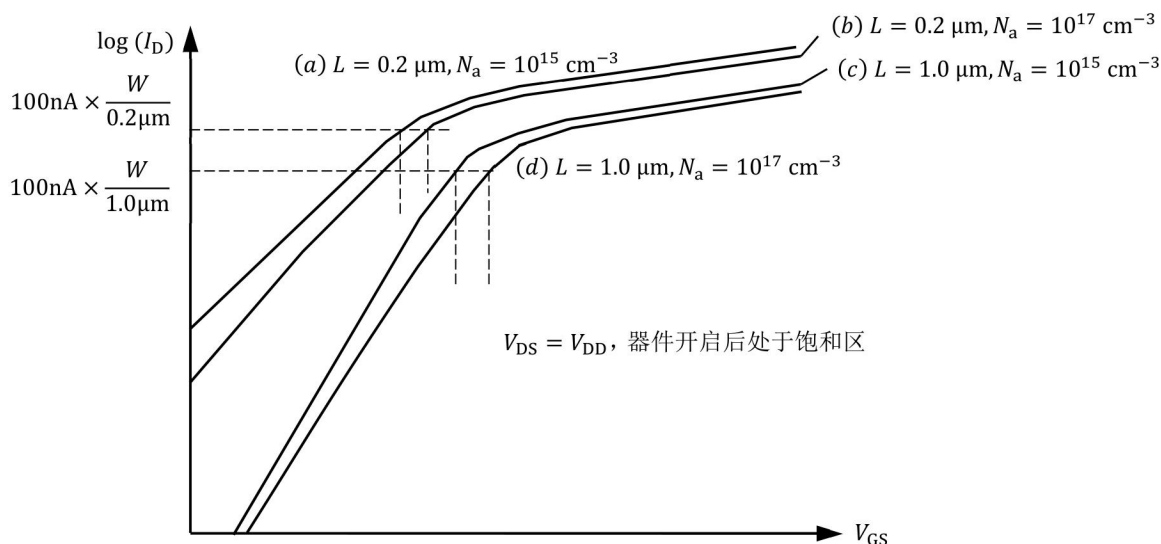
教材第 7 章 7.3 题

●  $V_t$  Roll-off ●

7.3 Qualitatively sketch  $\log(I_{ds})$  vs.  $V_g$  (assume  $V_{ds} = V_{dd}$ ) for the following:

- (a)  $L = 0.2 \mu\text{m}, N_a = 1\text{E}15 \text{ cm}^{-3}$ .
- (b)  $L = 0.2 \mu\text{m}, N_a = 1\text{E}17 \text{ cm}^{-3}$ .
- (c)  $L = 1 \mu\text{m}, N_a = 1\text{E}15 \text{ cm}^{-3}$ .
- (d)  $L = 1 \mu\text{m}, N_a = 1\text{E}17 \text{ cm}^{-3}$ .

Please pay attention to the positions of the curves relative to each other and label all curves.



- 长沟道下，曲线（c）的衬底掺杂浓度偏低，故阈值电压低于曲线（d），阈值电压附近，曲线（c）位于（d）的左侧；但其掺杂浓度低，则 $W_{dep}$ 大，所以 $C_{dep}$ 小，栅压在其上分压（即表面势分量）大，亚阈值转移特性下降快，摆幅 $S$ 小。
- 短沟道下，因短沟道和 DIBL 效应，阈值电压降低，同时宽长比增大，使（a）（b）两曲线电流均高于（c）（d）。其实短沟道也会使漂移速度易于饱和，有降低饱和电流的趋势，但这里没有其他具体参数无法进一步估算，只是姑且给出其中一种可能性。
- 由于衬底浓度低，短沟道下曲线（a）的阈值仍低于（b），整体曲线位于其左侧；但因掺杂浓度低，也会使曲线（a）对应的 $W_{dep}$ 增大，加剧 DIBL 效应，即栅压对表面势的控制减弱程度加大，会使摆幅增大，亚阈值区曲线下降变缓。

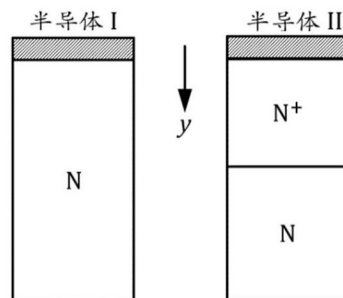
2. 第 4 章作业 2，第 3 题，参考答案。此题更大程度上属半导体物理课程范围，仅供学习参考。

如右图所示两块相同材料的半导体 I 和 II，禁带宽度为  $E_g$ ；半导体 I 为 N 型轻掺杂，费米能级距导带底  $E_g/4$ ；上表面与金属接触，金属功函数大于半导体亲和能，相差  $3E_g/4$ 。半导体 II 下半部分（N 区）掺杂与半导体 A 相同，上半部分（N<sup>+</sup>区）为重掺杂，费米能级与导带底重合，上表面接触的金属与半导体 I 相同。金属—半导体界面为理想界面：

（1）示意性地画出热平衡下半导体 I 和 II 沿  $y$  方向的能带图，包含金—半接触部分和半导体体内；

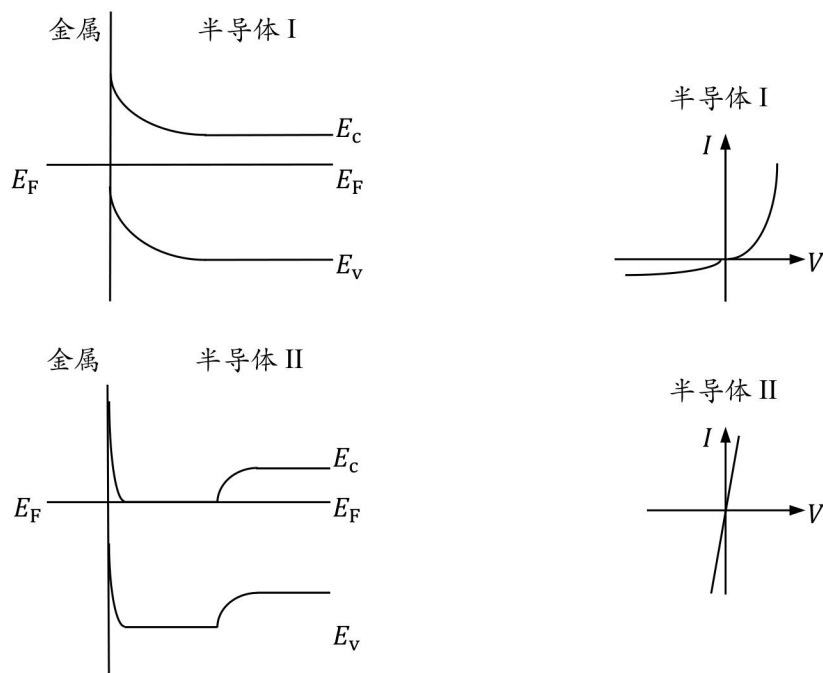
（2）分别画出两种金—半接触的正、反向伏安特性，并说明二者有何区别。

（3）两种金—半接触在导电机理上有何区别？（假定半导体电子迁移率高，平均自由程大）



答：(1) 如左下图。(2) 如右下图，I 为整流特性，II 为正反偏对称的低阻线性特性。

(3) I 为肖特基接触，导电机理为热电子发射。零偏即热平衡时，电子从金属向半导体和从半导体向金属发射



的电子流相等，没有净电流；正偏时（金属高电位，半导体低电位），金属侧势垒不变，半导体侧势垒降低，半导体向金属的电子热发射占优且随势垒降低指数增长，有迅速增长的净电子流流向金属，构成金属流向半导体的正向电流；反偏时（两侧电位高低与正偏相反），金属侧势垒不变，半导体侧势垒增大，金属向半导体的电子热发射占优，有净电子流流向半导体，构成半导体流向金属的反向电流，但因金属侧势垒高度不变，仍保持在热平衡下的低发射水平和小电流上。（若考生答得简略些，只要概念正确，亦可得分。）

II 为欧姆接触，导电机理为隧穿导电（场发射）。高掺杂浓度使得表面势垒层很薄，正反偏作用下电子很容易从两侧形成单向净隧穿导电，形成低阻、线性的欧姆特性导电。