第三次课后习题讲解
MOS部分

张凯丽

2020/11/6

单项选择题

1.在什么偏置条件下，多子会在氧化物-硅界面处积累？

a) 积累
b) 平带
c) 耗尽
d) 深耗尽
e) 反型

2.在什么偏置条件下，少子会在氧化物-硅界面处积累？

a) 积累
b) 平带
c) 耗尽
d) 深耗尽
e) 反型

3.在什么偏置条件下，半导体内的电荷密度为0？

a) 积累
b) 平带
c) 耗尽
d) 深耗尽
e) 反型

4.可将MOS电容看作：

a) 两个串联的固定电容
b) 两个并联的固定电容
c) 一个固定电容和一个与偏置有关的电容串联
d) 一个固定电容和一个与偏置有关的电容并联
e) 两个串联的与偏置有关的电容

5.当$V_G = V_T$时，半导体中的能带弯曲是多少？

a） $\phi_F/2$
b） ϕ_F
c） $3\phi_F/2$
d） $2\phi_F$
e） $5\phi_F/2$

计算与简答题

1) 在MOS电容中，一切都取决于半导体中的能带弯曲。如果φ_S是表面势，而$\varphi = 0$是整体中的电势，则$-q\varphi_S$是半导体中的总能带弯曲。负φ_S表示能带向上弯曲，正φ_S表示能带向下弯曲。假设一个在室温下Si MOS电容。

1a) 假设$N_A = 10^{17} cm^{-3}$，计算$E_i - E_F$和MOS静电特性中相关电势$\emptyset_F = (E_i - E_F)/q$。

为了能确定$(E_i - E_F)$，我们先讨论一下Ei与EF之间的关系。

$$\boxed{p_0 = N_A = n_i e^{(E_i - E_F)/k_B T}}$$

求解得：

$$\boxed{(E_i - E_F) = k_B T \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)}$$

内建电势为

$$\boxed{\phi_F = \frac{(E_i - E_F)}{q} = \frac{k_B T}{q} \ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right)}$$

代入数值可得：

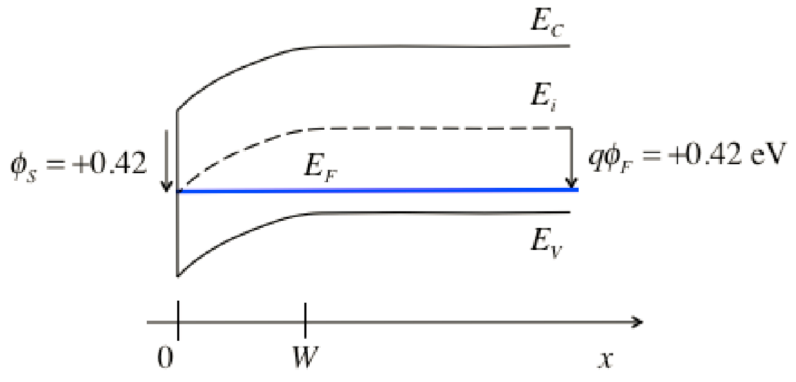
$$\boxed{\phi_F = 0.026 \ln\left(\frac{10^{17}}{10^{10}}\right) = 0.42\ \mathrm{V}}$$

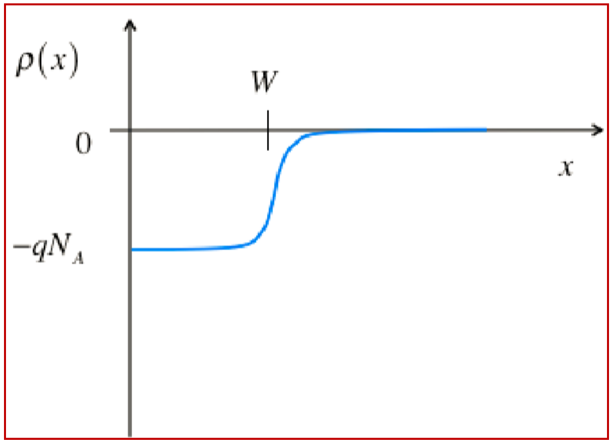
$$\boxed{\phi_F = +0.42\ \mathrm{V}}$$

（需要注意的事情是 $\emptyset_F$在P型半导体是正值，在N型半导体中是负值）

1) 在MOS电容中，一切都取决于半导体中的能带弯曲。如果φ_S是表面势，而$\varphi= 0$是整体中的电势，则$-q\varphi_S$是半导体中的总能带弯曲。负φ_S表示能带向上弯曲，正φS表示能带向下弯曲。假设一个在室温下Si MOS电容。

1b) 假设$\phi_S=\phi_F$，并绘制能带图，电荷密度ρ(x)与半导体位置的关系。



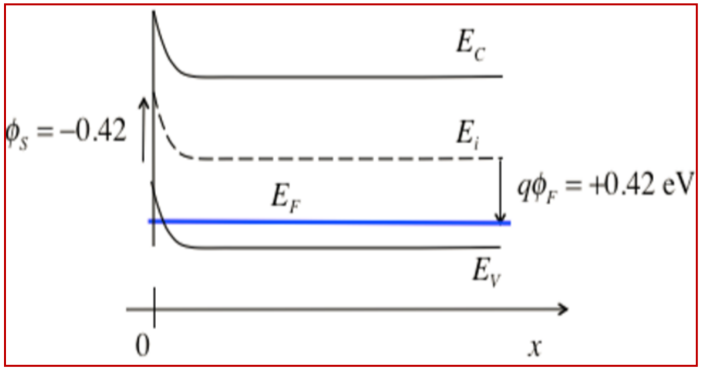


（需要注意的是：在耗尽近似中求解电场时，我们将电荷密度近似为在x=W处带有突变边缘的矩形）

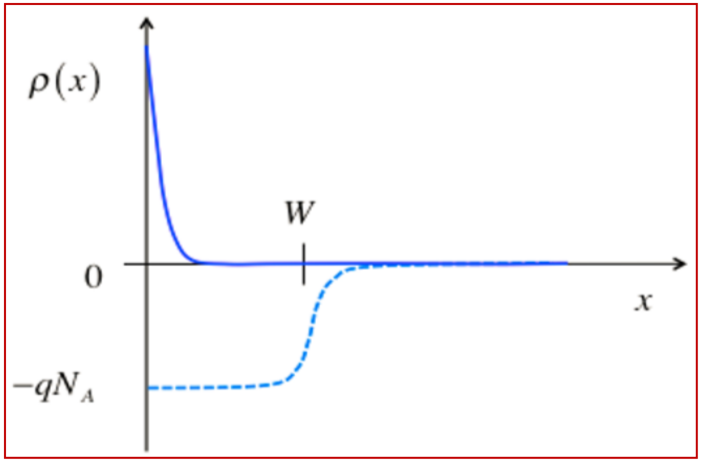
计算与简答题

1) 在MOS电容中，一切都取决于半导体中的能带弯曲。如果φ_S是表面势，而$\varphi = 0$是整体中的电势，则$-q\varphi_S$是半导体中的总能带弯曲。负φ_S表示能带向上弯曲，正φS表示能带向下弯曲。假设一个在室温下Si MOS电容。

1c) 假设$\phi_S = -\phi_F$，并绘制能带图，电荷密度$\rho_{(x)}$与半导体位置的关系。



负表面电位意味着带在表面向上弯曲。大部分载子孔会堆积在表面上，没有耗尽区。

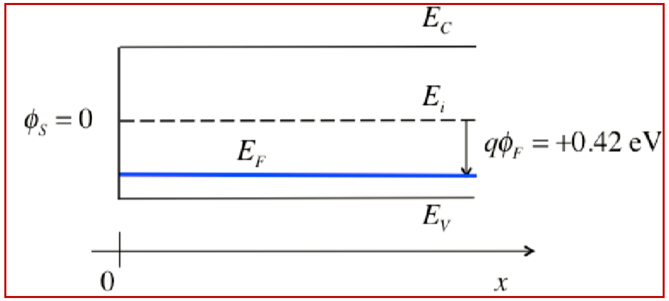


空穴在表面附近堆积，产生巨大的正空间电荷。注意，与(1b)中耗尽的情况相比，带弯曲发生在靠近表面的较薄区域(虚线)。

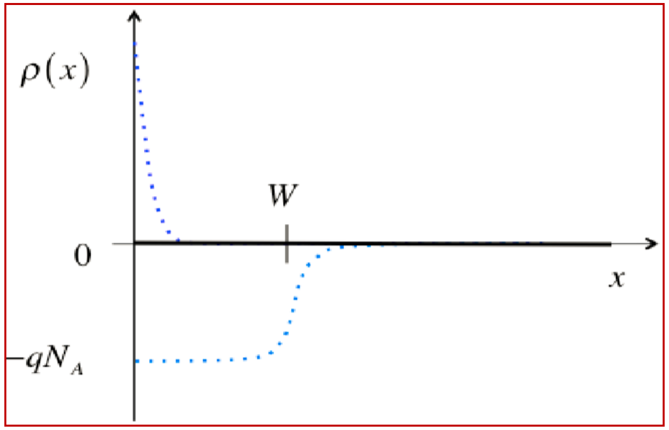
计算与简答题

1) 在MOS电容中，一切都取决于半导体中的能带弯曲。如果φ_S是表面势，而$\varphi= 0$是整体中的电势，则$-q\varphi_S$是半导体中的总能带弯曲。负φ_S表示能带向上弯曲，正φS表示能带向下弯曲。假设一个在室温下Si MOS电容。

1d) 假设$\phi_S = 0$，并绘制能带图，电荷密度$\rho_{(x)}$与半导体位置的关系。



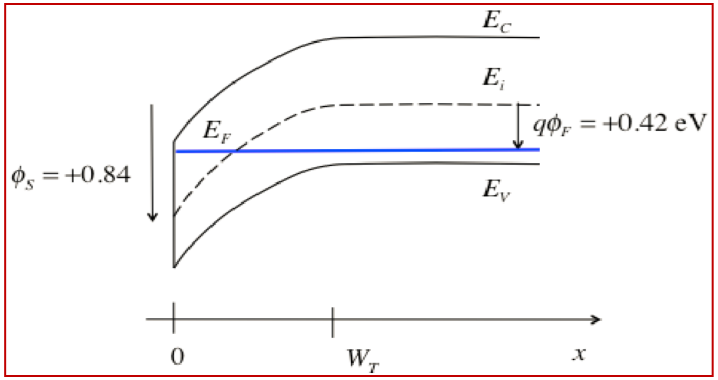
表面电位为零意味着没有能带弯曲

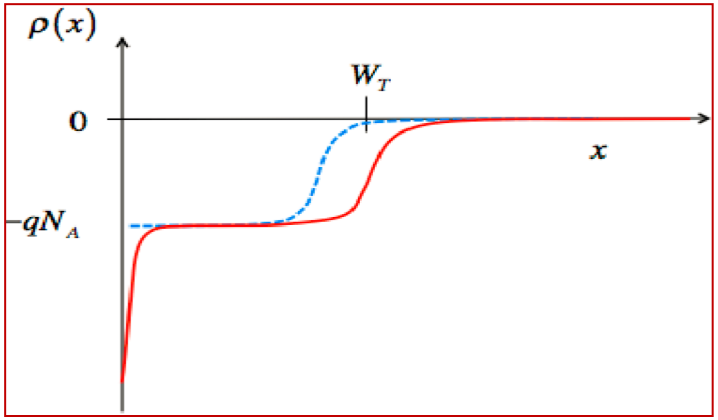


没有能带弯曲意味着在半导体上没有空间电荷（在$\rho_{(x)}$=0处为实线）

1) 在MOS电容中，一切都取决于半导体中的能带弯曲。如果φ_S是表面势，而$\varphi = 0$是整体中的电势，则$-q\varphi_S$是半导体中的总能带弯曲。负φ_S表示能带向上弯曲，正φS表示能带向下弯曲。假设一个在室温下Si MOS电容。

1e) 假设$\phi_S = 2\phi_F$，并绘制能带图，电荷密度$\rho_{(x)}$与半导体位置的关系。





与1b）相比（由虚线所示），耗尽层是更深的，WT>W，因为表面电势更大。但现在表面的本征能级比费米能级低得多和体积中比费米能级高得多。所以表面上电子的浓度和体中（bulk）空穴的浓度是一样的。这种电子倒置电荷在非常靠近表面的地方堆积起来。

(对于分析计算，我们把它看作一个函数)

在$\phi_S = 2\phi_F$，在表面开始形成反型层，但是大部分电荷仍在耗尽层中。 由于表面电势仅略高于$\phi_S = 2\phi_F$，反演电荷呈指数增长。“强反演”描述了ϕ_S仅仅略高于由反转电荷占主导的$2\phi_F$处。

计算与简答题

2） 在室温下MOS电容的$N_A = 10^{18} cm^{-3}$，氧化层厚度为2nm且$K_O = 3.9$。

2a) 计算$\emptyset_F = (E_i - E_F)/q$。

$$\phi_F = \frac{(E_i - E_F)}{q} = \frac{k_B T}{q}\ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right) = 0.026\ln\left(\frac{10^{18}}{10^{10}}\right) = 0.479 \qquad \boxed{\phi_F = 0.479\text{ V}}$$

2b) 当$\emptyset_S = 2\emptyset_F$，计算耗尽层厚度W。

$$W = \left[\frac{2K_S\varepsilon_0}{qN_A}\phi_S\right]^{1/2} = \left[\frac{2\times 11.8\times 8.854\times 10^{-14}}{1.6\times 10^{-19}\times 10^{18}}\times 2\times 0.479\right]^{1/2} = 3.54\times 10^{-6}\text{ cm}$$

$$\boxed{W = W_T = 3.54\times 10^{-6}\text{ cm} = 0.0354\ \mu\text{m} = 35.4\text{ nm}}$$

2c) 当$\emptyset_S = 2\emptyset_F$，计算表面电场$E_S$。

我们可以使用如下公式：

$$\mathcal{E}_S = \left[\frac{2qN_A}{K_S\varepsilon_0}\phi_S\right]^{1/2}$$

或

$$\phi_S = \frac{1}{2}\mathcal{E}_S W$$

由于我们知道表面电势和W的值，第二种方法会更容易一点。

$$\mathcal{E}_S = \frac{2\phi_S}{W} = \frac{2\times(2\times 0.479)}{3.54\times 10^{-6}} = 5.42\times 10^{5}\text{ V/cm} \qquad \boxed{\mathcal{E}_S(2\phi_F) = 5.42\times 10^{5}\text{ V/cm}}$$

重要的是要注意，尽管我们处于反转的开始，但我们假设大部分电荷仍在耗尽区中，因此我们仍然可以使用耗尽近似方程。

2） 在室温下MOS电容的$N_A = 10^{18} cm^{-3}$，氧化层厚度为2nm且$K_O = 3.9$。

2d) 计算阈值电压V_T，假设金属-半导体功函数相同。(这是使$\phi_S = 2\phi_F$并构成半导体反型层所需的栅压)。

根据公式 $\boxed{V_G = \phi_S + \frac{K_S}{K_0} x_0 \mathcal{E}_S}$

如果我们定义氧化物每cm² 为 $\boxed{C_{ox} = \frac{K_S \varepsilon_0}{x_0}}$

同时值得注意的是半导体中的电荷与表面上的电场有关 $\boxed{Q_S = -K_S \varepsilon_0 \mathcal{E}_S}$

然后我们可以将V_G描述为 $\boxed{V_G = \phi_S - \frac{Q_S}{C_{ox}}}$ 会更容易记忆。

$$Q_S(2\phi_F) = -K_S \varepsilon_0 \mathcal{E}_S(2\phi_F) = -11.8 \times 8.845 \times 10^{-14} \times 5.42 \times 10^5 = -5.72 \times 10^{-7}\ \text{C/cm}^2$$

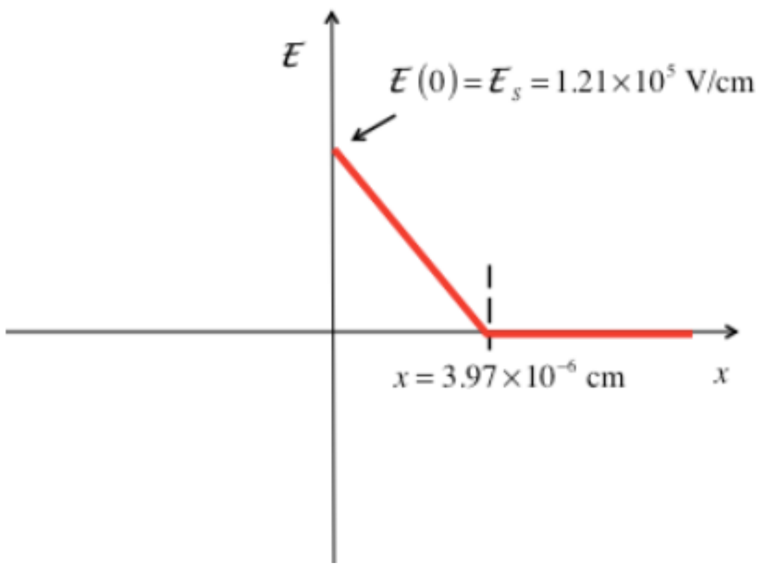
$$C_{ox} = \frac{K_O \varepsilon_0}{x_0} = \frac{3.9 \times 8.854 \times 10^{-14}}{2 \times 10^{-7}} = 1.73 \times 10^{-6}\ \text{F/cm}^2$$

$$V_G(2\phi_F) = 2\phi_F - \frac{Q_S(2\phi_F)}{C_{ox}} = 0.958 + \frac{5.72 \times 10^{-7}}{1.73 \times 10^{-6}} = 1.29\ \text{V}$$

$$\boxed{V_G(2\phi_F) = V_T = 1.29\ \text{V}}$$

计算与简答题

3）MOS电容包含金属电极，2nm厚的二氧化硅层，$K_O = 3.9$，硅衬底从x=0开始，半导体电场如下图所示。



3a) 表面势ϕ_S是多少？(假设半导体中的远处电势为零。)

$$\phi_S = \frac{1}{2}\mathcal{E}_S W = 0.5\times\left(1.21\times10^5\right)\times\left(3.97\times10^{-6}\right) = 0.24$$

$$\boxed{\phi_S = +0.24\ \mathrm{V}}$$

符号是负值，因为电场大于0，因此表面电势要远大于体积的内建电势

3b) 半导体的掺杂密度是多少？

使用泊松公式可得，

$$\frac{d\mathcal{E}}{dx} = \frac{\rho}{K_S\varepsilon_0} = -\frac{qN_A}{K_S\varepsilon_0}$$

$$\frac{d\mathcal{E}}{dx} = \frac{0-\mathcal{E}_S}{W} = -\frac{\mathcal{E}_S}{W}$$

将上述两个公式放在一起，我们可得

$$N_A = \frac{K_S\varepsilon_0}{qW}\mathcal{E}_S$$

$$N_A = \frac{11.8\times8.854\times10^{-14}}{\left(1.6\times10^{-19}\right)\left(3.97\times10^{-6}\right)}1.21\times10^5 = 1.99\times10^{17}$$

$$\boxed{N_A = 1.99\times10^{17}\ \mathrm{cm}^{-3}}$$

谢 谢!