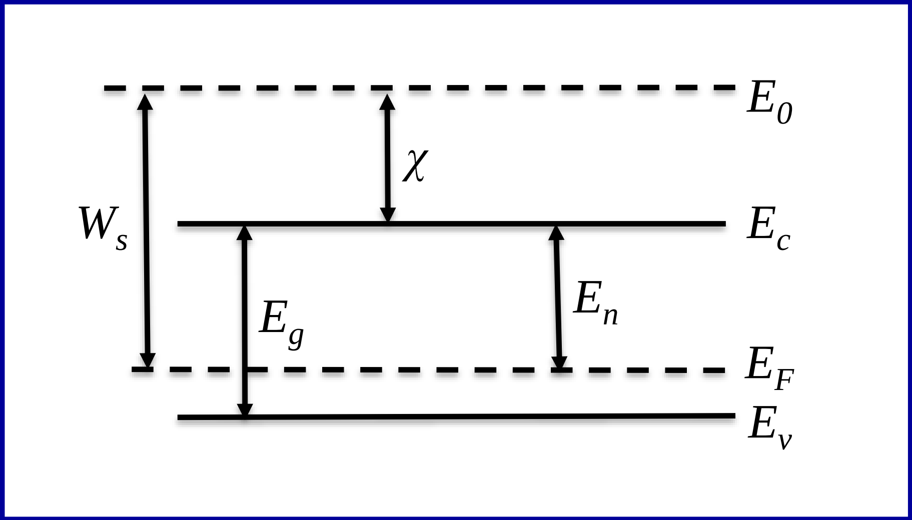
第四章第一次作业

题1：受主浓度N_a=10^{17}cm^{-3}的p型锗，室温下的功函数是多少？若不考虑表面态的影响，它分别和Al、Au、Pt接触时，形成的是阻挡层还是反阻挡层？并画出此时锗与三种金属接触后的能带图（理想情况且忽略间隙），标出功函数、内建电势差、真空能级和势垒等。）

解：(1)未接触时p型锗的能带图：



$$E_n = E_g - (E_F - E_v)$$

$$W_s = \chi + E_n = \chi + E_g - (E_F - E_v)$$

$$E_F = E_v - kT\ln\left(\frac{N_a}{N_v}\right)$$

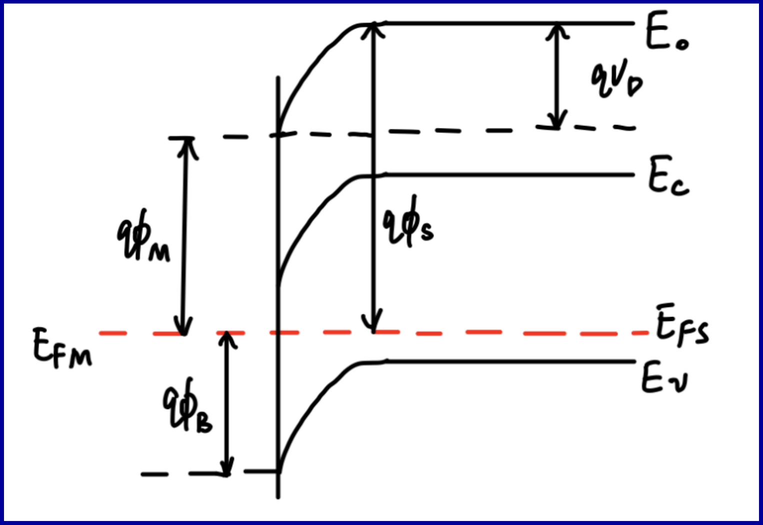
$$E_F = E_v - 0.0259\ln\left(\frac{10^{17}}{3.9\times10^{18}}\right) = E_v + 0.095\text{eV}$$

$$W_s = \chi + E_g - (E_F - E_v)$$
$$= 4.13 + 0.67 - 0.095 = 4.705\text{eV}$$

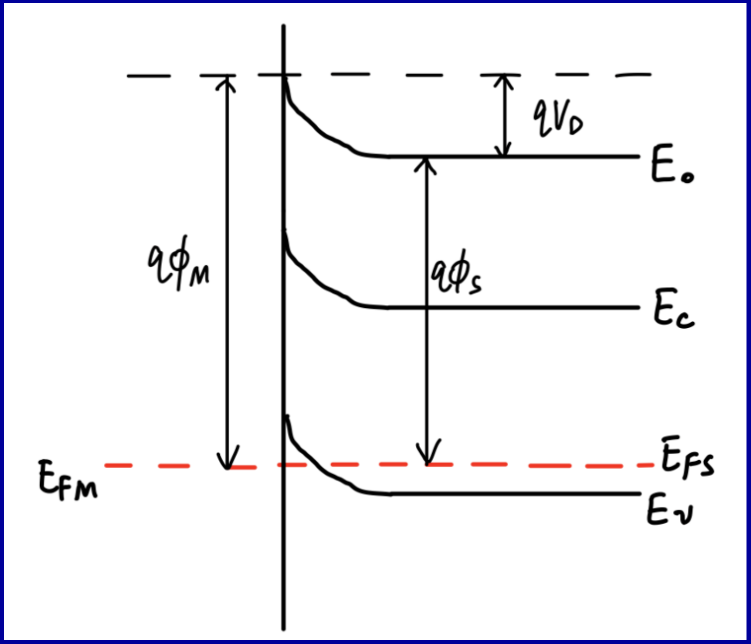
(2)由(1)可知p型Ge的功函数为4.705eV，通过比较其与不同金属功函数的大小可以得出：

金属	金属功函数	p型Ge功函数	形成	对应能带图
Al	4.28eV	4.705eV	阻挡层	①
Au	5.1eV	4.705eV	反阻挡层	②
Pt	5.65eV	4.705eV	反阻挡层	

①Al和p型Ge接触后，形成阻挡层，其能带图：



②Au、Pt和p型Ge接触后，形成反阻挡层，其能带图：



题2：考虑理想情况下由铬与n型硅形成的肖特基二极管，T=300 K。假定半导体是均匀掺杂的，$N_d = 3\times10^{15}\text{cm}^{-3}$。求：(1)理想肖特基势垒高度(2)内建电势差(3)加V=−5V反偏压时的电场强度的峰值，(4)加V=−5V反偏电压时的结电容。(5)并计算如果考虑镜像力，其所引起的肖特基势垒减小值和最大势垒高度对应的x_m值，电场强度采用上述求得的值。

解：(1)理想肖特基势垒高度：

$$q\phi_{Bn}=q\phi_M-\chi=4.5\text{eV}-4.01\text{eV}=0.49\text{eV}$$

(2)求内建电势差

E_c与E_F之间的电势差：

$$\phi_n=\frac{kT}{q}ln\left(\frac{N_c}{N_d}\right)=0.0259\ln\left(\frac{2.8\times10^{19}}{3\times10^{15}}\right)=0.237\text{V}$$

内建电势差：

$$V_{bi}=\phi_{Bn}-\phi_n=0.49-0.238=0.253\text{V}$$

(3)求加$V=-5$V时，电场强度的峰值

加偏压后的耗尽层宽度：

$$x_n=\sqrt{\frac{2\varepsilon_s(V_{bi}-V)}{qN_d}}=\sqrt{\frac{2(11.7)(8.85\times10^{-14})(0.253+5)}{(1.6\times10^{-19})(3\times10^{15})}}=1.505\times10^{-4}\text{cm}$$

此时的电场强度峰值：

$$|E_{max}|=\frac{qN_d x_n}{\varepsilon_s}=\frac{(1.6\times10^{-19})(3\times10^{15})(1.505\times10^{-4})}{(11.7)(8.85\times10^{-14})}=6.98\times10^{4}\text{V/cm}$$

(4)加$V=-5$V反偏电压时的结电容:

$$C=\sqrt{\frac{qN_d\varepsilon_s}{2(V_{bi}-V)}}=\sqrt{\frac{(1.6\times10^{-19})(3\times10^{15})(11.7)(8.85\times10^{-14})}{2\times(0.253+5)}}$$

$$C=6.88\times10^{-9}\text{F/cm}^2$$

(5) 在给定电场$V=-5$V时，肖特基势垒减小值为：

由(3)可知： $E_{max}=6.98\times10^4$ V/cm $E=E_{max}$

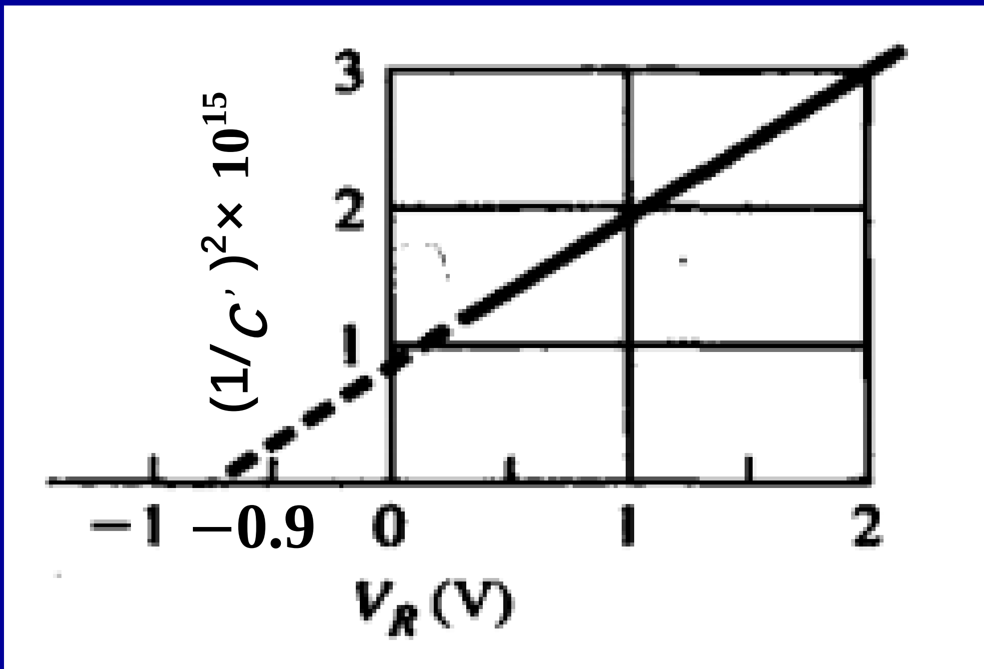
$$e\Delta\phi=e\sqrt{\frac{eE}{4\pi\varepsilon_s}}=e\sqrt{\frac{(1.6\times10^{-19})(6.98\times10^4)}{4\pi(11.7)(8.85\times10^{-14})}}=0.0293\text{eV}$$

最大势垒高度对应x_m值为：

$$x_m=\sqrt{\frac{e}{16\pi\varepsilon_s E}}=\sqrt{\frac{(1.6\times10^{-19})}{16\pi(11.7)(8.85\times10^{-14})(6.98\times10^4)}}$$

$$x_m=2.1\times10^{-7}\text{cm}=21\text{Å}$$

题3：肖特基二极管中n型GaAs在T=300K时的$(1/C')^2$-V_R曲线如图1所示，其中C'是电位面积的电容。计算V_{bi}，N_d和ϕ_{Bn}的值。纵坐标单位：$(cm^2/F)^2$



解：已知

$$\frac{1}{C'^2}=\frac{2(V_{bi}+V)}{eN_d\varepsilon_s}$$

(1)横坐标截距即为V_{bi}：

$$V_{bi}=0.9\text{V}$$

(2)由图斜率为：

$$\frac{\Delta\left(\frac{1}{C'}\right)^2}{\Delta V_R}=\frac{3\times10^{15}-0}{2-(-0.90)}=1.034\times10^{15}$$

由已知公式斜率为：

$$1.034\times10^{15}=\frac{2}{e\in_s N_d}$$

(2)由：

$$1.034\times10^{15} = \frac{2}{e\in_s N_d}$$

可得：

$$N_d = \frac{2}{(1.6\times10^{-19})(13.1)(8.85\times10^{-14})(1.034\times10^{15})}$$

因此：

$$N_d = 1.04\times10^{16}\ \mathrm{cm}^{-3}$$

(3)由于 $V_{bi} = \phi_{Bn} - \phi_n$

求ϕ_{Bn}的值，需首先求得：

$$\phi_n = V_t \ln\left(\frac{N_c}{N_d}\right)$$

$$= (0.0259)\ln\left(\frac{4.7\times10^{17}}{1.04\times10^{16}}\right)$$

$$\phi_n = 0.0986\ \mathrm{V}$$

ϕ_{Bn}值：

$$\phi_{Bn} = \phi_n + V_{bi}$$

$$=0.0986+0.9$$
$$=0.9986\mathrm{V}$$

题4：考虑Au与n型GaAs形成的肖特基二极管，T=300 K，N_d=5×10^{16} cm^{-3}。(a)计算零偏时V_{bi}，x_d以及E_{max}的值; (b)计算肖特基势垒降低值$\Delta\phi$为ϕ_{Bn}的7%时的反偏电压值(用空间电荷区中的E_{max}值)。

解：(a)之前思路求V_{bi}：

$$\phi_n=\frac{kT}{q}ln(\frac{N_c}{N_d})=0.0259\ln(\frac{4.7\times10^{17}}{5\times10^{16}})=0.0580\text{V}$$

$$V_{bi}=\phi_{Bn}-\phi_n=\phi_M-\frac{\chi}{q}-\phi_n=5.1-4.07-0.0580=0.972\text{V}$$

耗尽层宽度x_d：

$$x_d=\sqrt{\frac{2\varepsilon_s V_{bi}}{qN_d}}=\sqrt{\frac{2(13.1)(8.85\times10^{-14})(0.972)}{(1.6\times10^{-19})(5\times10^{16})}}=1.678\times10^{-5}\text{cm}=0.1678\mu\text{m}$$

此时的电场强度峰值E_{max}：

$$|E_{max}|=\frac{qN_d x_d}{\varepsilon_s}=\frac{(1.6\times10^{-19})(5\times10^{16})(1.678\times10^{-5})}{(13.1)(8.85\times10^{-14})}=1.1579\times10^{5}\ \text{V/cm}$$

解：(b)计算肖特基势垒降低值$\Delta\phi$为ϕ_{Bn}的7%时的反偏电压值(用空间电荷区中的E_{max}值)

$$\Delta\phi = 7\%\ \phi_{Bn} = 7\%(\phi_M - \frac{\chi}{q}) = 7\% \times (5.1 - 4.07) = 0.0721\text{V}$$

$$\Delta\phi = \sqrt{\frac{eE}{4\pi\varepsilon_s}} = 0.0721\text{V}$$

$$E = \frac{4\pi\varepsilon_s \Delta\phi^2}{e} = \frac{4\pi(13.1)(8.85\times10^{-14})(0.0721)^2}{1.6\times10^{-19}} = 4.733\times10^5\text{V/cm}$$

由电场强度峰值：

$$|E_{max}| = E = \frac{qN_d x_n}{\varepsilon_s} = \frac{(1.6\times10^{-19})(5\times10^{16})x_n}{(13.1)(8.85\times10^{-14})} = 4.733\times10^5\text{V/cm}$$

$$x_n = 6.859\times10^{-5}\text{cm}$$ 此时耗尽层宽度

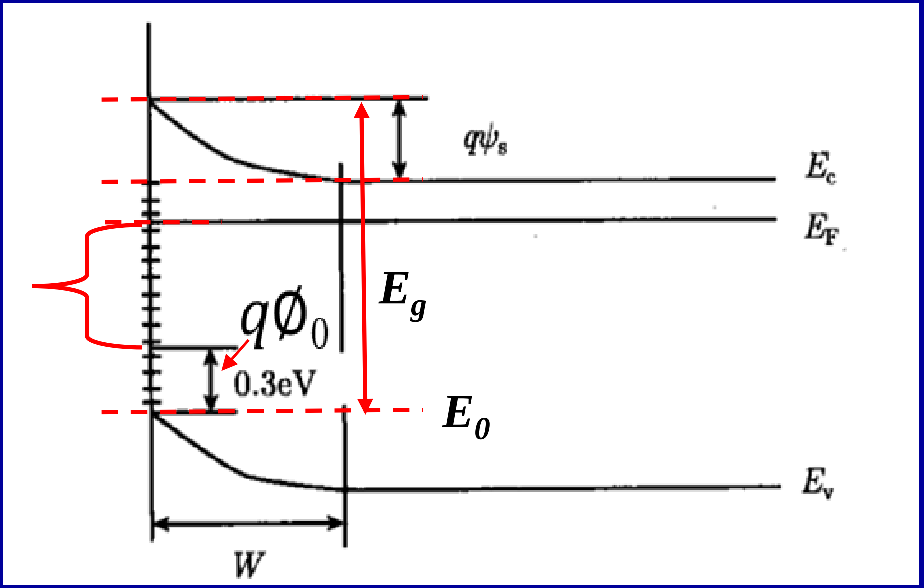
可求此时外加反偏电压值：

$$x_n = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s(V_{bi}+V)}{qN_d}} = 6.859\times10^{-5}\text{cm}$$

$$V = \frac{x_n^2 qN_d}{2\varepsilon_s} - V_{bi} = \frac{(6.859\times10^{-5})2(1.6\times10^{-19})(5\times10^{16})}{2(13.1)(8.85\times10^{-14})} - 0.972 = 16.23\text{V}$$

题5：自由硅表面的施主浓度为$10^{15}cm^{-3}$，均匀分布的表面态密度为$D_{ss}=10^{11}cm^{-2}\ eV^{-1}$，电中性能级位于导带底上0.3eV 处，计算该表面的表面势。

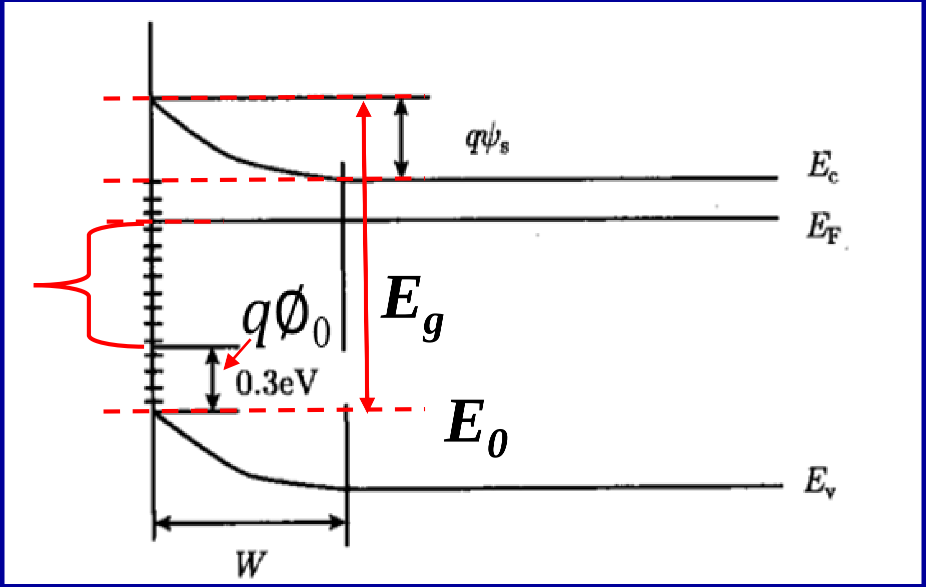
提示:首先求出费米能级与电中性能级之间的能量差，表面态密度与此能量差之积即为存在于这些表面态中的电荷，且存在于这些表面态中的电荷必定与表面势所承受的耗尽层电荷相等。硅的禁带宽度为1.12eV。



解：

$$E_F-E_0=E_g-q\varphi_s-(E_c-E_F)-q\phi_0=1.12\text{eV}-q\varphi_s-kTln(\frac{N_c}{N_d})-0.3\text{eV}$$

$$E_F-E_0=1.12-q\varphi_s-0.0259ln(\frac{2.8\times10^{19}}{10^{15}})-0.3=0.555\text{eV}-q\varphi_s$$



费米能级与电中性能级之间的能量差：

$$E_F - E_0 = 0.555\text{eV} - q\varphi_s$$

存在于这些表面态中的电荷必定与表面势所承受的耗尽层电荷相等：

$$qD_{ss}(E_F - E_0) = qN_d W = qN_d\sqrt{\frac{2\varepsilon_s\varphi_s}{qN_d}}$$

即

$$D_{ss}(0.555\text{eV} - q\varphi_s) = N_d\sqrt{\frac{2\varepsilon_s\varphi_s}{qN_d}}$$

$$D_{ss}(0.555\mathrm{eV}-q\varphi_s) = N_d\sqrt{\frac{2\varepsilon_s\varphi_s}{qN_d}}$$

$$D_{ss} = 10^{11}\mathrm{cm}^{-2}\cdot\mathrm{eV}^{-1}$$

$$5.55\times10^{10}\mathrm{cm}^{-2}-10^{11}\mathrm{cm}^{-2}\cdot\mathrm{V}^{-1}\varphi_s = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s N_d}{q}}\sqrt{\varphi_s}$$

$$5.55\times10^{10}\mathrm{cm}^{-2}-10^{11}\mathrm{cm}^{-2}\cdot\mathrm{V}^{-1}\varphi_s = 1.138\times10^{11}\mathrm{cm}^{-2}\cdot\mathrm{V}^{-1/2}\sqrt{\varphi_s}$$

此为关于$\sqrt{\varphi_s}$的一元二次方程

代入数据可得，解得表面势：

$$\sqrt{\varphi_s} = 0.368\mathrm{V}^{1/2} \qquad \varphi_s = 0.14\mathrm{V}$$

第四章第二次作业

题1：有一块施主浓度N_d=10^{16}cm^{-3}的n型锗材料，在它的（111）面上与金属接触制成的肖特基势垒二极管。已知V_D=0.4V，求加上0.3V电压时的正向电流密度。（T=300K，热电子发射理论理想肖特基二极管，其R^*值参考PPT)

解：先求反向饱和电流密度：

$$J_{sT}=R^{*}T^2e^{-\phi_{ns}/V_T}$$

$$R^{*}=1.11\times 120=133.2\text{A/(cm}^2\cdot\text{K}^2)$$

$$q\phi_{ns}=qV_D+E_n=qV_D+kTln(\frac{N_c}{N_d})=0.4+0.0259ln(\frac{1.05\times 10^{19}}{10^{16}})=0.580\text{eV}$$

$$J_{sT}=133.2\times 300^2\times e^{-0.58/0.0259}=0.002255\text{A/cm}^2$$

正向电流密度

$$J=J_{sT}(e^{V/V_T}-1)=0.002255(e^{0.3/0.0259}-1)=241.92\text{A/cm}^2$$

题2：以钨-硅为例，势垒高度为$q\phi_{ns}$=0.67eV，有效理查德常数R^*=114 A/(cm^2 K^2)，T=300K。(热电子发射理论理想二极管)

（1）计算肖特基势垒二极管的反向饱和电流密度。

（2）已知一pn结二极管的反向饱和电流密度为3.6×10^{-11}A/cm^2，分别计算此肖特基势垒二极管和pn结二极管中产生一个大小为10A/cm^{2}的正偏电流密度需要加的正偏电压。

解：(1)反向饱和电流密度：

$$J_{sT}=R^*T^2e^{-\phi_{ns}/V_T}=114\times300^2\times e^{-0.67/0.0259}=5.977\times10^{-5}\text{A/cm}^2$$

(2)产生一定电流所需正偏压：

SBD：

$$J=J_{sT}(e^{V/V_T}-1)$$

$$V=V_T ln(\frac{J}{J_{sT}}+1)=0.0259ln(\frac{10}{5.977\times10^{-5}}+1)=0.312\text{V}$$

同 理

PN结：

$$J=J_s(e^{V/V_T}-1)$$

$$V=0.0259ln(\frac{10}{3.6\times10^{-11}}+1)=0.682\text{V}$$

题3：已知肖特基二极管参数：W_m=5eV， χ_s=4.05eV，$N_c=10^{19}\text{cm}^{-3}$，$N_d=10^{15}\text{cm}^{-3}$，$\varepsilon_r$=11.9。肖特基二极管是理想的，且采用热电子发射理论。效理查森常数$R^*=120\text{A}/(\text{cm}^2\cdot\text{K}^2)$，在300K下计算下列问题：

(1)零偏压是肖特基势垒高度、内建电势和耗尽层宽度。

(2)在0.3V的正偏压下的正向电流密度。

解：(1)势垒高度：

$$q\phi_{Bn}=W_m-\chi_s=5\text{eV}-4.05\text{eV}=0.95\text{eV}$$

由于：

$$\phi_n=\frac{kT}{q}ln(\frac{N_c}{N_d})=0.0259\ln(\frac{10^{19}}{10^{15}})=0.24\text{V}$$

内建电势：

$$V_{bi}=\phi_{Bn}-\phi_n=0.95-0.24=0.71\text{V}$$

题3：已知肖特基二极管参数：W_m=5eV， χ_s=4.05eV，N_c=10^{19}cm^{-3}，N_d=10^{15}cm^{-3}，ε_r=11.9。肖特基二极管是理想的，且采用热电子发射理论。效理查森常数R^*=120A/(cm^2 K^2)，在300K下计算下列问题：

(1)零偏压是肖特基势垒高度、内建电势和耗尽层宽度。

(2)在0.3V的正偏压下的正向电流密度。

解：耗尽层宽度：

$$x_n = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s V_{bi}}{qN_d}} = \sqrt{\frac{2(11.9)(8.85\times10^{-14})(0.71)}{(1.6\times10^{-19})(10^{15})}} = 9.67\times10^{-5}\text{cm}$$

(2)在0.3V的正偏压下的正向电流密度：

$$J = J_{sT}(e^{V/V_T}-1) = R^* T^2 e^{-\phi_{ns}/V_T}(e^{V/V_T}-1)$$

$$J = 120\times300^2\times e^{-0.95/0.0259}(e^{0.3/0.0259}-1)$$

$$J = 1.36\times10^{-4}\text{A/cm}^2$$

题4：室温300K下，某W-Si肖特基势垒二极管，si的本征载流子浓度取$1.5\times10^{10}cm^{-3}$，掺杂浓度$N_d=10^{16}cm^{-3}$，体电势V_n为0.17V，有效理查森常数$R^*=110A/(cm^2\cdot K^2)$，热电子发射的电流密度$J_{sT}=6.5\times10^{-5}A/cm^2$，假设空穴的寿命为$10^{-6}s$，空穴的扩散系数为$36cm^2/s$。(热电子发射理论，不考虑非理想效应)

(1)求肖特基势垒的大小

(2)求零偏时的耗尽层宽度

(3)比较多子电流是少子电流的多少倍?

解：(1)肖特基势垒：

$$J_{sT}=R^*T^2e^{-\phi_{ns}/V_T}$$

$$\phi_{ns}=V_T ln(\frac{R^*T^2}{J_{sT}})=0.0259ln(\frac{110\times300^2}{6.5\times10^{-5}})=0.67V$$

(2)零偏时的耗尽层宽度：

$$V_{bi}=\phi_{ns}-V_n=0.67-0.17=0.5V$$

$$x_n=\sqrt{\frac{2\varepsilon_s V_{bi}}{qN_d}}=\sqrt{\frac{2(11.9)(8.85\times10^{-14})(0.5)}{(1.6\times10^{-19})(10^{16})}}=2.566\times10^{-5}cm$$

(3)比较多子电流是少子电流的多少倍?

空穴扩散长度：

$$L_p=\sqrt{D_p\tau_p}=6\times10^{-3}cm$$

少子电流：

$$J_{p0}=\frac{qD_pn_i^2}{L_pN_d}=\frac{1.6\times10^{-19}\times36\times(1.5\times10^{10})^2}{6\times10^{-3}\times10^{16}}=2\times10^{-11}A/cm^2$$

多子电流与少子电流之比:

$$\frac{J_{sT}}{J_{P0}}=\frac{6.5\times10^{-5}}{2\times10^{-11}}=3.25\times10^{6}$$

题5：

(1)推导出在肖特基二极管中dV/dT作为电流密度函数的表达式，(即求出dV/dT的表达式)假设少数载流子电流可以忽略。(理想肖特基二极管，热电子发射理论)。提示：可做此近似

$$J = R^* T^2 e^{-\phi_b/V_T}\left(e^{V/V_T} - 1\right) \approx R^* T^2 e^{-\phi_b/V_T} e^{V/V_T}$$

(2)如果在300K时， V=0.25V， ϕ_b=0.7V，估计温度系数dV/dT 的值。

解：(1)

$$J = R^* T^2 \exp\left(\frac{-\phi_b}{V_T}\right)\left[\exp\left(\frac{V}{V_T}\right) - 1\right] \approx R^* T^2 \exp\left(\frac{-\phi_b}{V_T}\right)\exp\left(\frac{V}{V_T}\right)$$

$$\therefore V = V_T \ln\left[\frac{J}{R^* T^2}\exp\left(\frac{\phi_b}{V_T}\right)\right]$$

$$\therefore \frac{dV}{dT} = \boxed{\frac{dV_T}{dT}} \ln\left[\frac{J}{R^* T^2}\exp\left(\frac{\phi_b}{V_T}\right)\right] + V_T \boxed{\frac{1}{\frac{J}{R^* T^2}\exp\left(\frac{\phi_b}{V_T}\right)}\left[\boxed{-\frac{2J}{R^* T^3}}\exp\left(\frac{\phi_b}{V_T}\right) - \frac{J}{R^* T^2}\boxed{\exp\left(\frac{\phi_b}{V_T}\right)\frac{\phi_b}{V_T^2}\frac{V_T}{T}}\right]}$$

题5：(1)

$$\therefore \frac{dV}{dT}=\frac{dV_T}{dT}\ln\left[\frac{J}{R*T^2}\exp(\frac{\phi_b}{V_T})\right]+V_T\frac{1}{\frac{J}{R*T^2}\exp(\frac{\phi_b}{V_T})}\left[-\frac{2J}{R*T^3}\exp(\frac{\phi_b}{V_T})-\frac{J}{R*T^2}\exp(\frac{\phi_b}{V_T})\frac{\phi_b}{V_T^2}\frac{V_T}{T}\right]$$

将其代入上式

$$\frac{dV_T}{dT}=\frac{k}{q}=\frac{V_T}{T}$$

$$V=V_T\ln\left[\frac{J}{R*T^2}\exp(\frac{\phi_b}{V_T})\right]$$

化简后：

$$\therefore \frac{dV}{dT}=\frac{V}{T}+\frac{V_T}{T}(-2-\frac{\phi_b}{V_T})=\frac{V}{T}-\frac{V_T}{T}(2+\frac{\phi_b}{V_T})$$

(2)如果在300K时， V=0.25V， ϕ_b=0.7V，估计温度系数dV/dT 的值。

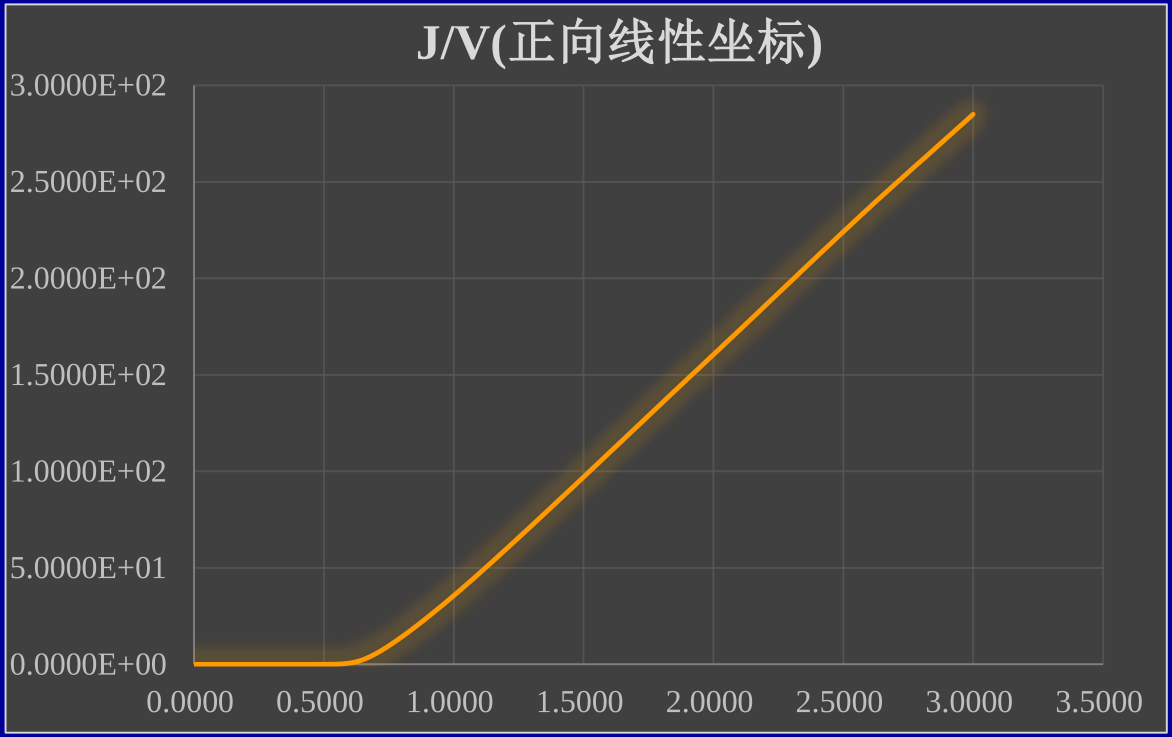
$$\frac{dV}{dT}=\frac{V}{T}-\frac{V_T}{T}(2+\frac{\phi_b}{V_T})$$
$$=\frac{0.25}{300}-\frac{0.026}{300}\times(2+\frac{0.7}{0.026})$$
$$=-1.67\times10^{-3}\ V/K$$

第四章第三次作业

题1：一．画图计算题：考虑在T=300K时,有一氧化镓肖特基二极管,其理查德森常数为R^*=36A/cm^{2}K^2。excel数据见附件

（1）根据提供的数据利用excel表格绘出此肖特基二极管正向电压(0-3V)下的线性坐标J-V曲线,并从中提取出：

①开启电压：图中电流开始出现增长的起点对应的电压即为开启电压V_{bi}。



解：(1)

①开启电压V_{bi} :0.58V

题1：一．（1）

②开态电阻：在图中找到正向电流-电压变化的线性区域，其斜率的倒数即为开态电阻R_{ON}。

③正向电流密度的提取（3V下）：在图中找到+3V电压对应的电流密度，即为3V下的正向电流密度$J_{@3V}$。

解：(1) ②开态电阻：

$$R_{ON} = \frac{3V-1.5V}{J_{@3V}-J_{@1.5V}} = \frac{3V-1.5V}{(284.932-97.0379)\ A/cm^2}$$

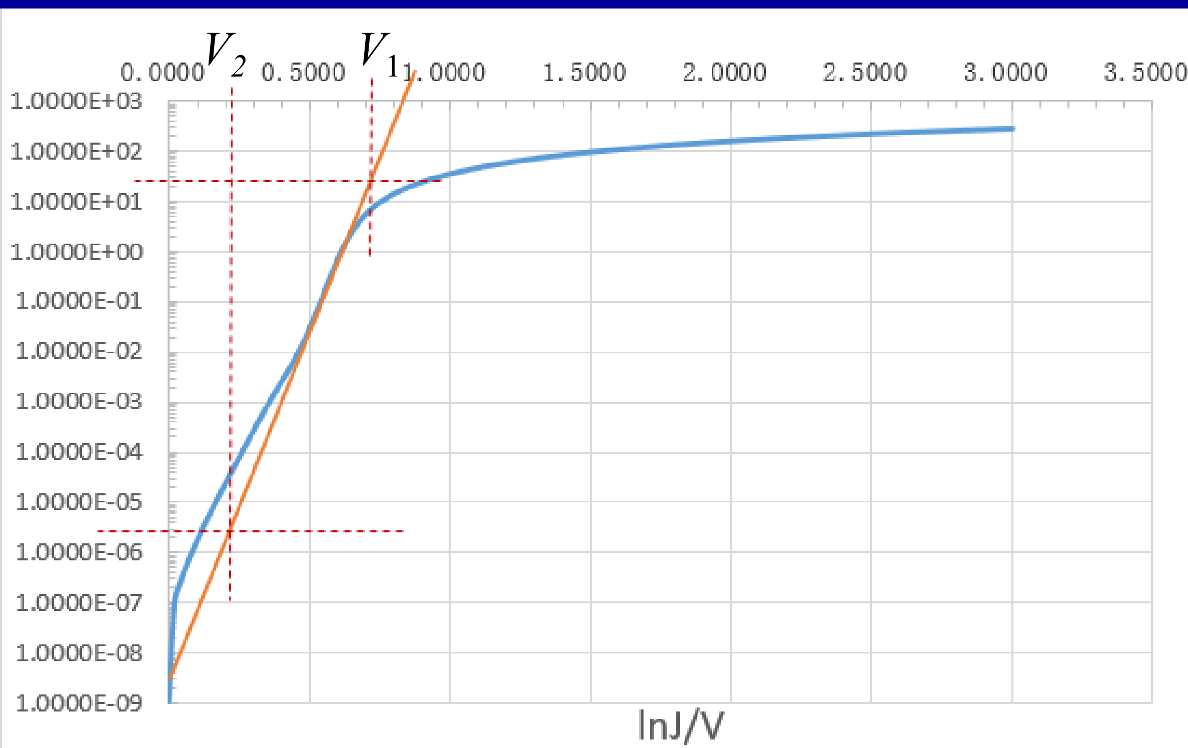
$$R_{ON} = 0.008\Omega \cdot cm^2$$

③正向电流密度的提取（3V下），通过图和表格数据提取皆可

$$J_{@3V} = 284.932A/cm^2$$

题1：（2）根据提供的数据利用excel表格绘出此肖特基二极管正向电压(0-3V)下的半对数坐标J-V曲线(纵坐标J为对数坐标，横坐标V为线性坐标),并根据热电子发射理论和理查德森方程从绘出的曲线中提取数据。处理方式参考第四章第五讲的文献介绍Pt/β-Ga_2O_3肖特基势垒二极管（一）P47。从中提取出：

①理想因子：在图中找到线性区域(约0.5V-0.6V区间的线性区域)，根据该段区域的斜率和可求出。 V_1、V_2取如图所示位置：



$$\ln J = \ln J_s + V/nV_T$$

$$斜率 = \frac{\ln(J_1) - \ln(J_2)}{V_1 - V_2}$$

$$斜率 = \frac{25 - 2.8\times10^{-6}}{0.7-0.2} = 25.0$$

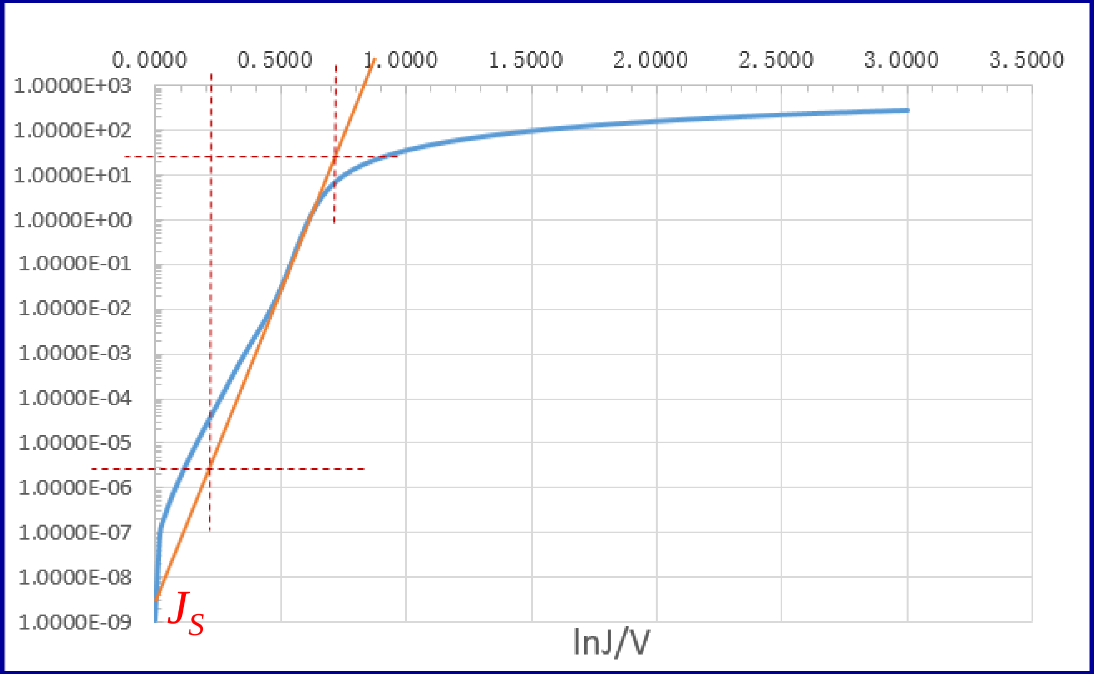
$$n = \frac{1}{斜率V_T} = \frac{1}{25.0\times0.0259}$$

$$n = 1.54$$

（2）②饱和电流密度：该线性区域直线的延长线和纵轴的交点即可得到饱和电流密度J_S。

（3）①提取整流比：整流比为$J_{@3V}/J_S$。

②势垒高度的提取：根据热电子发射理论反向饱和电流公式 $J_s = R^* T^2 e^{-\phi_{ns}/V_T}$，计算出势垒高度$\phi_{ns}$。



(2)②饱和电流密度J_S：

由于：$\ln J = lnJ_s + V/nV_T$

J_S : 2×10^{-9}A/cm^2

(3) ①整流比：

$$\frac{J_{@3V}}{J_S} = \frac{284.932}{2\times10^{-9}} = 1.42\times10^{11}$$

(3) ②势垒高度的提取：

$$\phi_{ns} = V_T ln(\frac{R^* T^2}{J_s}) = 0.0259 ln(\frac{36\times300^2}{2\times10^{-9}}) = 1.03\text{V}$$

题2：一个N沟道Si JFET，相关参数为：$N_d=10^{15}\text{cm}^{-3}$，$N_a=10^{18}\text{cm}^{-3}$，$a=2\mu\text{m}$，$L=20\mu\text{m}$，$Z=0.2\text{cm}$，$\mu_n=1350\text{cm}^2/\text{V·S}$。

求：(1) 求内建电势V_{bi}，内夹断电压V_{p0}和夹断电压V_p；(2) 求沟道电导G_0; (3)求在栅压和漏极为零偏压时的实际沟道电导。提示：此时a应变为(a-W),W为栅极下一个P^+N结的零偏耗尽层宽度。

解：(1)内建电势V_{bi}：

$$V_{bi}=V_T\ln\frac{N_aN_d}{n_i^2}=0.026\ln\frac{10^{18}\times10^{15}}{2.1025\times10^{20}}=0.76(\text{V})$$

内夹断电压V_{p0}：

$$V_{p0}=\frac{qN_da^2}{2\varepsilon}=\frac{1.6\times10^{-19}\times10^{15}\times(2\times10^{-4})^2}{2\times11.9\times8.854\times10^{-14}}=3.04(\text{V})$$

夹断电压V_p：

$$V_p=V_{p0}-V_{bi}=3.04-0.76=2.28(\text{V})$$

题2：一个N沟道Si JFET，相关参数为：$N_d=10^{15}\text{cm}^{-3}$，$N_a=10^{18}\text{cm}^{-3}$，$a=2\mu\text{m}$，$L=20\mu\text{m}$，$Z=0.2\text{cm}$，$\mu_n=1350\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{S}$。

求：(1) 求内建电势V_{bi}，内夹断电压V_{p0}和夹断电压V_p；(2) 求沟道电导G_0; (3)求在栅压和漏极为零偏压时的实际沟道电导。提示：此时a应变为(a-W),W为栅极下一个P^+N结的零偏耗尽层宽度。

解：(2)沟道电导G_0：

$$G_0=\frac{2qaZ\mu_n N_d}{L}=\frac{2\times 1.6\times 10^{-19}\times 2\times 10^{-4}\times 0.2\times 1350\times 10^{15}}{20\times 10^{-4}}=8.64\times 10^{-3}\ (\Omega^{-1})$$

(3)栅压和漏极为零偏压时的实际沟道电导：

$$G=\frac{2q(a-\boxed{W})Z\mu_n N_d}{L}$$

$$W=\left(\frac{2\varepsilon V_{bi}}{qN_d}\right)^{1/2}=\left(\frac{2\times 11.9\times 8.854\times 10^{-14}\times 0.76}{1.6\times 10^{-19}\times 10^{15}}\right)^{1/2}=1.0\times 10^{-4}(\text{cm})$$

$$G=4.32\times 10^{-3}(\Omega^{-1})$$

题3：如需制造具有如下夹断电压的器件，设计器件的沟道掺杂浓度和冶金沟道的厚度a。

(1)T=300K时，考虑一个p沟道的硅pn JFET。假定栅极掺杂浓度为$N_d=10^{18}cm^{-3}$的器件为例，若该沟道的掺杂浓度为$N_a=2\times10^{16}cm^{-3}$。确定冶金沟道的厚度a，以使$V_p$=2.25V。

(2)若沟道掺杂浓度增加为$N_a=8\times10^{17}cm^{-3}$，同样使$V_p$=2.25V，确定此时的冶金沟道的厚度。

解：(1)内建电势差：

$$V_{bi}=\frac{kT}{q}ln(\frac{N_aN_d}{n_i^2})=0.0259ln(\frac{2\times10^{16}\times10^{18}}{2.25\times10^{20}})=0.832V$$

内夹断电压V_{p0}：$V_{p0}=V_p+V_{bi}=0.832+2.25=3.08V$

$$V_{p0}=\frac{qa^2N_a}{2\varepsilon_s}$$

沟道的厚度a：

$$a=\sqrt{\frac{2\varepsilon_sV_{p0}}{qN_a}}=\sqrt{\frac{2\times11.7\times(8.85\times10^{-14})\times3.08}{(1.6\times10^{-19})(2\times10^{16})}}=0.446\mu m$$

题3：（2)若沟道掺杂浓度增加为$N_a=8\times10^{17}\text{cm}^{-3}$，同样使$V_p=2.25\text{V}$，确定此时的冶金沟道的厚度。

(2)内建电势差：

$$V_{bi}=\frac{kT}{q}ln\left(\frac{N_aN_d}{n_i^2}\right)=0.0259ln\left(\frac{8\times10^{17}\times10^{18}}{2.25\times10^{20}}\right)=0.927\text{V}$$

内夹断电压V_{p0}：

$$V_{p0}=V_p+V_{bi}=0.927+2.25=3.18\text{V}$$

$$V_{p0}=\frac{qa^2N_a}{2\varepsilon_s} \rightarrow$$

沟道的厚度a：

$$a=\sqrt{\frac{2\varepsilon_sV_{p0}}{qN_a}}=\sqrt{\frac{2\times11.7\times(8.85\times10^{-14})\times3.18}{(1.6\times10^{-19})(8\times10^{17})}}=0.072\mu\text{m}$$