**第十六周 作业**

1. InSb的电子有效质量 $m\_{e}=0.015m$，介电常数$ε=18$，晶格常数 $a=6.479Å$，试用类氢模型计算：
2. 施主的电离能
3. 基态轨道半径
4. 若施主均匀分布，相邻杂质原子的轨道之间发生交叠时，掺有的施主杂质浓度应该高于多少？

解：

1. 在类氢模型中，施主的电离能

$$E\_{i}^{D}=\frac{e^{4}m^{\*}}{2\left(4πε\_{0}εℏ\right)^{2}}=\frac{m^{\*}}{mε^{2}}E\_{H}=\frac{0.015×13.6eV}{18^{2}}=6.29×10^{-4}eV$$

1. 基态轨道半径为

$$a\_{0}=\frac{4πε\_{0}εℏ^{2}}{m^{\*}e^{2}}=\frac{εm}{m^{\*}}a\_{B}=\frac{18}{0.015}×0.53Å=636Å$$

1. 为使相邻掺杂原子的轨道之间发生明显的交叠效应，轨道半径$A\_{d}$应满足关系式：$n\_{d}V\_{0}\gg 1$，其中$n\_{d}$为掺杂原子的浓度（单位体积中的原子数），$V\_{0}$为单个杂质原子占据的体积。将杂质原子看成半径为$A\_{d}$的小球，当小球相切时轨道开始交叠，小球体积为$\frac{4}{3}πA\_{d}^{3}$，故有$n\_{d}\frac{4}{3}πA\_{d}^{3}\gg 1$，则$n\_{d}$的最小值为

$$n\_{min}=\left[\frac{4}{3}π×636^{3}\right]^{-1}≈10^{15}cm^{-3}$$

数量级正确即可。

1. 考虑一个理想的同质PN结：
2. 画出PN结接触后热平衡时的能带示意图。
3. 已知$T=300K$，硅的本征载流子浓度$n\_{i}=2×10^{10}cm^{-3}$，硅PN结N区掺杂为$N\_{D}=1.5×10^{16}cm^{-3}$，P区掺杂为$N\_{A}=1×10^{18}cm^{-3}$，求平衡时势垒高度$V\_{D}$。

（$k\_{B}=1.381×10^{-23}J/K$）

解：



1. 考虑理想的同质PN结，P区和N区接触后，热平衡且非简并情况下：

在N区，电子浓度为

 $n\_{n}^{0}=N\_{-}e^{-\frac{E\_{-}^{n}-μ}{k\_{B}T}}$ (1)

在P区，电子浓度为

 $n\_{p}^{0}=N\_{-}e^{-\frac{E\_{-}^{p}-μ}{k\_{B}T}}$ (2)

其中，$E\_{-}^{n}$和$E\_{+}^{p}$分别为N区导带底能量和P区价带顶能量，$N\_{-}$分别为导带底有效能态密度，$μ$为平衡后整个系统的化学势。

PN结势垒高度为

$$eV\_{D}=μ\_{n}-μ\_{p}=E\_{-}^{p}-E\_{-}^{n}$$

对于本征激发，满足

$$n∙p=n\_{i}^{2}$$

因此N区多子浓度$n\_{n}^{0}≈N\_{D}$，P区少子浓度$n\_{p}^{0}≈\frac{n\_{i}^{2}}{N\_{A}}$，则将上面（1）和（2）式相除并取对数，

$$ln\frac{n\_{n}^{0}}{n\_{p}^{0}}=\frac{E\_{-}^{p}-E\_{-}^{n}}{k\_{B}T}$$

$$V\_{D}=\frac{k\_{B}T}{e}∙ln\frac{N\_{D}N\_{A}}{n\_{i}^{2}}=\frac{1.381×10^{-23}×300}{1.602×10^{-19}}×ln\frac{1.5×10^{16}×1×10^{18}}{\left(2×10^{10}\right)^{2}}=0.808V$$

1. 某一N型半导体电子浓度为$1×10^{15}cm^{-3}$，电子迁移率为1000 $cm^{2}/(V∙s)$，求其电阻率。

解：

对于N型半导体，其电阻率与电子的数目和电子迁移率之间的关系式为：

$$ ρ=\frac{1}{σ}=\frac{1}{neμ\_{e}}=\frac{1}{1×10^{15}×10^{6}×1.602×10^{-19}×1000×10^{-4}}Ω∙m=6.242×Ω∙m$$