第九课：费米分布函数

Wednesday, September 25, 2019 5:33 AM

1. 导出费米分布函数的条件(适用性)：
   a. 把半导体中的电子看作是近独立体系，即认为电子之间的相互作用很微弱；
   b. 电子的运动是服从量子力学规律的，用量子态描述它们的运动状态，电子的能量是量子化的，即其中一个量子态被电子占据，不影响其他的量子态被电子占据，并且每一能级可以认为是双重简并的，这对应于自旋的两个容许值；
   c. 在量子力学中，认为同一体系中的电子是全同的，不可分辨的。任意两个电子的交换，不引起新的微观状态；
   d. 电子在状态中的分布，要受到泡利不相容原理的限制；
2. 费米-狄拉克统计规律：$f(E)=\frac{1}{e^{\frac{E-E_F}{kT}}+1}$；
   a. E:电子能量；
   b. E_F:费米能级，专门描述电子系统在半导体中的填充水平；
3. 费米能级：$E_F=\mu=\left(\frac{\partial F}{\partial N}\right)_T$；
   a. μ代表系统的化学势，F是系统的自由能;
   b. 意义：热平衡时，系统每增加一个电子，引起的系统自由能的变换等于系统的化学势，即系统的费米能级；
4. 费米分布函数的性质：
   a. 量子态：空着的，或被电子占据的；
      i. 能量为E的量子态未被电子占据的几率是：$1-f(E)=\frac{1}{e^{\frac{E_F-E}{kT}}+1}$；
   b. 费米分布函数的性质：
      i. 随着能量E的增加，每个量子态被电子占据的几率f(E)逐渐减小，而空着的几率(1-f(E))则逐渐增大，即电子优先占据能量较低的能级；当E=E_F时，有$f(E_F)=1-f(E_F)=\frac{1}{2}$；
      ii. 当$E-E_F\gg kT$时：$f(E)\approx e^{-\frac{E-E_F}{kT}}=e^{\frac{E_F}{kT}}e^{-\frac{E}{kT}}$。此时，分布函数的形式同经典的玻尔兹曼分布是一致的。对于能级比E_F高很多的量子态，被电子占据的几率非常小，因此泡利不相容原理的限制就显得不重要了；
      iii. 当$E_F-E\gg kT$时：$1-f(E)\approx e^{-\frac{E_F-E}{kT}}=e^{-\frac{E_F}{kT}}e^{\frac{E}{kT}}$。此式给出的是能级比$E_F$低很多的量子态，被空穴占据的几率。因子$e^{\frac{E}{kT}}$中无负号是因为式子中的E表示电子的能级;
5. 能带的电子和空穴浓度：
   a. 非简并半导体：N/P浓度适中(不高)；
   b. 导带电子浓度：
      i. $n=\int_{E_c}^{\infty}f(E)N_c(E)\cdot dE=\int_{E_c}^{\infty}\left[\frac{4\pi(2m_{dn})^{\frac{3}{2}}}{h^3}\right]\cdot[E-E_c]^{\frac{1}{2}}\cdot\frac{1}{e^{\frac{E-E_F}{kT}}}\cdot dE$；
      ii. 设$\frac{E-E_c}{kT}=\xi\Rightarrow n=\frac{4\pi(2m_{dn}\cdot kT)^{\frac{3}{2}}}{h^3}\cdot\frac{1}{e^{\frac{E_c-E_F}{kT}}}\cdot\int_0^{\infty}\xi^{\frac{1}{2}}\cdot e^{-\xi}\cdot d\xi=\frac{2(2\pi m_{dn}kT)^{\frac{3}{2}}}{h^3}\cdot e^{-\frac{E_c-E_F}{kT}}$；
      iii. $\Rightarrow n=N_c\cdot e^{-\frac{E_c-E_F}{kT}}$；
      iv. N_c：导带有效状态密度；

iv. N_c：导带有效状态密度；

c. 价带空穴浓度：

i. $p = \int_{-\infty}^{E_V}[1 - f(E)] \cdot N_V(E) \cdot dE = N_V \cdot e^{-\frac{(E_F - E_V)}{kT}}$；

ii. N_V：价带有效状态密度；

6. 本征半导体：

a. 电中性条件：所谓的本征半导体，就是完全没有杂质和缺陷的半导体。导带中的电子都是由价带激发得到的，(只有导带和价带，禁带中没有杂质能级)，即半导体中共价键是饱和的、完整的。T>0K时，电子从价带激发到导带，称为本征激发。若要求电子总数不变，必须导带中的电子浓度等于价带中的空穴浓度，即n=p。当上式满足时，导带电子的电荷密度(-e)n同价带空穴的电荷密度(+e)p大小相等，符号相反，半导体处于电中性状态，(-e)n+(+e)p = 0.
通常称这种关系为电中性条件或电中性方程；

i. 在任何温度下，要求半导体保持电中性条件，同保持电子总数不变的条件是一致的；

ii. $n_i = n_p = (N_c \cdot N_v)^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-\frac{E_g}{2kT}}$；