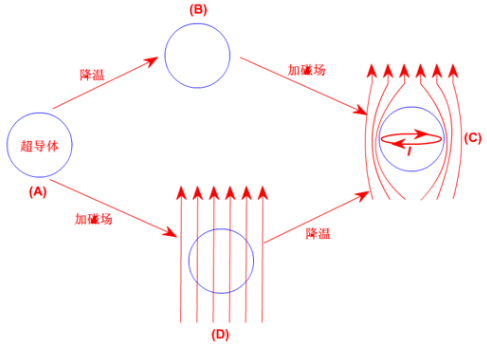
三：超导材料

Tuesday, March 3, 2020　　00:02

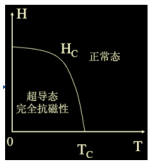
1. 超导材料的特性：
   a. 完全导电性(零电阻效应)；
   b. 迈纳斯效应(零磁场效应)；
   c. 临界磁场效应；
   d. 临界电流效应；
2. 完全导电性(零电阻效应)：
   a. 某些物质在一定值的温度下，电阻突然变到零，或者说电阻完全消失，这种状态称为超导态，而具有这种特性的物质就称为超导体；
   b. 超导体在刚刚进入超导态的温度叫做超导临界温度，用T_c表示。即当$T < T_c$时，电阻为零；当$T > T_c$时，超导体处于正常状态；
3. 如何理解“零电阻”：
   a. 常导体的“零”电阻比超导体的“零”电阻的值要大很多(纯铜约$10^{-9}\Omega \cdot cm$数量级，水银超导体$10^{-24}\Omega \cdot cm$数量级)；
   b. 常导体的电阻随温度渐变直“零”，而超导体的电阻随温度下降几乎是越变至“零”的；
   c. 超导体的“零”电阻指的是直流电阻；
4. 迈纳斯效应：处于超导状态时，超导体内部磁感强度为零；



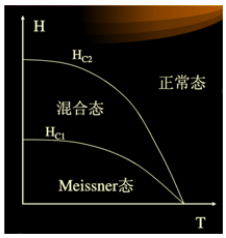
   a. 不论在进入超导态之前金属体内有没有磁感应线，当它进入超导态后，只要外磁场$B_O < B_c$，超导体内B总是等于零，即$B = 0$；
   b. 金属在超导态的相对磁导率为$\mu_r = -1(\mu_r < 0$，抗磁质，物质具有抗磁性)，超导体具有完全抗磁性；
5. 衡量超导性的必要条件：
$$\begin{cases} E = 0 \\ B = 0 \end{cases}$$
6. 临界磁场效应：
   当超导体处于超导态时，当外磁场强度超过某一数值时，超导电性被破坏，超导体会突然就变成正常导体，出现了电阻。被称为临界磁场强度；
   a. 实验表明对于一定的超导体，临界磁场时温度的函数：
$$H_c(T) = H_c(0)\left[1 - \left(\frac{T}{T_c}\right)^2\right], H_c(0)\text{为临界磁场}$$
7. 临界电流效应：
   当通过超导体的电流超过一定的数值I_c后，超导电性也可被破坏，称I_c为临界

电流；

8. 超导体的分类：
   a. 第一类超导体：只有一个临界磁场H_c和正常态、超导态两种状态的超导体；



   b. 第二类超导体：具有两个临界磁场H_{c1}, H_{c2}，并且可以经历超导态、混合态和常态这三种状态的超导体；



9. 电阻：

   在常导体中，传导电流的是电子，在外力作用下，电子在做定向运动的过程中遇到晶格原子或杂质和缺陷的碰撞，以至阻碍了电子的定向运动；
   i. 高温：晶格热震动散射；
   ii. 低温：杂质和缺陷散射；

10. 同位素效应：$T_c \propto M^{-\frac{1}{2}}$；

    同位素质量越大，转变温度越低；
    a. 说明：电子和点阵的相互作用一定是产生超导的原因所在；

11. 格波：

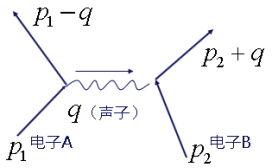
    电子在离子晶格间运动时，电子密度有起伏，当电子在某处集中时，会对附近的离子晶格产生吸引，从而使离子产生振动，并以波的形式在点阵中传播，这种波称为格波；

12. 声子：

    格波使量子化的，其量子称为声子。形成格波的过程相当于电子发射出一个声子；

13. 库伯对：电子-点阵-电子

    传播着的正电荷区又可以吸引另一个运动着的电子，相当于声子吸引了电子，两个电子通过交换声子产生了间接的吸引作用。对于某些材料，在一定的低温条件下，交换声子的两个电子可以束缚在一起形成一个电子对，称为库伯对；



    i. 配对的电子，其自旋方向相反，动量的大小相等而相反；
    ii. 库伯对作为整体与晶格作用，因此一个电子若从晶体得到动量，则另一个电子必失去动量。作为整体，不与晶格交换动量，也不交换能量，能自由地通过晶格，因此没有电子；
    iii. 利用库伯对解释临界温度和临界磁场强度：
        1) 当温度大于临界温度时，热运动使库伯对分散为正常电子，超导态转为正常态；

2) 当磁场强度达到临界强度时，磁能密度等于库伯对的结合能密度，所有库伯对都获得能量而被撤散，超导态转为正常态；

14. BCS理论：
    a. 运动速度相同、方向相反的电子课形成电子对——库伯对；
    b. 电子形成费米球分布，球内是常导电子，球面是超导电子(库伯对凝聚于相同的量子态)，可无阻的运动形成超导态；
    c. 常导电子与超导电子依温度相互转化。在$T > T_c$全部为常导电子；在$T < T_c$时开始结对，随着温度下降，结对电子增多，到达0K时全部为超导电子；
    d. 补充：
        i. 电子的有序态：$\eta = \frac{n_s}{n}, n = n_s + n_n$；
        ii. 超导体中含有常导电子，浓度随温度变化；
        iii. 超导态时晶格结构没有变化；
        iv. 超导电流对常导电流有短路作用；
        v. 形成电子对需要晶格作为媒介；
15. 能隙：

    在超导体的电子能谱中，有一小块空白区域不允许电子具有该区域的能量。这个区域的能量间隔就叫超导能隙；

    a. 超导能隙的测量：

        在以超导体为一个电极的隧道结中，当结电压足够高$V \geq \frac{\Delta}{e}$时，大量的电子对被拆散，形成单电子参与隧道过程，使隧道电流在$V = \frac{\Delta}{e}$处突然上升。若隧道结的两个电极都是超导体，能隙为Δ_1, Δ_2，则隧道电流在$V = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{e}$处突然上升；

16. 隧道效应：

    一个能量不高的电子可以通过开凿一条看不见的隧道而越过能量很高的势能；

17. 约瑟夫逊效应：
    a. 直流约瑟夫逊效应：

        不仅常导单电子具有隧道效应，电子对也能够以隧道效应穿过绝缘层，甚至在势垒两端电压为零的情况下，也能产生直流超导电流；

    b. 交流约瑟夫逊效应：

        在超导结的两端加上一个直流电压V(这时的电流大于临界电流)，在结区就出现高频的超导正弦波电流，其频率与所加的直流电压成正比；

        $$\begin{cases} \frac{h\omega}{2\pi} = \frac{2e}{V} \\ \nu = \frac{2e}{h}V \end{cases}, \quad \frac{2e}{h} = 483.6\times10^6 Hz/\mu V$$

18. 完。