**大学物理实验报告**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 实验名称：  变温霍尔效应 | | | |
| 学院：理学院 | 专业：应用物理学 | | 班级：应物1601班 |
| 学号：20161413 | 姓名：谢尘竹 | | 电话：18640451671 |
| 实验日期： 2019 年 11 月 24 日  第 十二 周 星期  日 第 二 节 | | | |
| 实验室房间号：123 | | 实验组号：4 | |
| 成绩 | 指导教师 | | 批阅日期  年 月 日 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1. 实验目的：  1、掌握范德堡测试方法测定变温下样品霍尔系数的变化规律的原理和方法；  2、估算出电子迁移率与空穴迁移率的比值；  3、对变温霍尔测量中出现的负效应EN+ERL的影响进行分析。 | | | |
| 2. 实验器材： | | | |
| 名称 | 编号 | 型号 | 精度 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| 3. 实验原理（请用自己的语音简明扼要地叙述，注意画出原理图）  **（一）半导体的能带结构和载流子**  **1.能带结构：**没有人工掺杂的半导体称为本征半导体，本征半导体中的原子按照晶格有规则的排列，产生周期性势场。在这一周期势场的作用下，电子的能级展宽成准连续的能带。束缚在原子周围化学键上的电子能量较低，它们所形成的能级构成价带；脱离原子束缚后在晶体中自由运动的电子能量较高，构成导带，导带和价带之间存在的能带隙称为禁带。  **2.半导体内的载流子：**半导体内载流子的产生有两种不同的机制：本征激发和杂质电离。  **（1）本征激发：**当绝对温度为0K时，电子全被束缚在原子上，导带能级上没有电子，而价带中的能级全被电子填满；随着温度升高，部分电子由于热运动脱离原子束缚，成为具有导带能量的电子，它在半导体中可以自由运动，产生导电性能，这就是电子导电；而电子脱离原子束缚后，在原来所在的原子上留下一个带正电荷的电子的缺位，通常称为空穴，它所占据的能级就是原来电子在价带中所占据的能级。因为邻近原子上的电子随时可以来填补这个缺位，使这个缺位转移到相邻原子上去，形成空穴的自由运动，产生空穴导电。半导体的导电性质就是由导带中带负电荷的电子和价带中带正电荷的空穴的运动所形成的。这两种粒子统称载流子。  本征半导体中的载流子称为本征载流子，它主要是由于从外界吸收热量后，将电子从价带激发到导带，其结果是导带中增加了一个电子而在价带出现了一个空穴，这一过程成为本征激发。在这一过程中，电子和空穴浓度保持相等，即本征载流子浓度只是由材料本身的本征性质决定的，不受外来掺杂的影响。由经典的玻尔兹曼统计可得：………………………………………………………...……………（1）式中K'为常数，T为绝对温度，为禁带宽度，为玻尔兹曼常数。作曲线，并用最小二乘法可求出禁带宽度。即…………………………………….…（2）  **（2）杂质电离**：为了改变半导体的性质，常常进行人工掺杂。不同的掺杂将会改变半导体的导电性能。若所掺杂质的价态大于基质的价态，在和基质原子键合时就会多余出电子，这种电子很容易在外界能量（热、电、光能等）的作用下脱离原子的束缚成为自由运动的电子（导带电子），所以它的能级处在禁带中靠近导带底的位置（施主能级），这种杂质称为施主杂质。施主杂质中的电子进入导带的过程称为电离过程，离化后的施主杂质形成正电中心，它所放出的电子进入导带，使导带中的电子浓度远大于价带中空穴的浓度，因此，掺施主杂质的半导体呈现电子导电的性质，称为n 型半导体。施主电离过程是施主能级上的电子跃迁到导带并在导带中形成电子的过程，跃迁所需的能量就是施主电离能；反之，若所掺杂质的价态小于基质的价态，这种杂质是受主杂质，它的能级处在禁带中靠近价带顶的位置（受主能级），受主杂质很容易被离化，离化时从价带中吸引电子，变为负电中心，使价带中出现空穴，呈空穴导电性质，这样的半导体为p 型半导体。  **3.载流子的电导率：**在一般电场情况下，半导体导电服从欧姆定律，电流密度与电场成正比，即，由于半导体可同时有电子和空穴，且它们的浓度随样品不同和温度的变化会有很大变化，所以电导率σ与导电类型和载流子浓度有关，当混合导电时，有：  …………………………………………………………………..………（3）  霍尔4霍尔效应其中、分别为电子和空穴的浓度，为电子电荷，分别为电子和空穴的迁移率。即电导率由载流子浓度和迁移率决定。  **（二） 霍尔效应**  **1.霍尔效应：**  图1霍尔效应  霍尔效应是一种电流磁效应，如右图1所示，当样品通以电流时，并加一磁场B垂直于电流，则在样品的两侧产生一个霍尔电位差为  ………………………………………………………………………………..…（4）  可见与样品的厚度*d*成反比，与磁感应强度B和电流**I**成正比，比例系数称为霍尔系数。  当电流通过样品（假设为P型）时，空穴有一定得漂移速度v，垂直磁场对运动电荷产生一个洛伦兹力。洛伦兹力使电荷产生横向偏转，由于样品有边界，所以有些偏转的载流子停在边界积累起来，产生一个横向电场E，直到电场对载流子的作用力与磁场作用的洛伦兹力相抵消为止，即……………………………………………（5）  这时电荷在样品中流动时将不再偏转，霍尔电位场就是由这个电场建立起来的。  **2.一种载流子导电的霍尔系数：**设P型样品的p>>n，宽度为w，通过样品的电流I=pqvwd，空穴速度，代入公式（5）得：E=|v×B|=IB/(pqwd)….……………………….（6）  公式（6）两边同乘w，则有 ………………………………...…..….（7）将公式（4）、（7）进行对比，可得可得P型样品的霍尔系数为 ………….....….…（8）对于N型样品，其霍尔系数为…………………………………………………....…（9）结合公式（7），即有…………………………...……………………（10）式中的为霍尔电压（单位V）I、B、d的单位分别为A、T、cm。  **3.两种载流子导电的霍尔系数**  若在半导体中同时存在数量级相同的两种载流子，则在计算霍尔效应时必须同时考虑两种载流子在磁场中的偏转效果。在磁场中，电子和空穴本来都朝同一边积累，霍尔电场的作用是它们中一个加强，另一个减弱，这样，使横向的电子流和空穴的电流大小相等，由于它们的电荷相反，所以横向的总电流为零。假设载流子服从经典的统计规律，在球形的等势面上，只考虑晶格散射及弱磁场（，B的单位为T）的条件下，对于电子和空穴混合导电的半导体，可以证明（其中）：  ………………………………………………………………………（11）  **4.P型半导体的变温霍尔系数：**在一般半导体内载流子既可来自于杂质电离，又可来自本征激发，但要看哪一种占优势而起主导作用。由于两者需要的激发能不同，并取决于所处  的温度，因此霍尔系数将随温度的变化而变化。下面以P型半导体为例，分四个温度范围讨论之间的关系，曲线如图2所示，根据曲线斜率可求  霍尔5pn半导体的电阻温度曲线  出禁带宽度，该曲线包括以下四个部分：  （1）杂质电离饱和区，所有的杂质都已经电离，载流子浓度  保持不变。P型半导体中p>>n，在这个区域内， ；  （2）温度逐渐升高时，价带上的电子开始激发到导带，由于  图2 P型、N型半导体的曲线  ，b>1，当温度升高到时。若取对数，  则出现图2中标有b的一段；  （3）当温度再升高时，更多的电子从价带激发到导带，而使，随后将会达到一个极值。此时价带的空穴数（表示受主杂质提供的空穴数），所以  ………………………………………………………...（12）  式中为达到极值，为杂质电离饱和区的霍尔系数，由此可估算出b的值。  （4）当温度继续升高，达到本征激发范围内，载流子浓度远远超过受主的浓度，霍尔系数与导带中电子浓度成反比。因此，随温度的上升，曲线基本上按指数下降。由于此时载流子浓度几乎与受主浓度无关，所以代表杂质含量不同的各种样品的曲线都聚合在一起。  **5.实验中消除负效应的方法**  本实验用范德堡法测量样品的霍耳系数，其作用是尽可能地消除各种副效应。考虑各种副效应，每一次测量的电压是霍耳电压与各种副效应附加电压的叠加，并分别改变电流和磁场方向，有：； ；………………（13）  其中为实际霍尔电压，分别为爱廷豪森效应、能斯特效应、和里纪－勒杜克效应产生的附加电位差，为四个电极偏离正交对称分布产生的附加电位差。则由公式（13）可得：=……………………………………（14）  =……………………………………..（15）  因此范德堡法测量霍耳系数不能消除爱廷豪森效应，即所测得到的所谓的“霍耳电压”实际上包括了真实的霍耳电压和爱廷豪森效应的附加电压。 | |
| 4. 实验内容与步骤  **（一）实验装置：**本实验的实验装置如下图3所示。    CVM-200 霍尔效应测试系统  可换向永磁铁  TC-202 控温仪  图3 变温霍尔效应实验装置图  变温恒温器  **（二）实验过程及方法**  **1.抽真空：**用机械泵对变温恒温器进行抽真空，同时用复合真空计对所抽真空进行测量。  **2. 室温下的霍尔测量：**开机预热，调整电流到10mA，选择样品，按下开关，选择合适量程测霍尔电压，电流换向测；转动永磁铁180º后，测，电流换向，测。  **3.变温霍尔测量**  （1）首先在控温仪上设定温度80K，取出中心杆注满液氮，待容器冷透后再将液氮补满；（2）插入已预冷的中心杆，控温时顺时针转动中心杆至最低位置，再回旋约120°至720°即可通过变温恒温器里的液氮冷却和加热器的加热，来实现温度的动态平衡，从而获得80~300K之间的各种温度；（3）待温度控制稳定之后，测得此温度点的4组霍尔电压。 | |
| 5. 实验记录（注意：单位、有效数字、列表）  D:\Users\ZML\Desktop\QQ图片20191201173041.jpgD:\Users\ZML\Desktop\QQ图片20191201173027.jpg  D:\Users\ZML\Desktop\QQ图片20191201194832.jpg  D:\Users\ZML\Desktop\IMG_20191124_171256.jpg | |
| 6. 数据处理及误差分析  **（一）室温下的霍尔测量**  **1.**实验中所用到的参数如表1所示。  表1 实验参数   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 样品名称 | 样品厚度d(mm) | 恒流源电流(mA) | 永磁铁磁场强度B(T) | | 单晶硅片 | 0.5 | 0.2 | 0.7210 |   **2.**在T=375.15K下改变电流方向和磁场方向分别测量四次霍尔电压、、、，并由公式（14）可消除负效应，算出霍尔电压，再根据已知参数，由公式（10）计算出霍尔系数，其结果如下表2所示。  表2 375.15K下的霍尔测量   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | （mV） | （mV） | （mV） | （mV） | （mV） |  | | -0.2983 | +0.2951 | -3.067 | -0.2694 | -0.84775 |  | | +0.2865 | +0.4658 | -0.2693 | -0.2522 | -0.0491 |  |   **设第一次测的是**：  **电流换向：**  **转动永磁铁180°**：  **转动永磁铁180°+ 电流换向：**  ≈          **3.**对单一载流子情况，载流子的浓度可由公式（8）算出，即375.15K时载流子的浓度为：  。  室温下Si的（本征）载流子浓度的公认值为，根据，可得，此即375K时的理论值为。  这组数据误差有点大，换用另一组数据：  即、、、。  得到≈， ，偏大，就更不靠谱了，偏离就更远了。  但是，机器算出来的102℃的霍尔电压为，与第一组数据的霍尔电压在数量级上一样，说明其所算出来的在数量级上约为，也是有问题的，比大了两个数量级。  **（二）变温霍尔测量**  **1.**变温下测量数据及处理详见附表1，其中霍尔电压霍尔电压可由公式（14）算出，负效应由公式（15）算出，再代入公式（10）即算出相应霍尔系数。由此可画出曲线如图4~6所示。  **2.**曲线分析：  对比霍尔5pn半导体的电阻温度曲线，可见待测材料是个p型半导体，b点横坐标=0.0051。 |
| 7. 思考题及实验小结 |