

超导临界温度

姓名：杨博涵 学号：PB20000328 实验日期：2023 年 5 月 6 日

一、实验目的

低温下固体的导电性和其导热性一样是一种能量的输运现象，这导致各种材料的电阻随温度的变化各不相同，它反映了物质的内在属性，是研究材料性质最常见的基本方法之一。测量电阻的方法很多，最常见的也是最简单的方法就是用万用表测量，但是它的测量精度较低，对于精密的小电阻测量（如超导样品在正常态下一般都是 $\text{m}\Omega$ 量级，而在超导态下则为 0 电阻）用二用线法就无法测量，因为样品的引线电阻就大大超过了超导样品的电阻。为了能精确的测量出超导样品的实际电阻，试验中我们采用四引线法，这样不但可以消除引线电阻，而且还可以消除在测量过程中其他乱真电动势对样品测量的影响。同时本试验为了提高测量的速度和测量的精度，我们采用计算机自动测量超导样品的电阻。

二、实验原理

超导材料是在一定温度下没有电阻的导体。在物理学和材料科学的发展进程中，无数顶尖科学家倾力于超导材料研究，超导材料临界温度的不断提高凝聚了无数科学家的心血，高温超导材料研究仍是科学家一直关注的前沿领域。

超导电性是昂尼斯 (Onnes) 早期研究水银 (Hg) 的电阻与温度的关系是发现的。因为水银可以得到很高的纯度，所以在液氦温度下的水银的电阻值很小。当温度大约为 4.4K 时，电阻突然下降至一个小的不能测量的数值，这种电阻突然消失的现象称为超导电性。出现这种特性时的温度称为转变温度或称为临界温度。一般用符号 T_c 表示。昂尼斯和其他许多科学家后来又发现了 28 种超导元素和 8000 多种超导化合物。但出现超导现象时的温度大都接近绝对零度 (-273°C)。这些超导材料没有太大的实用可能性和经济价值。然而，从那时起，科学家一直不断尝试提高超导材料的临界温度。直到 1973 年，英美科学家发现了超导合金——铌锆合金，其临界超导温度为 23.2K ，才使超导材料研究走上了快速路，这个纪录保持了 13 年。

几十年来，已发现许多纯金属，合金和化合物均能在某一温度下出现这种超导现象，最近几十年来全世界科学工作者都在探讨高 T_c 材料，因为高 T_c 值的超导材料是判断该超导材料应用价值的重要依据。 T_c 是超导体的基本参数之一，它的转变宽度和超导材料的物理，化学状态有关。自 1986 年 4 月 Bednorz 和 Muller 开创了超导新纪元，他们发现了 La-Ba-Cu 氧化物超导体，其中 T_c 超过 30K ，后来世界各国科学工作者都积极参与与高温超导材料的研究工作，研制出 T 高于 90K 的 Y-B-C 氧化物超导体，使超导体在 LN_2 温区的应用成为可能。

超导是物理世界中最奇妙的现象之一。正常情况下，电子在金属中运动时，会因为金属晶格的不完整性(如缺陷或杂质等)而发生弹跳损耗能量，即有电阻。而超导状态下，电子能毫无羁绊地前行。这是因为当低于某个特定温度时，电子即成对，这时金属要想阻碍电子运动，就需要先拆散电子对，而低于某个温度时，能量就会不足以拆散电子对，因此电子对就能流畅运动。通常的低温超导材料中，电子是通过晶格各节点上的正离子振动而结合在一起的。但大多数的物理学家都认为，这一电子对结合机制并不能解释临界温度最高可达 138 开尔文(零下 135.15 摄氏度)的铜基材料超导现象。每一种铜基超导材料都是由层状的“铜—氧”面组成，其中的电子是如何成对的，仍是未解难题。

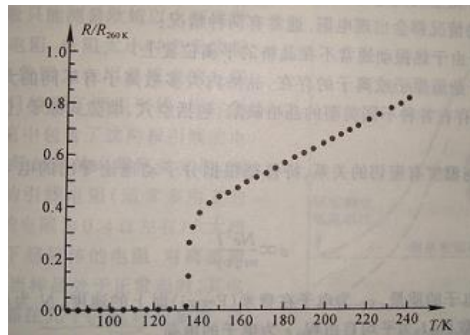


图 1. (Hg-Pb)-1223 相样品电阻-温度转变曲线 (零电阻转变温度 $T_{c0}=135\text{K}$)

目前氧化物高温超导材料类型比较多，最常见的是 Y 系，Bi 系，Hg 系和 La 系等系列。当然其超导临界温度 T_c 也不同，Y 系超导材料的超导临界温度 T_c 一般在 90K 附近，Bi 系最高可达 110K 以上，La 系一般 T_c 较低，约 40K 附近，而 Hg 最高，约为 140K 附近。超导材料在温度达到或低于其临界温度时，由于其存在的超导态到正常态的相

变过程，在这个相变过程中许多物理量都会出现一个比较大的改变，如电阻磁化率，热电势，比热，热导等等，所以测量其临界温度的方法也比较多，但最常用也最简单的方法时测量其电阻，也就是在超导转变的过程中电阻有一个很大的变化，即电阻有一个从无到有的变化。皮克特没有被这种障碍所吓倒。他在研究了二硼化镁在温度为 40K 时候没有任何电阻后，设计了一类材料，这些材料有望在大大高于室温的条件下也具有超导性。这意味着，未来的高温超导材料有望不需要借助于液氮的冷却，在常温甚至在炎热的夏季温度下就可以有效地工作。虽然还没人弄清楚氧化物具有超导性的原因，但物理学家科学地解释了“常规”低温超导材料的工作原理。其奥秘就在于在接近绝对零度的低温条件下，超导材料内部电子的活动情况。当电子处于自由空间时它们之间相互排斥，而在超导材料内部的电子则成对地束缚在一起。这些电子对的活动具有趋于一致性的特点，它们在超导材料内部集体游动时 (swim collectively) 没有遇到障碍。因此，它们不会损失任何能量，即意味着这种材料的电阻为零。JunAkimitsu 研究小组选用了一种由钛、镁和硼组成的混合物作为研究材料。他们惊奇地发现，这种材料在 40K 时具有超导性。与其他高温超导材料相比，这种临界温度本身并不令人吃惊。但对常规超导材料来说，该材料的临界温度之高令人难以想象，可以说开辟了寻找高温超导材料的新途径。进一步的深入研究表明，混合材料中的氧化镁发挥了关键作用。在上述研究成果发表的两个月之内，很多科学家都利用氧化镁进行超导研究，相继发表了 50 篇研究论文。

本试验是利用侧量超导电阻的方法来确定超导材料 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 的临界温度。

三、实验内容

本次实验采用以下仪器

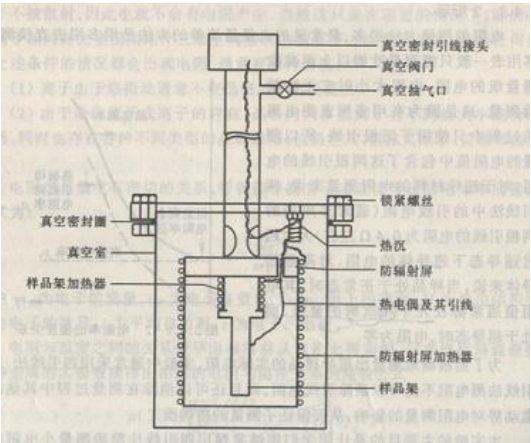


图 2. 测量装置的内部结构图

本实验时是用升温法测量的，所以整个装置需要浸泡在 LN_2 (液氮) 中，这样整个装置需要做到绝热，装置采用了真空、热导较差的材料、防辐射屏来减少气体漏热，固体漏热和辐射漏热。为了提高测量精度，我们采用铜—康铜热电偶温度计来测量温度。同时我们采用镀膜 (银膜) 办法来安装样品。镀膜之前必需将样品在细沙纸上磨平，然后用镀膜机将样品镀上银膜作为电极，然后在焊接，这样保证了样品与电极良好的电接触。

实验原理中提到过，二引线法测量样品时，测量结果中包含了引线电阻，而且引线电阻远远超过样品的实际电阻。本实验中不能使用二引线法测量，因为我们要测量的超导样品的电阻值很小，一般在 $\text{m}\Omega$ 量级。所以本实验采用四引线法测量方法。

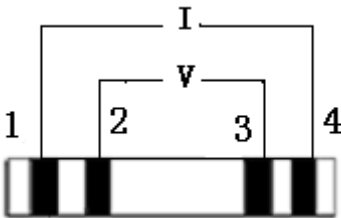


图 3. 超导样品的电极和接线图

四引线法测量电阻的接线如图所示：在测量时，先在 1—4 端通以恒定的电流 I_1 ，测量 2—3 之间的电压 V_1 ，然后在 1—4 通以反向恒定电流 I_2 ，测量 2—3 之间的电压 V_2 ，由于测量电压的引线没有电流通过，故没有电压产生。所以这样就可以消除引线电阻的影响，通过改变电流方向，(前后两次使用的电流大小相等,方向相反)我们可以用公式

$$R = \frac{V_1 - V_2}{2I}$$

就可以消除整个回路中乱真电动势给测量电阻带来的影响，因为式中 V_2 和 V_1 都包含有乱真电动势，且乱真电动势并不随改变电流方向而改变。故两者相减以后就消除回路中的乱真电动势。