

低场振动样品磁强计研制

杨光¹⁾ 陈赓华

(中国科学院物理研究所)

我们研制的低场振动样品磁强计是采用反馈跟踪系统自动记录数据,其磁矩灵敏度达 2×10^{-5} e.m.u.。该装置已经用于高温超导体研究。

一、目的和意义

自高温超导体发现以来,对这种不同于常规超导电性材料的物理性质的了解已越来越受到人们的注意。特别是对 T_c 附近的弱场性质的研究不仅能给出以往唯象理论对这类新材料的适用程度,而且也为了了解磁通运动情况,钉扎行为以及超导机理等方面提供重要信息。为此,我们研制了一台适用于测量超导样品的低场振动样品磁强计。其磁场范围为 10 mOe—250 Oe,温度为 77—300 K,样品直径小于 2.2 mm,磁矩灵敏度为 2×10^{-5} e.m.u.。测试结果可用 X-Y 记录仪自动记录。

本装置具有操作简便、灵敏度高等优点。SQUID 磁强计虽有更高的磁矩灵敏度(一般为 10^{-8} e.m.u. 以上),但它需要制备参数严格、稳定、可靠的超导隧道结。因此,我们认为低场振动样品磁强计是进行高 T_c 超导材料的低场性质研究的较理想的设备。

二、基本原理

振动样品磁强计是基于电磁感应原理而设计的^[1,2]。当样品沿均匀磁场的 x 方向作振幅为 a , 频率为 ω 的简谐振动时,可把它看成是一个磁矩为 m 的磁偶极子,它在截面积为 A 的探测线圈中产生感应电动势为

$$V = -\frac{3m a \omega \mu_0}{4\pi} \cos \omega t \cdot G, \quad (1)$$

其中

$$G = \int_A \frac{dA}{r^3} \cdot [x(r^2 - 5z^2)\mathbf{i} + y(r^2 - 5z^2)\mathbf{j} + z(3r^2 - 5z^2)\mathbf{k}]$$

称为探测线圈几何因子,它仅与线圈形状和位

物理

置有关。由(1)式可知,当 a, ω, G 不变时, V 与样品磁矩成正比。在用已知磁矩的标准样品对输出电压进行标定后,可直接由输出电压读出被测样品的磁矩。

三、实验装置

图 1 给出装置的结构,它共分六个部分:

1. 机械振动系统

该系统的作用是驱动样品作简谐振动。锁相放大器提供的 38.7 Hz 的低频信号电压经功率放大器放大后驱动线性振子 2 及振动杆 3 和样品 6,样品振幅一般可达 1—2 mm。组成该系统的部件还有电屏蔽 1,振动杆滑套 14,支架 15,磁屏蔽 16 和振动系统抽口 17。

2. 振动-参考线圈系统

为了减少振幅、频率改变对正比于磁矩的信号电压的影响,该装置加进一个参考比较系统。它由一个固定在振动杆上的振动线圈 L_1 (图 1 中的 4, $\phi 0.05$ mm 漆包线, 2300 匝)和固定于其外的参考线圈 L_2 (图 1 中的 5, $\phi 0.05$ mm 漆包线, 对称反串各 2000 匝的两个线圈)组成。在检测时调整馈入 L_1 的直流电流 I_f , 使在 L_2 中感应的电压信号与探测线圈 L_3 (图 1 中的 7)信号相平衡,这时 I_f 与样品磁矩成正比。由于 L_1 与样品的振幅和频率相同,平衡时 I_f 随振幅和频率变化不大。实验表明,经过适当调整,当振幅和频率改变 20% 时,仪器输出变化不超过 1%。

3. 探测线圈系统

为了得到一组高灵敏度大鞍区的探测线圈,我们用 $\phi 0.05$ mm 漆包线绕制四个对称分

1) 中国科学院物理研究所研究生。

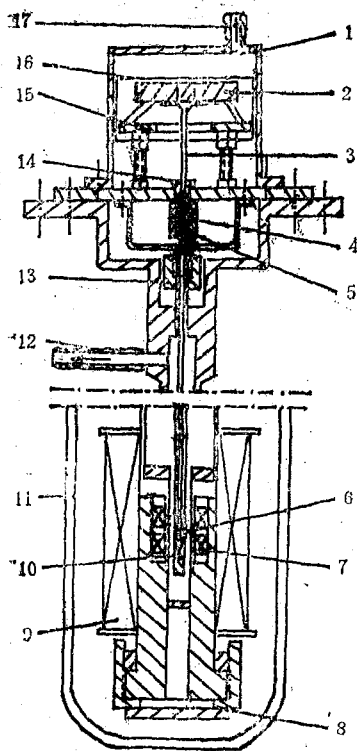


图1 振动样品磁强计结构图

布在样品周围的K线圈，每个K线圈都有相距4 mm的两个对称反串的子线圈(各900匝)，这样组成的四个梯度线圈可以减小由外场不稳定和环境引起的附加噪声。微调装置(图1中的8)可保证样品的位置落在 L_3 的鞍区。

4. 外磁场系统

磁场由无磁不锈钢骨架上绕制的螺线管正常磁体(图1中的9)提供， L_3 位于其均匀区内。磁场用Först1-104型高斯计标定并采用双层磁屏蔽筒将地磁场屏蔽到小于1 mOe。磁场的电流由Keithley 220型程控电流源提供。磁场范围为10 mOe—250 Oe。

5. 温度检测系统

采用外冷真空夹层方法，当用液氮作为冷源时，温度范围为77—300 K。标定的纱包铂丝双绕作成的温度计(图1中的10)固定在样品外套上。本系统还包括外杜瓦瓶(图1中的11)、真空夹层抽口(图1中的12)和内真空封口(图1中的13)。

6. 检测系统

该系统是采用反馈跟踪的方法达到自动记录的目的，如图2所示。其原理如下：锁相放大器(EG&G 5209型)提供频率为几十 Hz的正弦信号，经功放驱动振动系统。振动的样品在 L_3 中感应产生的电压信号和 L_2 中的参考电压信号同时送入锁相放大器的输入端。输出的直流信号正比于二者之差，然后经时间常数为秒量级的积分器作积分运算，并将结果经一个反馈电阻 R_f 以直流形式馈入 L_1 ，从而组成反馈跟踪系统。积分器作用是消除 L_2 和 L_3 之间的静差以保证系统的锁定精度。为了获得较好的稳定性和动态特性，取锁相放大器总增益为110 dB，相检时间常数为5 ms(远小于积分时间常数)。当 L_2 和 L_3 信号平衡时，锁相放大器输出为零，积分器保持原值，此时 R_f 上压降正比于样品磁矩。为了减少测量仪表给系统带来的额外噪声， R_f 上压降经一截止于0.3 Hz的二阶低通滤波器与测量仪表相连。系统输出噪声幅值折算到输入端为30 nV。

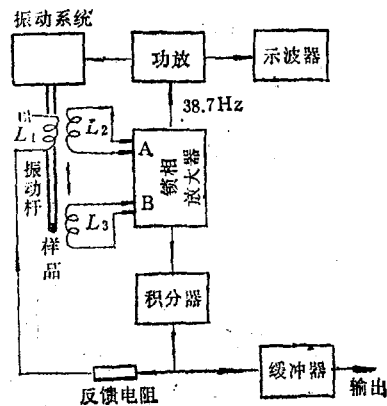


图2 检测系统方框图

测量磁矩的灵敏度达 2×10^{-5} e.m.u.

四、使用方法和应用实例

1. 使用方法

(1) 标定：由于外场较弱，我们采用小电流圈来标定系统。在直径为2 mm的有机玻璃骨架上，用 $\phi 0.05$ mm漆包线密绕10匝置于样品位置，当线圈通过电流时，它就等效于一个磁偶极子。

(下转第112页)