

实验 05 铁磁材料居里点测试

引言

铁磁性物质的磁性随温度的变化而改变。当温度上升到某一温度时，铁磁性材料就由铁磁状态转变为顺磁状态，即失掉铁磁性物质的特性而转变为顺磁性物质，这个温度称之为居里温度，以 T_c 表示。居里温度是磁性材料的本征参数之一，它仅与材料的化学成分和晶体结构有关，几乎与晶粒的大小、取向以及应力分布等结构因素无关，因此又称它为结构不灵敏参数。测定铁磁材料的居里温度不仅对磁材料、磁性器件的研究和研制，而且对工程技术的应用都具有十分重要的意义。

实验目的

- 1 初步了解铁磁物质由铁磁性转变为顺磁性的微观机理；
- 2 学习 $JLD-II$ 型居里温度测试仪测定居里温度的原理和方法；
- 3 测定铁磁样品的居里温度。

实验原理

1 基本理论

在铁磁性物质中，相邻原子间存在着非常强的交换耦合作用，这个相互作用促使相邻原子的磁矩平行排列起来，形成一个自发磁化达到饱和状态的区域，这个区域的体积约为 $10^{-8} m^3$ ，称之为磁畴。在没有外磁场作用时，不同磁畴的取向各不相同，如图（1）所示。因此，对整个铁磁物质来说，任何宏观区域的平均磁矩为零，铁磁物质不显示磁性。当有外磁场作用时，不同磁畴的取向趋于外磁场的方向，任何宏观区域的平均磁矩不再为零，且随着外磁场的增大而增大。当外磁场增大到一定值时，所有磁畴沿外磁场方向整齐排列，如图（2）所示。任何宏观区域的平均磁矩达到最大值，铁磁物质显示出很强的磁性，我们说铁磁物质被磁化了。铁磁物质的磁导率 μ 远远大于顺磁物质的磁导率。

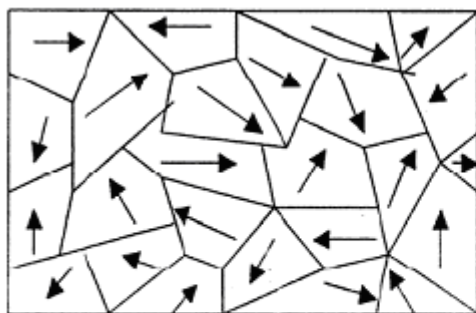


图1 无外磁场作用的磁畴

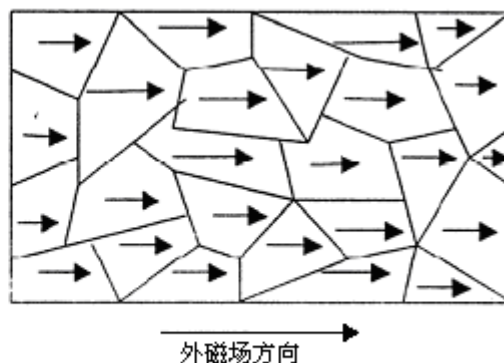


图2 在外磁场作用下的磁畴

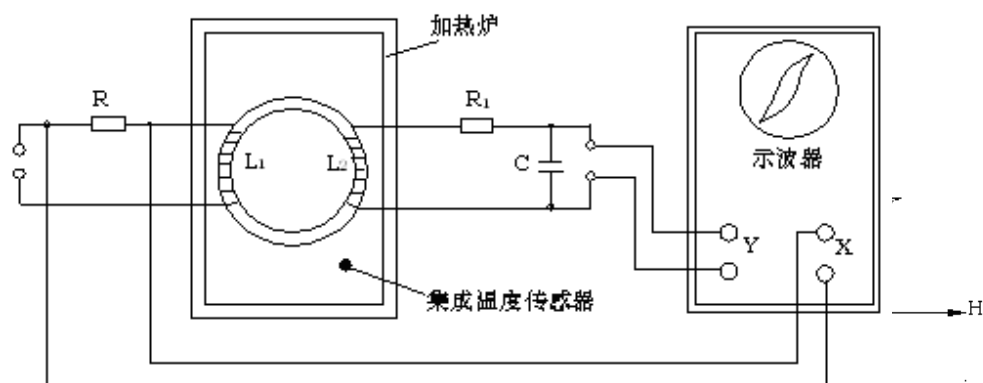
铁磁物质被磁化后具有很强的磁性，但这种强磁性是与温度有关的。随着铁磁物质温度的升高，金属点阵热运动的加剧会影响磁畴矩的有序排列。但在未达到一定温度时，热运动不

足以破坏磁畴磁矩基本的平行排列，此时任何宏观区域的平均磁矩仍不为零，物质仍具有磁性，只是平均磁矩随温度升高而减小。而当与 kT (k 是玻耳兹曼常数， T 是热力学温度) 成正比的热运动能足以破坏磁畴磁矩的整齐排列时，磁畴被瓦解，平均磁矩降为零，铁磁物质的磁性消失而转变为顺磁物质，与磁畴相联系的一系列铁磁性质（如高磁导率、磁滞回线、磁致伸缩等）全部消失，相应的铁磁物质的磁导率转化为顺磁物质的磁导率。与铁磁性消失时所对应的温度即为居里点温度。任何区域的平均磁矩称为自发磁化强度，用 M_s 表示。

2 测量装置及原理

由居里温度的定义知，任何可测定 M_s 或可判断铁磁性消失的带有温控的装置都可用来测量居里温度。要测定铁磁材料的居里点温度，从测量原理上来讲，其测定装置必须具备四个功能：提供使样品磁化的磁场；改变铁磁物质温度的温控装置；判断铁磁物质磁性是否消失的判断装置；测量铁磁物质磁性消失时所对应温度的测温装置。

JLD-Ⅱ居里点温度测试仪是通过图（3）所示的系统装置来实现以上4个功能的。



图(3) JLD-Ⅱ居里点温度测试仪测试原理图

待测样品为一环形铁磁材料，其上绕有两个线圈 L_1 和 L_2 ，其中 L_1 为励磁线圈，给其中通一交变电流，提供使环形样品磁化的磁场。将其绕有线圈的环形样品置于温度可控的加热炉中以改变样品的温度。将集成温度传感器置于样品旁边以测定样品的温度。

本装置可通过两种途径来判断样品的铁磁性消失：

1) 通过观察样品的磁滞回线是否消失来判断。铁磁物质最大的特点是当它被外磁场磁化时，其磁感应强度 B 和磁场强度 H 的关系不是非线性的，也不是单值的，而且磁化的情况还与它以前的磁化历史有关，即其 $B(H)$ 曲线为一闭合曲线，称之为磁滞回线，如图（4）所示。当铁磁性消失时，相应的磁滞回线也就消失了。因此，测出对应于磁滞回线消失时的温度，就测得了居里点温度。

为了获得样品的磁滞回线，可在励磁线圈回路中串联一个采样电阻。由于样品中的磁场强度 H 正比于励磁线圈中通过的电流 I ，而电阻 R 两端的电压 U 也正比于电流 I ，因此可用 U 代表磁场强度 H ，将其放大后送入示波器的 X 轴。样品上的线圈 L_2 中会产生感应电动势，由法拉第电磁感应定律知，感应电动势的大小为：

$$\varepsilon = -\frac{d\varphi}{dt} = -k \frac{dB}{dt} \quad (1)$$

式中 k 为比例系数，与线圈的匝数和截面积有关。将式 (1) 积分得：

$$B = -\frac{1}{k} \int \varepsilon dt \quad (2)$$

可见，样品的磁感应强度 B 与 L_2 上的感应电动势的积分成正比。因此，将 L_2 上感应电动势经过 R_2C 积分电路积分并加以放大处理后送入示波器的 Y 轴，这样在示波器的荧光屏上即可观察到样品的磁滞回线（示波器用 $X-Y$ 工作方式）。

2) 通过测定磁感应强度随温度变化的曲线来推断

一般自发磁化强度 M_s 与饱和磁化强度 M （不随外磁场变化时的磁化强度）很接近，可用饱和磁化强度近似代替自发磁化强度，并根据饱和磁化强度随温度变化的特性来判断居里温度。用 JLD-II 装置无法直接测定 M ，但由电磁学理论知道，当铁磁性物质的温度达到居里温度时，其 $M(T)$ 的变化曲线与 $B(T)$ 曲线很相似，因此在测量精度要求不高的情况下，可通过测定 $B(T)$ 曲线来推断居里温度。即测出感应电动势的积分电压 U 随温度 T 变化的曲线，并在其斜率最大处作切线，切线与横坐标（温度）的交点即为样品的居里温度。

实验仪器

JLD-II 型居里温度测试仪，10M 或 20M 示波器。

实验内容

1 通过测定磁滞回线消失时的温度测定居里温度

- 1) 用连线将加热炉与电源箱前面板上的“加热炉”相连接；将铁磁材料样品与电源箱前面板上的“样品”插孔用专用线连接起来，并把样品放入加热炉；将温度传感器、降温风扇的接插件与接在电源箱前面板上的“传感器”接插件对应相接；将电源箱前面板上的“ B 输出”、“ H 输出”分别与示波器上的 Y 输入、 X 输入用专用线相连接。
- 2) 将“升温—降温”开关打向“降温”。接通电源箱前面板上的电源开关，将电源箱前面板上的“ H 调节”旋钮调到最大，适当调节示波器，其荧光屏上就显示出了磁滞回线。
- 3) 关闭加热炉上的两风门（旋钮方向和加热炉的轴线方向垂直），将“测量—设置”开关打向“设置”，适当设定炉温。
- 4) 将“测量-设置”开关打向“测量”，将“升温—降温”开关打向“升温”，这时炉子开始升温，在此过程中注意观察示波器上的磁滞回线，记下磁滞回线消失时数显表显示的温度值，即测得了居里点温度。
- 5) 将“升温-降温”开关打向“降温”，并打开加热炉上的两风门，使加热炉降温。

2 测量感应电动势随温度变化的关系

- 1) 根据步骤 1 所测得的居里温度值来设置炉温，其设定值应比步骤 1 所测得的 T_c 值低 10°C 左右。

- 2) 将“测量-设置”开关打向“测量”，“升温-降温”开关打向“升温”，这时炉子开始升温，同时在数据记录表格中记下温度和对应的感应电动势值。

数据表格及处理

表 1 磁滞回线消失时所对应的温度值

样品编号					
T ($^{\circ}\text{C}$)					

表 2 感应电动势积分值 ε 及其对应的温度 T 值 样品编号:

T ($^{\circ}\text{C}$)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	71	72	73	74	75
ε (mV)															
T ($^{\circ}\text{C}$)	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
ε (mV)															

用坐标纸画出曲线 $\varepsilon(T)$ ，并在其斜率最大处作切线，切线与横坐标（温度）的交点即为样品的居里温度。

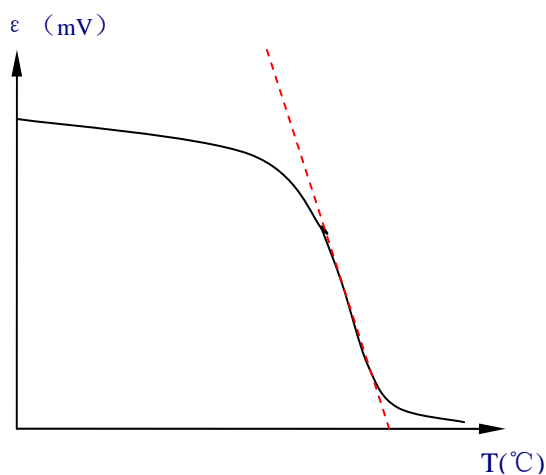


图 4 感应电动势—温度曲线

注意事项

1 测量样品的居里点时，一定要让炉温从低温开始升高，即每次要让加热炉降温后再放入样品，这样可避免由于样品和温度传感器响应时间的不同而引起的居里点每次测量值的不同。

2 在测 80℃ 以上样品时，温度很高，小心烫伤。

思考题

通过测定感应电动势随温度变化的曲线来推断居里点温度时，为什么要由曲线上斜率最大处的切线与温度轴的交点来确定 T_c ，而不是由曲线与温度轴的交点来确定 T_c ？