

高功率微波对 YBCO 超导材料的改性*

程湘爱 梁林梅 胡永明

(国防科技大学应用物理系 长沙 410073)

摘要 用固相反应法制备了123相YBCO超导块材。利用超导电性(T_c)测量、扫描电镜(SEM)等方法研究了高功率微波加载及退火处理对YBCO样品的影响。电阻-温度关系曲线表明,处理后的样品在超导起始转变温度 $T_{co} \approx 90\text{K}$ 处由半导体型向超导转变,超导转变宽度 ΔT 增大。SEM结果显示,晶粒大大细化。作者认为,由于高功率微波对样品的瞬时高压作用,在样品中引入了阻碍磁通蠕动的钉扎中心,同时,退火处理改善了晶粒之间的弱连接,为提高临界电流密度 J_c 创造了条件。

关键词 YBCO, SEM, 高功率微波

分类号 O511

The Influence of High Power Microwave on the Property of High T_c YBCO Superconductor

Cheng Xiangai Liang Linmei Hu Yongming)

(Department of Applied Physics, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract The samples YBCO (123 phase) have been prepared by solid state reaction method. The influence of high power microwave on the property of high T_c YBCO superconductor has been studied by means of the measurement of superconductivity (T_c) and the SEM. The experimental results show that the transition from semiconductor to superconductor takes place at the $T_{co} \approx 90\text{K}$, the transition width ΔT , is widened and the grains become smaller. We think the influence results from the implused high press of high power microwave. On the one hand, the pinning cores are produced, which hinders the magnetic flux from wriggling, on the other hand, the annealing can improve the connections between grains, which benefits the improvement in the critical current density J_c .

Key words YBCO, SEM, high power microwave

阻碍高温超导电性(T_c)的YBCO超导材料实际应用的关键因素是块材的临界电流密度($J_c \approx 10^2 \sim 10^3 \text{A/cm}^2$)太低,而晶粒之间的弱连接和晶内的磁通蠕动阻碍了通道上较大超导电流的通过。为了克服晶粒之间的弱连接,通常采用熔融织构^[1]、定向冷凝或长时间退火等工艺,可将块材的 J_c 提高到 10^4A/cm^2 以上。在晶内引入有效的钉扎中心,如在超导体中掺入一定量的杂质^[2,3],或利用慢中子、冲击波^[4,5]对高 T_c 超导材料进行辐照,使高 T_c 超导体内产生大量的缺陷或造成氧缺位。这些缺陷或氧缺位成为钉扎中心,抑制了磁通蠕动。国内外利用高功率微波对高 T_c 超导材料的改性尚未见报导。

1 实验方法

将 BaCO_3 (分析纯99%)、 Y_2O_3 (分析纯99.99%)和 CuO (分析纯99.99%)粉末按配比称量,充分研磨后,在空气中920℃下预烧24h,再次研磨后压成 $14 \times 2 \times 2 \text{mm}^3$ 的条状样品,在空气中930℃下烧结

* 国防科技大学应用物理系青年基金资助项目
1997年6月25日收稿

第一作者:程湘爱,女,1966年生,讲师

24h, 最后在 500 C 下退火 10h, 并随炉冷却。

样品的电阻-温度关系采用标准的直流四引线法测量, 输出电压进入计算机终端。

高功率微波的脉冲半宽大约为 20ns, 频率为 10GHz, 辐射到样品上的功率约 12.5kW。

利用扫描电镜(SEM)对样品的形貌作了分析。工作电压为 20kV, 放大倍数为 1000。

将样品分成 A、B 两组。

A 组: 未经高功率微波辐照的样品;

B 组: 经高功率微波辐照并在 930 C 下(空气中)退火 10h。

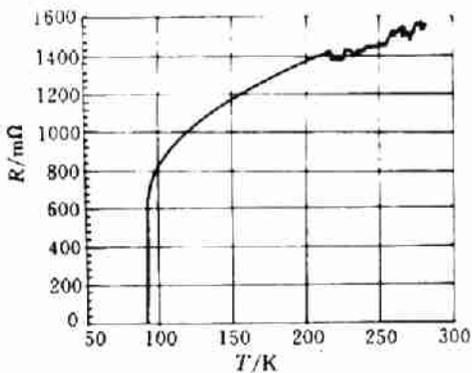


图1 A组样品 $R-T$ 曲线

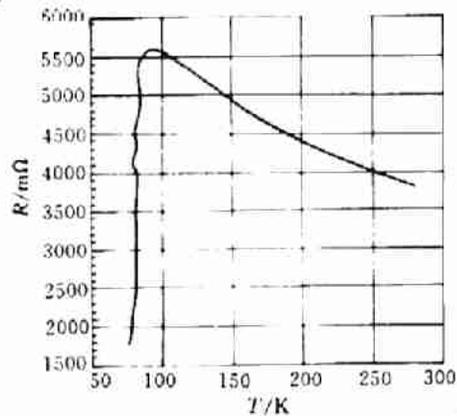


图2 B组样品 $R-T$ 曲线

2 实验结果与讨论

图1、图2分别为A、B组样品的电阻与温度关系曲线(即 $R \sim T$ 曲线)。由图可见:A、B两组样品的超导起始转变温度 T_c 均在 90K 附近, 但 A 组样品由金属型向超导转变, 超导转变宽度 ΔT 小, B 组样品由半导体型向超导转变, ΔT 大。我们知道, 123 相样品具有两种对称结构: 一种是具有超导电性的正交结构, 另一种是具有半导体性的四方结构。123 相样品在结构上是不稳定的, 温度、压力和辐射等因素都可以导致正交 \rightleftharpoons 四方结构的变化^[6]。由于高功率微波的辐射, 正交相的 YBCO 转变为四方相的 YBCO。随着温度的下降 ($< T_c$), 部分的四方相又开始向正交相转变, 剩余的四方相(非超导相)导致超导转变宽度 ΔT 增加。但非超导相可以钉扎磁通, 为 J_c 的提高创造条件。

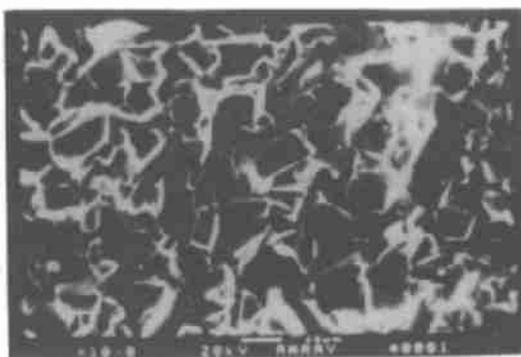


图3 A组样品的 SEM 断口照片

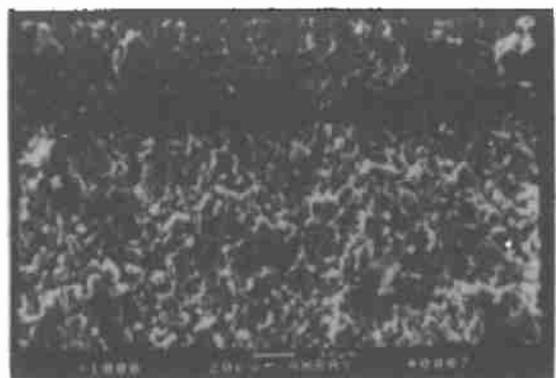


图4 B组样品的 SEM 断口照片

A、B 两组样品的 SEM 断口照片如图 3、4 所示。图 3、4 显示:A 组样品的晶粒棱角分明, 晶粒尺寸较大; B 组样品的晶粒大大细化。这是由于高功率微波对高 T_c YBCO 样品的作用是瞬时的(约 20ns)。这种脉冲式的高功率微波对样品产生瞬时高压作用, 使样品承载瞬时的大应力加载与卸载, 导致晶粒破碎, 晶粒的总表面积增加。而晶粒表面能钉扎磁通^[7], 提高 J_c 。但高功率微波瞬时的高压作用导致结构改

变、晶粒破碎,使得 YBCO 块材的超导相成份减少,超导晶粒原来较为良好的连接受到破坏。经 930°C 下退火10h 处理后,样品经再结晶恢复了原来晶粒间良好的连接。

3 结论

(1)高功率微波对样品的瞬时高压作用,一方面引起正交的123相向四方的123相转变,另一方面使晶粒细化,晶粒的总表面积增加,从而在超导体中引入有效钉扎中心。

(2)退火处理改善了晶粒之间的弱连接。

(3)钉扎中心的引入和弱连接的改善为提高 J_c 创造了条件。

致谢 感谢国防科技大学206教研室全体同志的大力支持。

参考文献

- 1 Jin S, Tiefel T H, et al. High Critical Currents in Y-Ba-Cu-O Superconductors. *Appl. Phys. Lett.* 1988, 52: 2074~2078
- 2 易敏瑜等. Ag_2O 对 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 超导性能的影响. *低温与超导*, 1991, 19: 23~27
- 3 程国生等. Ca 替代和 Ag_2O 添加的 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_\delta$ 超导材料的制备与超导电性. *低温与超导*, 1994, 22: 31~35
- 4 SaKguchi Y, et al. Shock-loading effects on flux pinning of the high-Tc Superconductor $\text{La}_{1-\delta}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$. *Physica C*, 1992, 201: 183~188
- 5 刘柯钊等. 冲击波对高 Tc YBCO 超导材料的改进. *低温与超导*, 1995, 23: 52~58
- 6 张其瑞等. 高温超导电性. 杭州: 浙江大学出版社, 1992
- 7 太刀川恭治等. 超导高技术的突破口. 北京: 化学工业出版社, 1992