

高温超导研究中的若干问题及对策^①

杨 明

(湖南省冶金材料研究所)

早在1911年就有人发现汞的超导现象,但在随后几十年里由于条件限制,超导研究进展缓慢。五十年代初,低温超导材料开始得到应用,但在五十年代至七十年代的二十多年里,临界转变温度 T_c 平均每年仅提高 0.3°C 。按这样的速度发展,要把 T_c 提高到液氮温区,大约需二百年,很多人都因此失去信心,超导研究进入低谷。值得庆幸的是,即使在最困难时期,也有不少科学工作者坚持攻关,并取得了历史性的突破。首先是美国国际商用公司(IBM)的两位科学家 Bedeorz J G 和 Mullar K A 在1986年报道了 T_c 大于30 K的La-Ba-Cu-O系超导体;接着美国科学家和中国科学院物理研究所几乎同时发现了转变温度 T_c 大于77 K的Y-Ba-Cu-O系超导体。高温超导研究现已为科学技术领域的热点。

至今发现的高温超导材料仅限于氧化物陶瓷系列,主要有:Y系、Bi系和Tl系,最大临界电流密度 J_c 在无磁场时为 $1.7 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$ (Y系),最高临界转变温度(Tl系)为127 K,临界磁场 $H_{c2}=200 \text{ T}$ 。这些指标(主要是 J_c)离实际应用还有较大差距。普遍认为,难以获得大块材料的主要原因有两个:

(1) 超导体中的弱连接 主要包括四个方面:高角度晶界;晶界微裂;晶界成分偏析;晶界含氧量不足。克服弱连接的方法有:织构生长法;晶界镀膜;减小偏析;活性氧烧结。其中最有效、最实用的是织构生长法。用以下三种方法均能获得织构。

(a) 熔融织构法 Y-Ba-Cu-O在高温下存在一个包晶分解反应,快速加热到 1100°C

之后,以 1°C/h 的降温速度慢冷,可得到织构样品。目前可以获得的最大尺寸小于1 cm,远不能满足实际应用的需要。因此,有人对熔融织构法作了改进:移动炉子或样品,使其连续生长。用这一方法获得的最大样品断面为 $5 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 。人们还发现了晶生长法也是非常具有前途的方法。

(b) 形变织构 目前认为弱连接对Y系的影响大于Bi系,但Bi系中存在的弱连接也不容忽视。用熔融法不容易使Bi系产生织构,但其织构与界面有关,样品愈薄,性能愈好,通过多道次变形加工,在后续处理时可产生织构。用一种特殊银合金作基底,制作Y系带材,也可能实现形变织构。

(c) 界面织构在金属基底上喷上超导粉,经压合、烧结处理,能产生织构。最近,法国有人发现在强磁场下也能生长织构。这种方法的困难在于不易获得巨大的磁场。

(2) 磁通跳跃 当 $J_c=10^4 \sim 10^5$ 时,弱连接为主要影响因素;当 $J_c=10^6 \sim 10^7$ 时,磁通钉扎变成主要影响因素。增强磁通钉扎的主要途径有:(a) 中子辐照 利用中子辐照对样品进行处理,可以大幅度改善样品中的钉扎源,提高样品的 J_c 值。(b) 相分解法 Y系中的124相在一定条件下分解,可以得到微小的123相,成为钉扎中心。

弱连接和磁通跳跃是氧化物陶瓷材料中存在的主要问题,已引起人们的重视,随着高温 T_c 超导研究的深入,人们已渐渐意识到要取得新的突破,必须做到:跳出原思维圈,寻找新材料;走极端方法,如采用高氧压处理等。

①1992年12月5日收到初稿