

文章编号: 1001-2486 (2000) 03-0070-03

激光对富碳酸钡 YBCO 超导材料的改性*

程湘爱, 余般梅, 陈金宝, 舒柏宏, 艾杰, 邓青华, 胡心, 钟辉煌

(国防科技大学理学院, 湖南长沙 410073)

摘要: 利用激光 (CO₂ 连续激光、YAG 连续激光和脉冲激光) 对富碳酸钡 YBCO 超导材料进行辐照, 并研究各种激光对超导块材临界电流密度 J_c 的影响。

关键词: 临界电流密度; 富碳酸钡 YBCO 高温超导; 弱连接; 钉扎中心

中图分类号: O511 **文献标识码:** B

Influence of Laser on Abundant-BaCO₃-YBCO Superconductor

CHENG Xiang-ai, YU Ban-mei, CHEN Jing-bao, SHU Bo-hong, AI Jie,

DENG Qing-hua, HU xin, ZHONG Hui-huang

(College of Science, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Abundant-BaCO₃-YBCO superconductor is illuminated by laser (CW-CO₂ laser, CW-YAG and pulsed-YAG laser). The influence of laser on superconducting critical electric current density J_c is studied.

Key words: critical electric current density; abundant-BaCO₃-YBCO superconductor; weak link; pin center

自 1986 年发现高温超导体后, 超导体的临界温度达到了 90K 以上, 于是超导体的临界温度已不是牵制超导体发展的最大问题了。而超导体的临界电流密度 J_c 很低, 是限制高温超导材料获得迅速应用的主要因素。改善或消除弱连接, 在晶体内引入有效的磁通钉扎中心, 从而提高临界电流密度 J_c , 抑制磁通蠕动, 是当前高温超导材料研制中面临的一个主要任务。

为了提高 J_c , 人们做了大量的研究工作, 颇有成效, 中子辐照、 γ 辐照、质子辐照和熔融织构等都能较大幅度地提高 J_c ^[1,2]。为提高富碳酸钡 YBCO 高温超导体的临界电流密度 J_c , 本文进行了超导样品的激光改性研究, 并对实验结果进行了认真地分析, 发现成型压力为 980N/cm² 的超导样品经激光辐照后其 J_c 均有较大地提高。

1 富 BaCO₃123 相超导体的制备

利用 BaCO₃ (纯度为 99%)、Y₂O₃ (纯度为 99.999%)、CuO (纯度为 99%) 粉末在高温下进行固相反应来制备 YBCO 块材。所谓富 BaCO₃123 相超导体, 就是适量地称取以上三种样品使 Y³⁺、Ba²⁺ 和 Cu²⁺ 按 1: 2: 3 的比例 (摩尔比) 分配, 在此基础上再加一些 BaCO₃ 从而使碳酸钡过量。

本实验称取试剂量分别为 $M_{BaCO_3} = 6.0570g$, $M_{Y_2O_3} = 1.7156g$, $M_{CuO} = 3.6624g$, 在此基础上, 再加 20mg 的 BaCO₃。

2 激光对富碳酸钡 YBCO 超导材料的改性

选取了三组样品, 分别利用不同强度的连续 CO₂ 激光 (波长为 10.6 μ m)、YAG 脉冲激光、YAG 连续激光 (波长为 1.06 μ m) 对该三组样品进行辐照, 然后利用四引线稳恒电流传输的方法测量它们的 J_c 值, 并比较改性前后样品的 J_c 值。这三组样品成型时的压力及加载激光的功率、辐照时间如表 1 ~ 表 3 所示。

第一组为 CO₂ 激光加载 (波长为 10.6 μ m)。

* 收稿日期: 1999-08-30
基金项目: 国防科技大学试验技术资助项目 (KD-98-X-083)
作者简介: 程湘爱 (1966), 女, 副教授。

由表 1 不难看出, 对成型压力为 $980\text{N}/\text{cm}^2$ 的样品, 经 3.5W 的 CW- CO_2 激光辐照 4s 后, 样品的临界电流密度 J_c 提高了 13 倍。

表 1 CO_2 激光辐照前后样品的 J_c Tab 1 The measured value J_c of radiated sample by CW- CO_2 laser in comparison with non-radiated one

样品成型时的压力 (N/cm^2)	激光功率 (W)	辐照时间 (s)	未受激光辐照的样品的 J_c (A/cm^2)	受 CO_2 激光辐照的样品的 J_c (A/cm^2)
980	3.5	4	5.18	68.75

第二组为 YAG 脉冲激光加载 (波长为 $1.06\mu\text{m}$)。

从表 2 中数据可看出, 成型压力为 $980\text{N}/\text{cm}^2$ 的样品, 经能量为 130J YAG 脉冲激光辐照后, 其 J_c 提高了近一个数量级。

表 2 YAG 脉冲激光辐照前后样品的 J_c Tab 2 The measured value J_c of radiated sample by pulse YAG laser in comparison with non-radiated one

样品成型时的压力 (N/cm^2)	单个脉冲能量 (J)	脉冲个数	未受激光辐照的样品的 J_c (A/cm^2)	受 YAG 脉冲激光辐照的样品的 J_c (A/cm^2)
980	130	1	5.18	49.52

第三组为 YAG 连续激光加载 (波长为 $1.06\mu\text{m}$)。

从表 3 可以看出, 对成型压力为 $980\text{N}/\text{cm}^2$ 的样品, 经 25.7W CW-YAG 激光辐照 1s 后, 其 J_c 值提高 12 倍。

表 3 受 YAG 连续激光辐照前后样品的 J_c Tab 3 The measured value J_c of radiated sample by CW-YAG laser in comparison with non-radiated one

样品成型时的压力 (N/cm^2)	激光功率 (W)	辐照时间 (s)	未受激光辐照的样品的 J_c (A/cm^2)	受 YAG 连续激光辐照的样品的 J_c (A/cm^2)
980	25.7	1	5.18	60.14

3 机理分析

从试验结果可明显看出, 激光辐照对 J_c 有较大的影响, 而影响 J_c 的因素主要有两种, 即弱连接和磁通钉扎^[3]。

激光与超导体相互作用时, 超导体中载流子和杂质吸收大量的光能, 然后把能量传递给晶格, 晶格振动加剧, 从而引起超导体的内部晶粒碎化, 形成大量的磁通钉扎中心, 提高了 J_c 。图 1 是成型压力为 $980\text{N}/\text{cm}^2$ 的 5 号样品被激光辐照前后的断面形貌图。

图 1 (a) 是未经过任何激光辐照的样品; 图 1 (b) 是经过 CO_2 激光 (波长为 $10.6\mu\text{m}$ 、功率为 3.5W 、辐照时间为 4s) 辐照后的样品; 图 1 (c) 是经过 YAG 脉冲 ($130\text{J}/\text{脉冲}$) 激光辐照后的样品; 图 1 (d) 是经过 YAG 连续激光 (波长为 $1.06\mu\text{m}$ 、功率为 25.7W 、辐照时间为 1s) 辐照后的样品。

比较图 1 中 (a)、(b)、(c) 和 (d), 不难发现, 未经激光辐照的样品, 晶粒较大, 空隙较大而且多, 晶粒之间的距离远大于超导相的相干长度, 不利于超导相的贯穿和临界电流密度的提高。而经过激光辐照后的样品, 晶粒明显细化且空隙大大变小, 磁通钉扎中心增多, 有利于临界电流密度 J_c 的提高。

4 结论

适当强度的激光辐照可以使超导体内部的晶粒细化, 有利于增强磁通钉扎力, 提高样品的临界电流密度 J_c 。

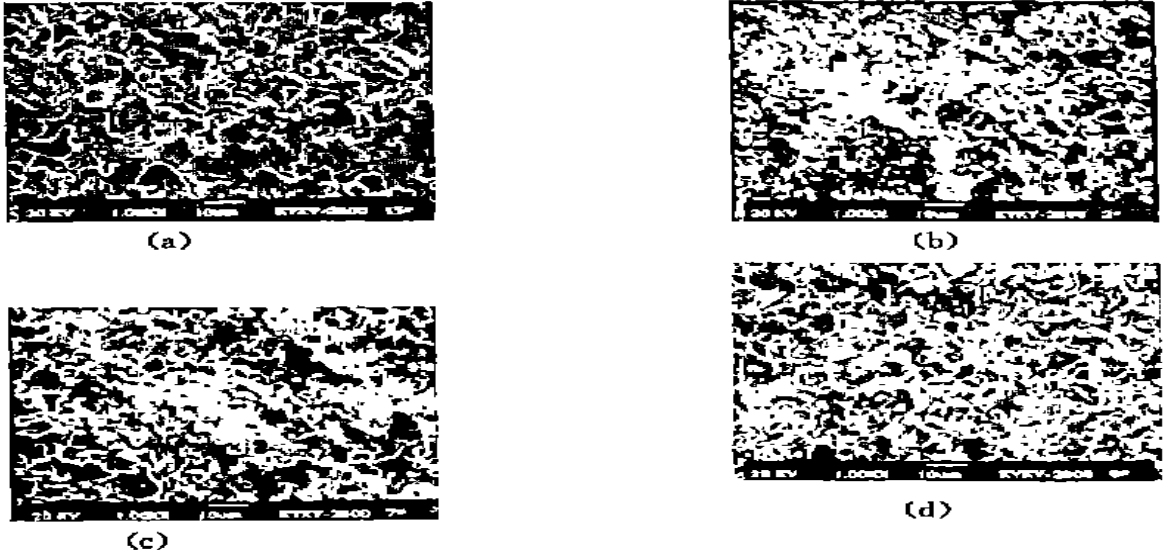


图1 激光辐照前后样品的SEM图

Fig 1 The SEM of radiated samples in comparison with non-radiated one

参考文献:

- [1] 任洪涛, 肖玲等. 中子辐照对熔融结构 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 超导体磁学性能及微观组织的影响 [J]. 低温物理学报. 1998, 14 (2): 108 - 110.
- [2] 王葛亚, 施天生等. 熔融结构生长的 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 的微结构 [J]. 低温物理学报. 1998, .14 (5): 351- 354.
- [3] 张其瑞. 高温超导电性 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1992.