

# 熔融织构 $Y_{1-x}Nd_xBa_2Cu_3O_{7-y}$ 的磁通钉扎\*

邢玉涛 王永忠 乔桂文

(中国科学院金属研究所)

**摘 要** 制备了  $Y_{1-x}Nd_xBa_2Cu_3O_{7-y}$  熔融织构超导样品. X 射线衍射分析表明, 样品具有较高的织构度, 样品中晶粒的取向为 (001) 方向. 钕均匀地替代了钇, 并且对样品的晶体结构影响不大. 样品的不可逆温度  $T_p$  随外场的变化说明, 少量钕替代钇可以提高 YBCO 超导材料的磁通钉扎能力. 在高温超导体中引入和样品本身结构相近的第二相可能是一种比较有效的增强高温超导材料磁通钉扎能力的方法.

**关键词**  $Y_{1-x}Nd_xBa_2Cu_3O_{7-y}$  超导体 不可逆温度 磁通钉扎

**分类号** O511

**文章编号** 1005-3093(2001)01-0117-03

## FLUX PINNING IN MELT-TEXTURED $Y_{1-x}Nd_xBa_2Cu_3O_{7-y}$ SUPERCONDUCTORS

XING Yutao\*\* WANG Yongzhong QIAO Guiwen

(Institute of Metal Research, The Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015)

**ABSTRACT** The textured  $Y_{1-x}Nd_xBa_2Cu_3O_{7-y}$  superconducting samples have been fabricated by the modified MTG method. XRD analysis shows that the samples have perfect orientation along the (001) direction. Nd substituted Y in the samples homogeneously and it has little effects on the samples' microstructures. The field dependence of the irreversibility temperature in various MTG  $Y_{1-x}Nd_xBa_2Cu_3O_{7-y}$  samples at 5k shows that small amount of Nd substitution for Y can enhance the flux pinning of these samples. So introducing some second phase, which has the same structure with the matrix, into the sample may be an effective way to improve the flux pinning in YBCO superconductors.

**KEY WORDS**  $Y_{1-x}Nd_xBa_2Cu_3O_{7-y}$  superconductors, irreversibility temperature, flux pinning

为了实现高温超导体的应用, 特别是在强电领域的应用, 人们致力于提高高温超导体临界电流密度  $J_c$  (特别是磁场下的临界电流密度) 的研究. 样品的临界电流密度和磁通钉扎能力密切相关. 当超导体处于较高的磁场中, 提高高温超导体在高场下的磁通钉扎能力更为重要. 目前解决这一问题比较有效的方法主要有粒子辐照<sup>[1,2]</sup>、相分解技术<sup>[3,4]</sup>、掺杂纳米第二相颗粒等等<sup>[5~8]</sup>. 这些方法都能在超导样品中形成缺陷或非超导第二相颗粒, 这些缺陷和第二相本身或由它们引发的其它缺陷, 比如位错等对磁通涡旋线具有钉扎作用. 研究结果表明, 超导样品中

\* 八六三计划新材料领域资助项目 863-CD010107. 2000年10月25日收到初稿; 2000年12月10日收到修改稿.

本文联系人: 邢玉涛, 沈阳市 110016, 中国科学院金属研究所

\*\* To whom correspondence should be addressed

的非超导第二相颗粒处于一个最佳比例时才能有效提高超导材料的磁通钉扎能力. 比例太小则钉扎能力不强, 比例太大会严重降低材料的超导性能. 如果非超导第二相颗粒的晶体结构和超导基体的晶体结构相似是否会比较好地解决这个矛盾? 在空气中用烧结方法, 特别是用熔融织构方法制备的  $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  样品, 很难具有理想的超导性能<sup>[9~12]</sup>. 本文用部分钕替代钇, 研究结构与 Y123 相同的 Nd123 对 YBCO 磁通钉扎能力影响.

## 1 实验方法

按名义成分  $\text{Y}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  的比例 ( $x = 0.01, 0.03$ ) 配制原料粉, 用传统固态反应法制备先驱粉. 将粉末压制成尺寸为  $5\text{mm} \times 10\text{mm} \times 40\text{mm}$  的片状, 然后在空气中采用 C.H.Choi 等人发展的工艺<sup>[13]</sup> 制备具有织构取向的  $\text{Y}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  高温超导样品. 将得到的样品在流动氧气气氛中在  $500^\circ\text{C}$  退火 24h. 取自然解理的样品进行结构及性能分析, 样品尺寸大约为  $2\text{mm} \times 2\text{mm} \times 0.7\text{mm}$ . 在做 X 射线衍射实验时, X 射线的方向垂直于自然解理面.

## 2 结果与讨论

由图 1 可见, 样品的临界转变温度为  $94.5\text{K}$  左右, 转变宽度大约为  $3\text{K}$ , 虚部曲线上有一个很小的峰, 说明样品的交流损耗非常小, 这意味着样品具有较好的织构取向, 晶粒间的弱连接基本被克服. 实部曲线的抗磁转变非常明显, 说明样品具有良好的超导性能.

图 2 中主要的衍射峰都对应着 Y123 相的 (00l) 晶面指数, 几乎看不到其他晶面的衍射峰, 说明样品中的晶粒主要是 (00l) 织构取向, 且基本上是按同一方向排列. 因此样品具有比较高的织构度. 少量钕替代钇后样品的衍射峰的位置看不出移动, 这是因为钕的替代量比较小, 并且很均匀地替代了 Y123 中的钇, 因此对 Y123 相的晶格指数影响不大. 样品的不可逆温度  $T_{\text{ir}}$  随

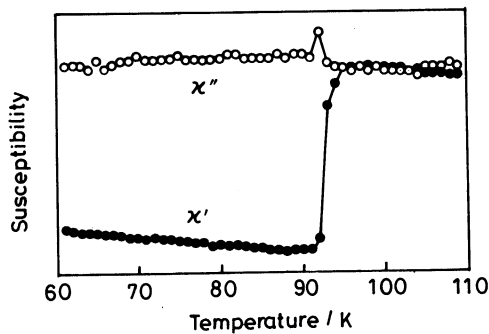


图 1  $\text{Y}_{0.99}\text{Nd}_{0.01}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  样品的交流磁化率随温度的变化关系曲线. 图中所示实部曲线的值为实际测量结果的 1/10

Fig.1 Magnetic susceptibility of  $\text{Y}_{0.99}\text{Nd}_{0.01}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  vs temperature

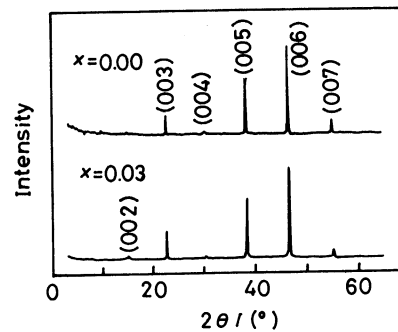


图 2 部分  $\text{Y}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  样品的 XRD 图谱

Fig.2 XRD patterns of  $\text{Y}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  sample

外场的变化如图 3 所示. 可以看出, 在同一磁场下,  $x=0.01$  的样品相对于  $x=0.00$  的样品而言其不可逆温度有了较大的提高. 在外加磁场比较小时效果不明显, 但在外加磁场较高时  $T_{ir}$  可提高 8K 以上. 这些结果说明少量的钕替代钇可以提高 YBCO 超导体的磁通钉扎能力. 替代量  $x=0.03$  时样品的  $T_{ir}$  有所降低.

少量钕替代钇对晶格常数几乎没有影响 (图 2), 表明晶格畸变不是样品中磁通钉扎能力提高的原因. 部分 Nd 替代 Y, 导致在样品中形成少量的  $NdBa_2Cu_3O_{7-y}$  微区, 并且这些微区的超导性能不如 YBCO. 在替代量比较小时, 只形成极少量的  $NdBa_2Cu_3O_{7-y}$ , 且由于它的结构与 YBCO 非常接近, 对样品超导性能的破坏不大. 在外加磁场比较低时, NdBCO 可能

处于超导态, 不能对磁通线起到钉扎作用; 随着外加磁场的增大, 性能不佳的 NdBCO 很快失去了超导电性, 失超后的 NdBCO 作为非超导第二相在样品中起到了很好的钉扎效果. 当替代量增大时, 形成的 NdBCO 量比较大, 导致样品的不可逆转变温度降低.

### 3 结 论

在熔融结构样品中钕比较均匀地替代了钇. 少量钕替代钇对  $Y_{1-x}Nd_xBa_2Cu_3O_{7-y}$  样品的超导性能破坏很小, 并且可以对磁通涡旋线起到很好的钉扎作用, 特别是在高场区. 在高温超导体中引入结构相近的第二相可能是一种比较有效的增强高温超导材料在高场区磁通钉扎能力的途径.

### 参 考 文 献

- 1 R.B.Van Dover, E.M.Gyorgy, L.F.Schneemeyer, J.W.Mitchell, K.V.Rau, R.Puzniak, J.V. Waszak, Nature, **324**, 55(1989)
- 2 W.Gerhauser, H.W.Neumuller, W.Schmidt, G.Ries, O.Ebel, G.Semann-Ischenko, S.Klaumunzer, Physica C **185**, 2339(1991)
- 3 L.Ya.Vinikov, G.A.Emelchenko, D.A.Cononovich, Yu.A.Ossipyan, I.F.Scheglev, Physica C **153**, 1359(1989)
- 4 Endo, H.S.Chauhan, Y.Shiohara Physica C **273**, 107(1996)
- 5 Peidong Yang and C.M. Lieber, Science, **273**, 1836(1996)
- 6 Ling Hua, Jaimoo Yoo, Jaewoong Ko, Haidoo Kim, Hyungsik Chung, Guiwen Qiao Physica C **291**, 149(1997)
- 7 Z.Q.Yang, X.D.Su, C.Zhang, D.C.Zeng, Y.Z.Wang, G.W.Qiao, W.Han, Physica status solidi (a) **167**, 165(1998)
- 8 Kristian Fosheim, E.D.Tuset, T.W.Ebbesen, M.M.J.Treacy, J.Schwartz, Physica C **248**, 195(1995)
- 9 S.I.Yoo, N.Sakai, H.Takaichi, T.Higuchi, M.Murakami, Appl.Phys.Letter., **65**, 633(1994)
- 10 urakami, S.I.Yoo, T.Higuchi, N.Sakai, J.Weltz, N.Koshizuka, S.Tanaka, Jpn.J.Appl.Phys., **33**, L715(1994)
- 11 K.Salama, A.S.Parikh, L.Woolf, Appl.Phys.Lett., **68**, 1993(1996)
- 12 Takagi, T.Yamazaki, T.Oka, Y.Yanagi, Y.Itoh, M.Yoshikawa, Y.Yamada, U.Mizutani, Physica C **250**, 222(1995)
- 13 C.H.Choi, Y.Zhao, C.C.Sorrell, M.La Robia, C.Andrikidis, Physica C **269**, 306(1996)

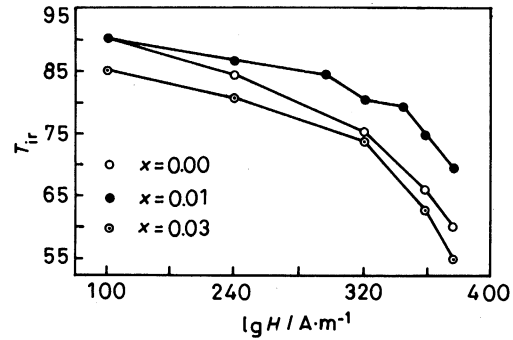


图 3  $Y_{1-x}Nd_xBa_2Cu_3O_{7-y}$  样品的  $lgH-T_p$  关系曲线

Fig.3  $lgH-T_p$  curves of  $Y_{1-x}Nd_xBa_2Cu_3O_{7-y}$  samples