

## СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ $GdBa_2Cu_4O_8 : Ca$

М. Баран, В. Дьяконов, А. Набиалек, Ю. Ревенко

Донецкий физико-технический институт АН Украины  
Институт физики ПАН, Варшава, Польша  
(Поступило в Редакцию 26 октября 1994 г.)

В отличие от родственного соединения  $Re123$  ( $Re$  — иттрий или редкоземельный элемент) ВТСП системы  $ReBa_2Cu_4O_8$  ( $Re124$ ) имеют дополнительную  $CuO$  цепочку. Это приводит к удвоению параметра  $c$  и уменьшению орторомбичности. В  $Re124$  отсутствует переход из орторомбической в тетрагональную фазу. Существенная особенность соединений  $Re124$  состоит в том, что они характеризуются стабильным содержанием кислорода. Вышеуказанные особенности делают  $Re124$  хорошей модельной системой для изучения магнетизма и сверхпроводимости в ВТСП.

В известных нам публикациях [1-3] исследовались главным образом синтез, кристаллическая структура и зависимости  $T_c$  от ионного радиуса  $Re$  для  $Re124$ .

В данной работе сообщаются результаты измерений восприимчивости и намагниченности керамики  $Cd124$ .

С целью формирования фазы 124 мы использовали допирование  $Ca$  и кислород нормального давления в процессе низкотемпературного спекания.

В наших образцах кальций, концентрация которого составляла 10% на формульную единицу, замещает в одинаковых количествах иттрий и барий. Кристаллическая структура и фазовая чистота керамики определялась методом рентгеновской дифракции на дифрактометре ДРОН-1.5 в медном излучении при комнатной температуре. Образцы  $Gd124$  были однофазными, без следов 123 фазы. Восприимчивость измерялась на низкочастотном магнитометре ( $f = 600$  Hz,  $\tilde{h} = 5$  Oe). Измерения намагниченности выполнялись на вибрационном магнитометре (VSM-PAR Model 4500) в интервале температур  $T = 100-4.2$  К и полей  $H = 0.01-1.5$  Т.

Из температурной зависимости восприимчивости установлена температура начала сверхпроводящего перехода  $T_c \approx 82.5$  К и ширина перехода (10% — 90.0) около 3 К. Величина  $T_c = 83$  К получена и из измерений намагниченности. Эти значения несколько выше, чем в [1], так как образцы  $Cd124$  содержат  $Ca$ , способствующий возрастанию  $T_c$ .

Измерения намагниченности  $M_{FC}$  после охлаждения в магнитном поле показывают очень слабый эффект Мейсснера. При температуре 4.2 К объем диамагнитной фракции, оцененный из отношения эффектов Мейсснера и диамагнитного экранирования  $M_{ZFC}$ , составлял не более 10%.

На рис. 1 показана разность  $\Delta M$  сигналов  $M_{FC}$  и  $M_{ZFC}$  в функции магнитного поля при 4.2 К. Видно, что  $\Delta M$  изменяется пропорциональ-

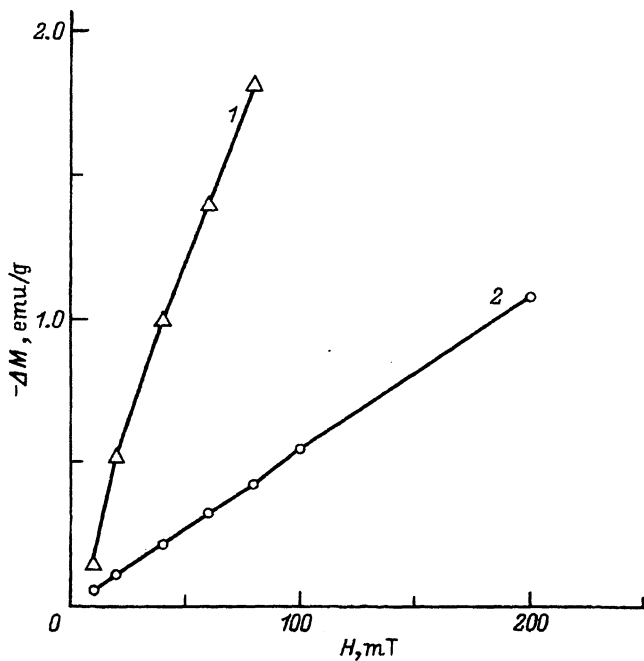


Рис. 1. Зависимости  $\Delta M$  (1) и  $M_{FC}$  (2) от магнитного поля для Gd 124 при 4.2 К.

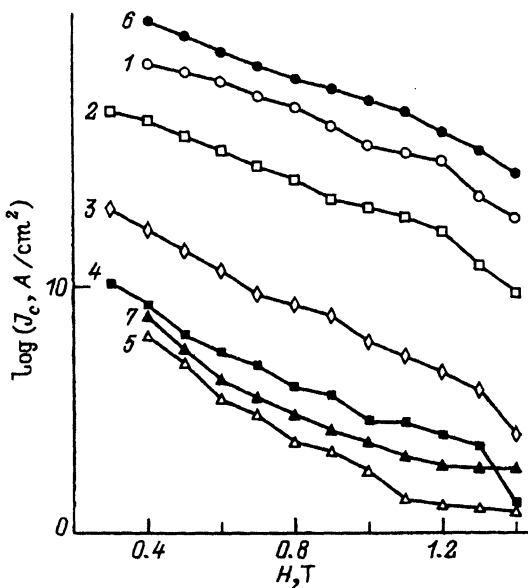


Рис. 2. Плотность критического тока  $j_c$  в функции магнитного поля для Gd 124 (1-5) и Y124 (6, 7) при различных температурах.  $T$ (К): 1, 6 — 4.2, 2 — 10, 3 — 20, 4 — 30, 5, 7 — 40.

по магнитному полю между 20 и 80 мТ. Эффект Мейсснера  $M_{FC}$  также пропорционален магнитному полю до 200 мТ.

Из измерений намагниченности получены типичные  $M-H$ -кривые, отражающие гистерезисные эффекты. Начальная намагниченность начинает отклоняться от линейности ( $4\pi\chi = -1$ ) при 13 и 15 мТ, характеризует верхний предел величины нижнего критического поля  $H_{c1}$  для Gd 124 и Y 124 соответственно. Поле  $H_{c1}$  уменьшается практически линейно с ростом температуры. Изменение намагниченности в больших полях явно показывает присутствие магнитного иона Gd, что характеризуется ростом зависимости  $M(T)$  при  $T > T_c$  и при низких температурах (например, при  $T < 40$  К в поле 0.1 Т).

Гистерезисные кривые Gd 124 и Y 124, измеренные в полях до 1.5 Т, имеют различную форму, обусловленную парамагнитным вкладом Gd, особенно при низких температурах. В отличие от Y 124 кривые намагниченности  $M(T)$  для образцов Gd 124 имеют парамагнитный знак в полях  $H > 0.35$  Т. Гистерезисная кривая отражает величину захваченного потока и сосуществование сверхпроводимости и парамагнетизма иона Gd. Зависимости  $\Delta M(H)$  имеют монотонно уменьшающийся характер. Для Y 124 величина  $\Delta M(H)$  больше, чем для Gd 124 во всем интервале полей. При 40 К эти зависимости мало отличаются. Величина  $\Delta M$  уменьшается нелинейно с ростом температуры.

Плотность критического тока оценивалась на основе модели критического состояния Бина [4] с помощью зависимостей  $\Delta M(H)$  и  $\Delta M(T)$ . Для оценки критического тока  $j_c$  использовалось следующее выражение:

$$j_c \approx -30[M^{\uparrow}(H) - M_1(H)]/d,$$

где  $M^{\uparrow}(H)$  и  $M_1(H)$  — намагниченности при увеличении и уменьшении магнитного поля соответственно,  $d$  — диаметр гранул и 30 — геометрический фактор ( $j_c[\text{A} \cdot \text{cm}^{-2}]$ ,  $M[\text{cmu} \cdot \text{cm}^{-3}]$ ,  $d[\text{cm}]$ ).

Используя типичный средний размер гранул в образце ( $10 \mu\text{m}$ ), получаем величину  $j_c$ , характеризующую плотность внутригранульного критического тока.

На рис. 2 показывает полевою зависимость плотности внутригранульного критического тока для Gd- и Y-образцов при температурах 4.2 и 40 К, которая изменяется примерно в три раза в измеренном интервале полей. Величины  $j_c$  увеличиваются почти на порядок при уменьшении температуры от 40 до 4.2 К. Величины  $j_c$  для Y 124 выше, чем для Gd 124.

### Список литературы

- [1] Morris D.E., Asmar N.G., Wei J.Y., Sid R.L., Nickel J.H., Scott J.S., Post J.E. *Physica C* **162-164**, 955 (1989).
- [2] Yaegashi Y., Adashi S., Wada T., Takano S., Yamauch H. *Physica C* **190**, 4, 433 (1992).
- [3] Miyatake T., Yamaguchi K., Takata T., Gotoh S., Tanaka S., Koshizuka N. *Physica C* **160**, 5/6, 541 (1989).
- [4] Bean C.P. *Phys. Rev. Lett.* **8**, 6, 250 (1962).