

Наблюдение эффекта Мейснера в медьсодержащих фуллеридах

© А.В. Приходько, О.И. Коньков

Санкт-Петербургский государственный технический университет,
195251 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 9 ноября 2000 г. Принята к печати 15 ноября 2000 г.)

Экспериментально установлено существование эффекта Мейснера в поликристаллических медьсодержащих фуллеридах, изготовленных по новой технологии. Определена критическая температура перехода в сверхпроводящее состояние — 110 К.

Одним из основных свойств сверхпроводника является "выталкивание" магнитного поля из его объема при температурах меньше критической (эффект Мейснера). Этот эффект является основным "тестом" на сверхпроводимость и обычно демонстрируется на опытах с "парящим" магнитом над поверхностью низкотемпературных и высокотемпературных сверхпроводников [1]. Для регистрации силы, действующей на магнит, используют различные типы весов и разнообразные методы компенсации, например, электромагнитный. К подобным экспериментам можно отнести исследование низкочастотных осцилляций проводимости при левитации микросферического магнита между пластинами из высокотемпературного сверхпроводника (ВТСП) [2]. Намагниченное тело в неоднородном магнитном поле испытывает действие силы, направленной в сторону наибольшего изменения магнитной индукции и пропорциональной магнитной восприимчивости χ и объему V [3],

$$F = AV\chi,$$

где $A = BdB/dr$, B — магнитная индукция.

На этом принципе основано действие симметрического метода измерения магнитной восприимчивости (метода Фарадея) слабомагнитных образцов. Пусть, например, образец имеет форму удлиненного параллелепипеда, и один его конец находится в поле с магнитной индукцией B_1 , а другой — с B_2 . Тогда на образец действует сила, направленная в сторону максимальной индукции B_2 ,

$$F = (1/2)S\chi(B_2^2 - B_1^2),$$

где S — площадь поперечного сечения образца.

Похожая ситуация может быть реализована в случае эксперимента с "парящим" магнитом, когда магнитная индукция (B_2) существует только на поверхности (в слое толщиной, равной глубине проникновения поля), внутри сверхпроводящего образца магнитная индукция (B_1) равна нулю. В итоге магнит выталкивается в сторону величины большей магнитной индукции. При приближении температуры (T) к критической (T_c) глубина проникновения стремится к бесконечности — магнитное поле все глубже проникает в сверхпроводник, и эффект левитации магнита пропадает. В данной работе предлагается реализация эксперимента, когда сверхпроводящий

образец остается неподвижным, а выталкивается магнит за счет эффекта Мейснера в объеме образца. В качестве исследуемых образцов выбраны медьсодержащие фуллереновые поликристаллы. Ранее нами на основании комплекса исследований [4] было сделано заключение о возможности существования сверхпроводниковых свойств медьсодержащих фуллеридов.

Цель работы заключается в обнаружении эффекта Мейснера в образцах медьсодержащих фуллеридов.

В работе исследовались поликристаллические образцы, приготовленные с применением модифицированного процесса сублимации исходного фуллеренового порошка и мелкодисперсной меди в термокамере малых размеров [5]. При возгонке в термокамере использовалось 10 мг фуллеренового порошка и 10 мг мелкодисперсной меди. Усредненное содержание меди в образце составило не более $10^{-2}\%$ по массе.

Размеры медьсодержащих фуллереновых поликристаллических образцов — диаметр 8 мм, толщина 2 мм; размеры отдельных монокристаллов — диаметр до 0.2 мм, максимальная длина до 2 мм (через всю толщину мембраны в ее центре).

Измерение температурных зависимостей выталкивающей силы поликристаллов и для сравнения образцов сверхпроводящей керамики $YBa_2Cu_3O_{7+\delta}$ производилось при помощи модифицированного измерителя толщины [6], работающего по принципу разбаланса частот кварцевых генераторов (частота генерации каждого $f = 1$ МГц). Относительное изменение частоты df/f линейно зависит от массы кварца [6]. Это обстоятельство позволяет использовать кварц в качестве индикатора касания "левитирующего" магнита. Схема эксперимента представлена на рис. 1. В качестве магнита

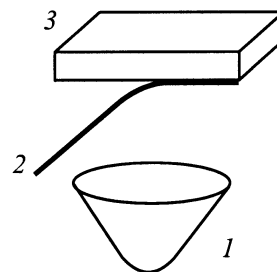


Рис. 1. Схематическое изображение измерительной установки: 1 — образец, 2 — ферромагнетик, 3 — кварц.

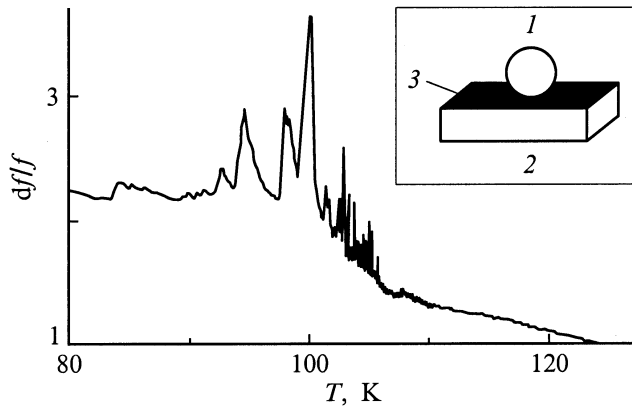


Рис. 2. Зависимость df/f от температуры для металлического шарика. На вставке — расположение шарика 1 над поверхностью кварца 2, между ними слой жидкого азота 3.

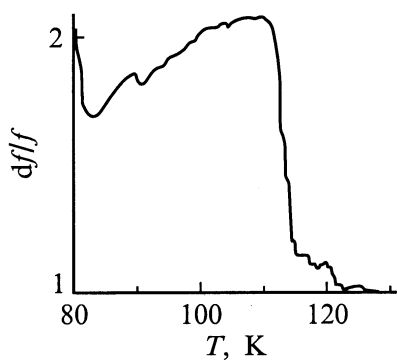


Рис. 3. Зависимость df/f от температуры для образца медьсодержащего фуллерида.

использовалась тонкая ферромагнитная пленка на лавсановой основе, намагниченная в постоянном магнитном поле 59 мТл, толщиной 12 мкм, длиной 6 мм, шириной 0.1 мм. При появлении силы, связанной с эффектом Мейснера в образце 1, происходит касание ферромагнитной пленкой 2 поверхности кварца 3, и частота увеличивается. Калибровка установки осуществлялась следующим образом. Пусть между поверхностью кварца и металлическим шариком — эталоном находится слой жидкого азота (см. вставку на рис. 2). Шарик находится в поле тяжести, направленном нормально к поверхности кварца. При естественном испарении в момент, когда слой азота испарится, шарик под действием силы тяжести упадет на поверхность кварца и частота изменится. На рис. 2 представлена температурная зависимость относительного изменения частоты df/f для шарика диаметром 4.8 мм и массой 450 мг. Таким образом, величине $F = 4.4 \cdot 10^{-2}$ дин соответствует изменение частоты $df/f = 2.2$. Область неустойчивости сигнала в температурном интервале вблизи $T = 100$ К связана с интенсивным кипением жидкого азота.

Результаты основного эксперимента представлены на рис. 3. Критическая температура перехода в сверхпроводящее состояние T_c для образца медьсодержащего фуллерида составляет 110 К. Для ВТСП-керамики получено значение $T_c = 91$ К, что не отличается от известных значений критических температур керамик аналогичного состава. Значение критической температуры медьсодержащего фуллерида соответствует измеренным другими методами [7]. Поведение частоты ниже критической температуры можно сравнить с данными магнитных экспериментов: например, в измерениях динамической магнитной восприимчивости [7] была обнаружена широкая "диамагнитная яма" при температурах 80–98 К в образцах толщиной не более 0.5 мм. В нашем случае уменьшение частоты, которое можно связать с изменением магнитной восприимчивости, происходит в интервале температур $T = 80$ –110 К. Оценим объем образца, участвующий в создании выталкивающей силы. При $\chi = -6 \cdot 10^{-5}$ см³/г, измеренной методом Фарадея [7], учитывая реальные размеры образца и индукцию магнитного поля ферромагнетика, $BdB/dx = 2.5 \cdot 10^6$ Гс²/см, с учетом формулы (1) имеем для искомого объема образца — $2.9 \cdot 10^{-4}$ см³. Объем отдельного монокристалла равен $6.28 \cdot 10^{-5}$ см³. Таким образом, в реализации отталкивающей силы участвует не весь образец, а примерно пять отдельных монокристаллов. С учетом того, что объем всего образца составляет 10^{-1} см³, вклад в проявление эффекта Мейснера дает, по нашим оценкам, примерно тысячная часть объема образца или 0.1% по массе. Причем доля каждого отдельного монокристалла составляет 0.01%, т. е. примерно соответствует процентному содержанию меди в образце.

Таким образом, экспериментально установлено существование эффекта Мейснера в медьсодержащих фуллеридях, изготовленных по новой технологии, и определенное значение критической температуры: $T_c = 110$ К.

Работа поддержана Научным советом по направлению "Фуллерены и атомные кластеры" (проект 98063 "Градиент") и Научной программой Министерства образования "Университеты России — фундаментальные исследования".

Список литературы

- [1] А.П. Малоземофф. В сб.: *Физические свойства высокотемпературных сверхпроводников*, под ред. Д.М. Гинзберга (М., Мир, 1990) с. 102.
- [2] R. Grosser, J. Jager, J. Betz, W. Schoepe. *Appl Phys. Lett.*, **67** (16), 2400 (1995).
- [3] Е.Н. Чечурина, А.П. Щелкин. *Завод. лаб.*, **45** (10), 901 (1979).
- [4] V.F. Masterov, A.V. Prichodko, O.I. Konkov. *Fullerene Sci. Technol.*, **6** (3), 481 (1998).
- [5] В.Ф. Мастеров, А.В. Приходько, О.И. Коньков, В.Ю. Давыдов. Патент на изобретение № 2135648. *Бюлл.* № 24, 27.08.99.

- [6] B. Huner, P. Klinkhachorn, E.B. Overton. Rev. Sci. Instrum., **59** (6), 983 (1988).
- [7] V.F. Masterov, A.V. Prikhodko, V.V. Romanov, K.F. Stelmakh, O.I. Konkov. Book of abstracts IWFA99 (St. Petersburg, 1999) p. 204.

Редактор Л.В. Шаронова

Meissner effect in cuprates fullerides

A.V. Prikhodko, O.I. Konkov

Saint-Petersburg State Technical University,
195251 St. Petersburg, Russia

Abstract Meissner effect is demonstrated in polycrystalline cuprates fullerides. The samples were grown by using a new technique. It was shown that the critical temperature $T_c = 110$ K.