

05.2;05.4;12

ИССЛЕДОВАНИЕ АНОМАЛЬНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ ВаКВіО

© С.Н.Барило, В.И.Гатальская, Н.А.Каланда,
Л.А.Курочкин, А.С.Шестак, С.В.Ширяев

Одной из наиболее интересных проблем высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) является аномальное поведение намагниченности ВТСП монокристаллов, связанное с появлением дополнительных максимумов на гистерезисных петлях в промежуточных полях $H_{c1} < H_p < H_{c2}$. Это явление, получившее название фиштейл, или пик-эффект, проявляется различным образом в анизотропных со слоистой структурой кристаллах системы 123 ($YBaCuO$) и 2212 ($BiSrCaCuO$) [1]. Несмотря на живейший интерес к этой проблеме, исчерпывающего объяснения этого явления нет. Нами впервые обнаружен и систематически исследован фиштейл-эффект в монокристаллах ВаКВіО, характеризующихся простой кубической решеткой, отсутствием SuO_2 плоскостей и магнитных ионов в решетке. Эти особенности кристаллов ВаКВіО могут быть чрезвычайно полезными и важными для понимания природы фиштейла в ВТСП материалах с целью успешного практического их применения.

Монокристаллы $Ba_{1-x}K_xBiO_{3+y}$ были выращены методом электрохимического осаждения [2]. Содержание калия варьировалось в широких пределах ($x = 0.16-0.58$). Кристаллы с типичными размерами $2 \times 2 \times 1$ мм обладали значениями $T_c \approx 30$ К по данным индуктивных измерений. Измерения намагниченности кристаллов проводились с помощью автоматизированного вибрационного магнитометра в полях до 6 Тл в температурном интервале 4.2 К– T_c . Петли гистерезиса $M(B)$ записывались при непрерывном изменении магнитного поля в режиме ZFC. Величины полей необратимости B_{irr} определялись по исчезновению намагниченности при фиксированной температуре. Значения плотности критического тока J вычислялись по модели Бина.

Для обычных полевых зависимостей $M(B)$ в монокристаллах с $x = 0.3$ характерно монотонное убывание намагниченности с ростом магнитного поля во всем исследованном интервале полей и температур [3]. Величины J_c при 4.2 К составляли $4.2 \cdot 10^4$ А · см⁻² в нулевых полях и $3 \cdot 10^3$ А · см⁻² при 3 Тл. Для полей выше 0.1 Тл поля необратимости аппроксимировались зависимостью $B_{irr} = B_{irr}(0)(1 - T/T_c)^n$,

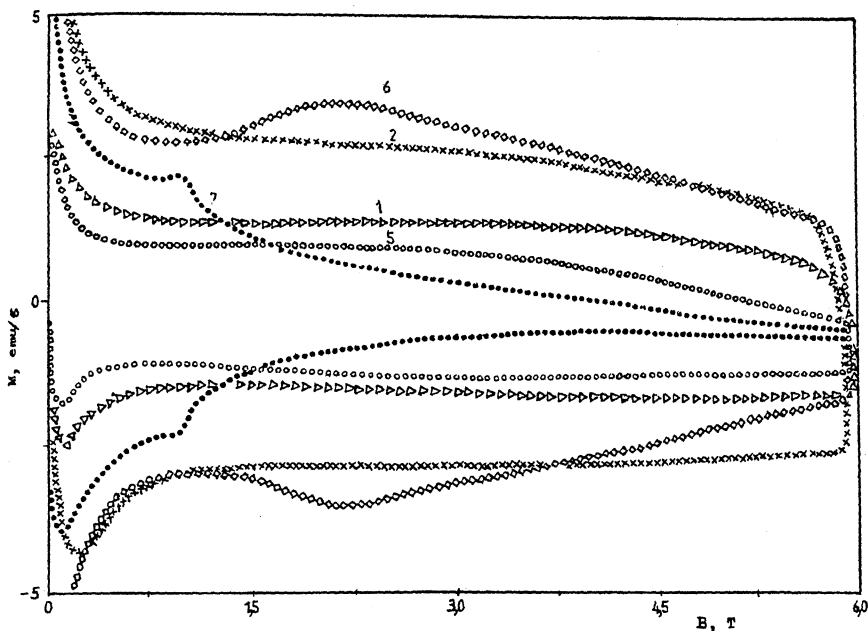


Рис. 1. Петли гистерезиса для кристаллов $Ba_{1-x}K_xBiO_{3+y}$ с различным содержанием калия: $x = 0.31$ (1), 0.34 (2), 0.39 (5), 0.42 (6), 0.48 (7). $T = 4.2$ К.

где $n = 1.5$ и $B_{irr}(0) \approx 17$ Тл [3]. В то же время в кристаллах с повышенным содержанием калия ($x > 0.3$) наблюдается аномальное поведение намагниченности, т. е. фиштейл-эффект. Для таких кристаллов уже не характерно резкое падение намагниченности в малых магнитных полях. Разность $\Delta M(B)$ между значениями намагниченности в возрастающих и убывающих полях остается существенной вплоть до 6 Тл ($T = 4.2$ К), значения B_{irr} сдвигались в сторону высоких полей, и при низких температурах значения B_{irr} заметно превышали величину 6 Тл. На рис. 1 приведены положительные ветви петель гистерезиса $M(B)$ при 4.2 К для кристаллов 1 ($x = 0.33$), 2 ($x = 0.34$), 5 ($x = 0.39$), 6 ($x = 0.42$), 7 ($x = 0.48$). Величины J_c (4.2 К) в нулевых магнитных полях достигали $6 \cdot 10^4$ А · см⁻² (для образца с $x = 0.37$), положение максимума на кривых $M(B)$ соответствовало 4 Тл. Образцы с $x = 0.42$ и 0.48 обнаруживали явно выраженный максимум в магнитных полях 2.2 и 1 Тл соответственно. Для этих кристаллов величины плотностей критического тока были в 5–6 раз меньше, чем для кристаллов с $x = 0.37$. Температурные измерения гистерезисных петель показали, что фиштейл-эффект наблюдается во всем

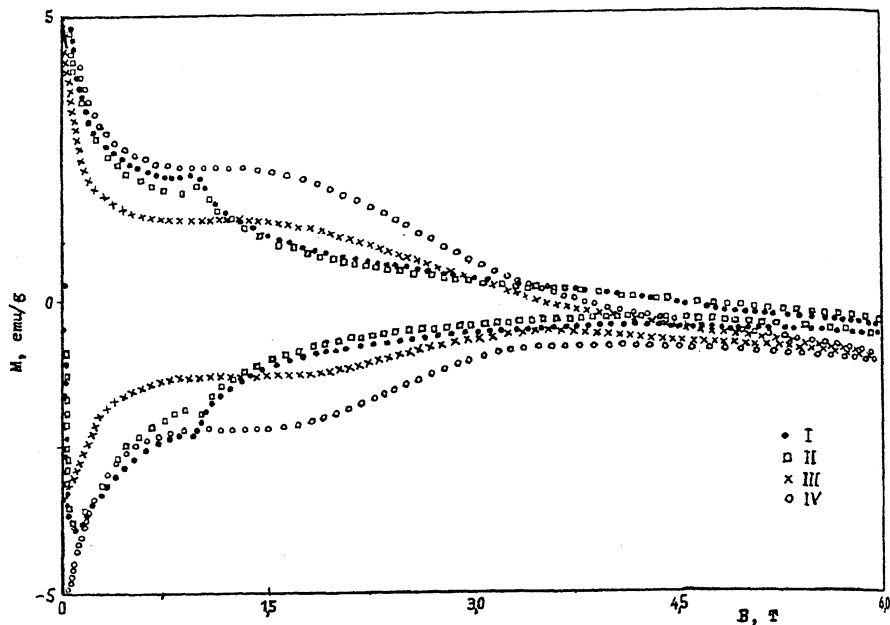


Рис. 2. Влияние отжига на полевые зависимости намагниченности кристалла 7 ($x = 0.48$): I — исходный кристалл; II — отжиг в окислительной среде, $T = 425^\circ\text{C}$, $P_{\text{O}_2} = 1\text{ атм}$, 1.5 ч; III, IV — последующий отжиг в восстановительной среде, $T = 425^\circ\text{C}$, 10^{-2} мм рт. ст., 0.5 ч (III) и 24 ч (IV). $T = 4.2\text{ К}$.

исследованном температурном интервале и положение максимума сдвигается в область меньших полей с ростом температуры. В малых магнитных полях значения плотности критического тока уменьшаются с ростом температуры, но возрастают в области аномального поведения намагниченности. Например, для монокристалла с $x = 0.42$ при 4.2 К гистерезис приблизительно в два раза больше при 2 Тл, чем при 1 Тл (рис. 1).

Несмотря на то что фиштейл-эффект обнаруживался только в кристаллах с повышенным содержанием калия ($x \geq 0.34$), источник аномального поведения намагниченности в системе ВаКВіО не следует, вероятно, связывать с пространственно неоднородным распределением калия в кристалле. Кристаллическая структура ВаКВіО с $x > 0.36$ является строго кубической, и в отличие от кристаллов с содержанием калия $x = 0.2-0.36$ структура кристаллов с повышенным содержанием калия не обнаруживает фазового разделения на стехиометрические фазы с $x = 0.08$ и $x = 0.37$ [4]. В работе [5] было высказано предположение, что фиштейл-эффект в монокристаллах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ связан

с существованием двух типов центров пиннинга вихревой решетки с различными значениями: $T_c = 60$ К для $y = 6.5$ и $T_c = 90$ К ($y = 7.0$). Для первой области характерны наполовину пустые кислородные цепочки, для второй — полностью заполненные цепочки кислорода. Фиштейл можно связать с пиннингом магнитного потока упорядоченными областями с дефицитом кислорода, с T_c и H_{c2} меньшими, чем у матрицы. Когда температура и магнитное поле проходят через значения критических параметров этих областей, последние становятся нормальными и являются эффективными центрами пиннинга вихревой решетки, так что плотности критического тока возрастают и максимум J_c достигается тогда, когда все низкотемпературные (по T_c) области переходят из сверхпроводящего в нормальное состояние. В предположении, что H_p есть усредненное верхнее критическое поле для низкотемпературных (по T_c) областей, следует ожидать, что с повышением температуры H_p будет смещаться в область меньших полей.

В процессе выращивания кристаллов ВаКВіО образуется избыточный кислород, и интенсивность этого процесса тем выше, чем выше содержание калия [2]. После отжига в кислородной среде максимум H_p для образцов с $x = 0.42$ и $x = 0.48$ движется в область больших магнитных полей. Последующий отжиг при 420°C и 10^{-2} мм рт. ст., также приводит к заметному сдвигу положения максимума в область высоких полей (рис. 2). На основании полученных данных о температурных полевых зависимостях намагниченности кристаллов ВаКВіО с различным содержанием калия, в том числе в процессе отжига в окислительной и восстановительной средах, нами делается вывод о возможном источнике фиштейла в изотропных безмедных висмутатах ВаКВіО — областях с неоднородным распределением сверхстехиометрического кислорода в кристаллах. Эти области, как и в случае YBaCuO системы, обладают критическими параметрами T_c и H_{c2} , меньшими, чем у матрицы. В то же время следует упомянуть работу [6], в которой аномальное поведение намагниченности в YBaCuO монокристаллах связывается с возникновением обратимых зон в кристалле. Эта модель требует проверки с целью применения ее к системе ВаКВіО.

Список литературы

- [1] Yang G., Abell J.S., Gough C.E. // IEEE Trans. Appl. Supercond. 1993. V. 3. N 1. P. 1671-1674.
- [2] Барило С.Н., Жигунов Д.И., Курочкин Л.А. и др. // СФХТ. 1992. В. 5. С. 1084-1086.
- [3] Gatalskaya V.I., Gatalskii G.V., Kurochkin L.A. et al. // Phys. Stat. Sol. (a). 1994. V. 143. N 1. P. 123-129.

- [4] *Iyo A., Uwe H.* // Adv. in Supercond. V (Proc. 5th Intern. Symp. on Supercond. Tokyo, 1992). 1992. P. 211-213.
- [5] *Vargas J.L., Larbalestier D.C.* // Appl. Phys. Lett. 1992. V. 60. N 2. P. 174-176.
- [6] *Klein L., Jacoby E.R., Yeshurun Y. et al.* // Phys. Rev. B. 1994 V. 49. N 6. P. 4403-4406.

Институт физики твердого тела
и полупроводников АН Беларуси
Минск

Поступило в Редакцию
13 ноября 1996 г.

