

- [5] Howard W. E., Fang F. // Phys. Rev. B. 1976. V. 13. N 6. P. 2519—2523.
 [6] Gusev G. M., Kvon Z. D., Ovsyuk V. N. // Sol. St. Commun. 1984. V. 49. N 9. P. 899—901.
 [7] Heitmann D., Mackens U. // Phys. Rev. B. 1986. V. 33. N 12. P. 8269—8283.
 [8] Ando T. // Phys. Rev. B. 1976. V. 13. N 8. P. 3468—3477.
 [9] Пикус Г. Е. // ФТТ. 1977. Т. 19. № 6. С. 1653—1664.
 [10] Алтухов П. Д., Пикус Г. Е., Рогачев А. А. // ФТТ. 1978. Т. 20. № 2. С. 489—500.

Физико-технический институт
 им. А. Ф. Иоффе РАН
 Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
 29 апреля 1992 г.

УДК 538.652

© Физика твердого тела, том 34, № 9, 1992
 Solid State Physics, vol. 34, N 9, 1992

МАГНИТОУПРУГИЕ КОНСТАНТЫ КОБАЛЬТА

В. Ф. Таборов, В. Ф. Тарасов

При измерении упругих потерь в Со необходимо знать его магнитоупругие константы. Из литературы нам известны только константы Ni и Fe, в связи с чем был произведен расчет магнитоупругих констант Со. Для этого запишем выражение полной свободной энергии магнитной анизотропии монокристалла Со, который не подвергается никаким внешним напряжениям [1]

$$F_a = F_k + F_y + F_{my}^i. \quad (1)$$

Здесь F_k — энергия магнитной анизотропии [2]

$$F_k = K_0 + K_1\alpha_3^2 + K_2\alpha_3^4, \quad (2)$$

где K_0 — нулевая энергия магнитной анизотропии; K_1, K_2 — первая и вторая константы магнитной анизотропии; α_3 — косинус угла между легкой осью намагниченности в Со и направлением вектора намагниченности M_x (индексы осей $x = 1, y = 2, z = 3$, легкая ось Со направлена по оси z). Упругую энергию F_y запишем в виде [3]

$$F_y = \frac{1}{2} c_{11} (e_{xx}^2 + e_{yy}^2) + \frac{1}{2} c_{33} e_{zz}^2 + c_{12} e_{xx} e_{yy} + c_{13} (e_{xx} + e_{yy}) e_{zz} + \frac{1}{2} c_{44} (e_{yz}^2 + e_{zx}^2) + \frac{1}{4} (c_{11} - c_{12}) e_{xy}^2, \quad (3)$$

где c_{ij} — упругие постоянные Со, а e_{jk} — деформации. Согласно работе [3], F_{my} — магнитоупругая энергия, которая возникает от магнитострикции при спонтанной намагниченности ниже точки Кюри [4]

$$F_{my} = (b_{11}e_{xx} + b_{12}e_{yy})\alpha_1^2 + (b_{11}e_{yy} + b_{12}e_{xx})\alpha_2^2 + \{b_{33}e_{zz} + b_{31}(e_{xx} + e_{yy})\}\alpha_3^2 + (b_{11} - b_{12})e_{xy}\alpha_1\alpha_2 + \frac{1}{2}b_{44}(e_{xz}\alpha_1\alpha_3 + e_{yz}\alpha_2\alpha_3). \quad (4)$$

Здесь b_{jk} — магнитоупругие постоянные Со, которые нужно определить. При всех значениях констант K_j, c_{ik}, b_{ai} , которые имеет Со, ниже точки Кюри устанавливается такая ориентация α ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$) вектора M_x и такие деформации

e_{ji} , которые приводят к минимуму энергии F_a . Для равновесного положения вектора намагниченности производная F_a по деформациям равна нулю

$$\frac{\partial F_a}{\partial e_{ik}} = 0, \quad i, k = 1, 2, 3. \quad (5)$$

Получаем шесть уравнений, равных нулю и связывающих между собой магнитоупругие постоянные b_{ij} , упругие постоянные c_{kl} , деформации e_{sj} и направляющие косинусы α_{ln} . Подставив в эти уравнения значения упругих постоянных c_{jk} для Со [5], получим шесть уравнений, в каждом из которых спонтанные деформации являются линейными функциями магнитоупругих констант и направляющих косинусов

$$e_{sj} = \varphi(b_{ij}, \alpha_{ln}). \quad (6)$$

Чтобы найти из этих уравнений магнитоупругие константы, необходимо знать деформации, возникающие в Со при его намагничивании в любом направлении. Для этого воспользуемся формулой Мэзона [6]

$$\begin{aligned} \lambda = & \lambda_a [(\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2)^2 - (\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2) \alpha_3\beta_3] + \lambda_b [(1 - \alpha_3) \times \\ & \times (1 - \beta_3) - (\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2)^2] + \lambda_c [(1 - \alpha_3) \beta_3^2 - (\alpha_1\beta_1 + \\ & + \alpha_2\beta_2) \alpha_3\beta_3] + 4\lambda_d (\alpha_1\beta_1 + \alpha_2\beta_2) \alpha_3\beta_3. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь, $\lambda_a, \lambda_b, \lambda_c, \lambda_d$ — константы магнитоупругости, измеренные в определенных направлениях [7]; α_j — косинус угла между вектором намагниченности и соответствующей координатной осью; β_j — косинус угла между направлением деформации и соответствующей осью. Задав угол β ($\beta_1, \beta_2, \beta_3$) по этой формуле, можно вычислить магнитоупругость λ по этому направлению, при этом указав угол α ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$) — ориентацию M_s . Чтобы знать, какие виды деформаций e_{ij} будут иметь место при данной магнитоупругости λ , необходимо воспользоваться формулой Киттеля [8]

$$\lambda = \sum_{i,j} e_{ij} \beta_i \beta_j, \quad i, j = 1, 2, 3. \quad (8)$$

Если известно направление β ($\beta_1, \beta_2, \beta_3$) магнитоупругости λ , то из формулы (8) видно, какие виды деформаций имеются для данного направления, т. е. известны индексы i, j , а сумма этих деформаций при заданном α ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$) составит величину, которую можно определить из формулы (7). В формуле (7) при $\alpha_3 = 1$, т. е. когда вектор намагниченности M_s расположен вдоль легкой оси в Со, относительная деформация λ в любом направлении будет равна нулю; поэтому, задаваясь относительно легкой оси любыми направлениями α и β , можно вычислить деформации e_{ij} при любых α и β . Подставляя вычисленные значения e_{ij} в уравнение (6), при соответствующих α можно определить магнитоупругие константы. Не приводя здесь промежуточных численных расчетов, укажем на окончательный результат. Магнитоупругие константы, выраженные в эрг·см⁻³, имеют следующие величины: $b_{11} = -5.7 \cdot 10^7$, $b_{12} = 1.3 \cdot 10^7$, $b_{33} = 2.2 \cdot 10^8$, $b_{31} = -2.5 \cdot 10^8$, $b_{44} = 8.2 \cdot 10^8$. Как видно, магнитоупругие константы Со имеют большую величину, чем магнитоупругие константы Ni и Fe [8].

Список литературы

- [1] Вонсовский С. В., Шур Я. С. Ферромагнетизм. М., 1948. 269 с.
- [2] Ферромагнитный резонанс / Под ред. С. В. Вонсовского. М., 1961. 45 с.

- [3] Най Дж. Физические свойства кристаллов. М., 1967. 166 с.
 [4] Feders P. A. // Phys. Rev. B. 1974. V. 9. N 7. P. 3835—3844.
 [5] Труэл Р., Эльбаум Ч., Чип Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела: Пер. с англ. М., 1972. 261 с.
 [6] Mason W. P. // Phys. Rev. 1954. V. 96. N 2. P. 302—310.
 [7] Bozorth R. M. // Phys. Rev. 1954. V. 96. N 2. P. 311—316.
 [8] Физика ферромагнитных областей: Пер. с англ. М., 1951. 55 с.

Институт металлофизики АН Украины
 Киев

Поступило в Редакцию
 4 мая 1992 г.

УДК 539.219.3

© Физика твердого тела, том 34, № 9, 1992
 Solid State Physics, vol 34, N 9, 1992

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА ДИФфуЗИЮ СЕРЕБРА В КЕРАМИКЕ $YBa_2Cu_3O_{7-y}$

С. Ф. Гафаров, Т. Д. Джафаров, Г. С. Куликов, Р. Ш. Малкович,
 Е. А. Скорятина, В. П. Усачева

Исследование влияния ионизирующего, в частности гамма-облучения, на высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП) представляет интерес как с точки зрения возможностей улучшения сверхпроводящих характеристик и повышения термической и радиационной стабильности ВТСП-материала, так и с точки зрения совершенствования технологии его изготовления. Гамма-облучение способствует формированию сверхпроводящей фазы $YBa_2Cu_3O_{7-y}$ и гомогенизации ВТСП-керамики [1], а также ускоряет процессы атомных перестроек [2], кристаллизации и модификации кристаллической структуры, изменяя при этом температурный интервал структурно-фазовых преобразований [1–3]. Гамма-облучение стимулирует процесс десорбции кислорода, а при больших дозах приводит к радиационно-химическому разложению материала [1]. Отмечалась также роль внешней среды в процессе облучения [4]: в то время как в аргоне или кислороде гамма-облучение сравнительно слабо влияет на свойства сверхпроводника $YBa_2Cu_3O_{7-y}$, облучение на воздухе приводило при больших дозах к деградации материала и полной потере сверхпроводимости.

В этой связи представляло интерес исследование влияния гамма-облучения на структурно-чувствительный процесс — диффузию в ВТСП-материале. Такое исследование было предпринято нами для серебра, диффундирующего в спеченую сверхпроводящую пористую керамику системы $YBaCuO$. Ранее нами было установлено, что серебро обладает высокой диффузионной подвижностью в этом материале [5].

В настоящей работе использовались плоскопараллельные образцы размером $\sim 8 \times 8 \times 1.5$ мм, изготовленные из материала, полученного твердофазным синтезом. Пористость образцов составляла 30—34%. Источником диффузии служил напыленный в вакууме на одну из граней образца тонкий слой серебра, меченного радиоактивным изотопом ^{110m}Ag . Диффузионный отжиг проводился на воздухе при 370, 400 и 500 °С или в вакууме (при 400 °С) в печи, помещенной в установку гамма-облучения (источник облучения ^{60}Co , интенсивность 140 Рад·с⁻¹). Продолжительность отжига от 24 до 137 ч. Одновременно при тех же температурах и времени отжигались контрольные, не подвергавшиеся облучению образцы. После отжига с образцов сошлифовывались слои толщиной 2—5 мкм и измерялась их радиоактивность. Коэффициент диффузии вычислялся по объемному участку концентрационного профиля серебра [5].