

точно хорошо совпадает с экспериментальными точками в области температур, не слишком близкой к T_c .

Оценим абсолютную величину рассматриваемого эффекта. Полагая типичные для керамики $YBa_2Cu_3O_7$ значения $\lambda=10^{-5}$ см, $\sigma_c=10^4$ (Ом·см) $^{-1}$, $H_c=10^4$ Э, получаем во внешнем поле $H=1$ Э при $T=4.2$ К $R(H)=10^{-7}$ Ом, что не слишком сильно отличается от эксперимента с учетом грубого характера выполненных оценок.

Авторы благодарят Ю. М. Гальперина за обсуждение работы.

Л и т е р а т у р а

- [1] Reffori C., Dan Davidov, Belaish J., Felner J. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. N 7. P. 4028—4031.
- [2] Bhat S. V., Ganduly P., Rao C. N. R. // Pramana J. Phys. 1987. V. 28. N 14. P. L425—L429.
- [3] Мастеров В. Ф., Егоров А. И., Герасимов Н. П. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. № 7. С. 289—292.
- [4] Melvill P. H. // J. Phys. C. Sol. St. Phys. 1971. V. 4. N 17. P. 2833—2848.
- [5] Gittleman J. I., Rosenblum B. // Phys. Rev. Lett. 1966. V. 16. N 18. P. 734—736.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
20 июля 1988 г.

УДК 537.622.6 : 539.143.48

Физика твердого тела, том 31, в. 1, 1989
Solid State Physics, vol. 31, № 1, 1989

О СУЩЕСТВОВАНИИ СПИНОВОЙ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ В ИТРИЙ-КРЕМНИЕВЫХ ФЕРРИТАХ-ГРАНАТАХ

В. А. Бородин, В. Д. Дорошев, Э. Н. Кузнецов, В. А. Рубан,
М. М. Савоста, Т. Н. Тарасенко

Интерес к исследованию магнитной структуры нескомпенсированных иттрий-кремниевых ферритов-гранатов $Y_3Fe_{5-x}Si_xO_{12}$, содержащих магнитоактивные ионы Fe^{3+} и Fe^{2+} , возник при обнаружении в этих магнетиках Геллером с сотрудниками методом эффекта Мессбауэра [1, 2] последовательности двух спонтанных ориентационных фазовых переходов (ОФП) II рода. Так, для составов $0.18 \leq x \leq 0.4$ при понижении температуры наблюдается ОФП от высокосимметричных магнитных фаз $\Phi_{\langle 111 \rangle}$ к некоторым неидентифицированным угловым фазам Φ_{\perp} , а при дальнейшем понижении температуры в образцах с $0.25 \leq x \leq 0.4$ происходит второй ОФП к низкотемпературным фазам $\Phi_{\langle 100 \rangle}$. Температуры этих ОФП, а следовательно, и вид $(x-T)$ -фазовой диаграммы были определены в работах [1, 2] на основании качественных наблюдений трансформаций мессбауэровских спектров с температурой, при этом количественная математическая обработка спектров не производилась. По-видимому, такой обработке препятствовало наличие ионов Fe^{2+} , для которых анизотропные составляющие сверхтонкого поля должны иметь резкую температурную зависимость, а также сложное катионное распределение.¹ Теоретическая интерпретация полученных результатов [1, 2] на основании одноионной модели Слончевского [3], удовлетворительно описывающей магнитную анизотропию ферритов, содержащих ионы Fe^{2+} , оказалась затруднительной.² Поэтому в работе [4] для объяснения ОФП в гранатах

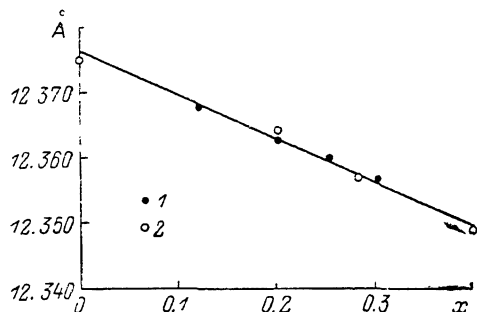
¹ Согласно [2], нескомпенсированные иттрий-кремниевые гранаты содержат катионные и анионные вакансии, поскольку число ионов Fe^{2+} составляет $\sim 2/3$ от числа ионов Si^{4+} .

² Только малообоснованное предположение [2] о неоднородном распределении ионов Fe^{2+} по октаэдрическим позициям при высоких температурах позволяет объяснить плавную переориентацию.

$Y_3Fe_{5-x}Si_xO_{12}$ была развита в некоторой степени искусственная двухцентровая теоретическая модель, согласно которой высокотемпературный ОФП является переходом II рода, в то время как низкотемпературный ОФП представляет собой переход I рода.

С целью уточнения рода ОФП в иттрий-кремниевых ферритах-гранатах и для идентификации угловой фазы нами была применена методика ЯМР ^{57}Fe , имеющая гораздо более высокое разрешение по сверхтонкому полю, чем методика эффекта Мессбауэра, и ранее успешно использовавшаяся для детального изучения ОФП в ферритмагнитных гранатах [5, 6]. При этом дополнительное упрощение интерпретации спектров ^{57}Fe достигается за счет наблюдения только сигналов от ионов Fe^{3+} , поскольку времена спин-спиновой релаксации ядер ионов Fe^{2+} малы (меньше «мертвого» времени спектрометра ЯМР).

Поликристаллические образцы $Y_3Fe_{5-x}Si_xO_{12}$ ($x=0, 0.2, 0.28, 0.4$) были синтезированы по стандартной керамической технологии, практически совпадающей с описанной в работе [2], из реактивов квалификации ОСЧ. Фазовый состав образцов и параметр кристаллической решетки



исследовались рентгенографически. Съемки осуществлялись на аппарате ДРОН-3 в К-излучении железа. Для контроля фазового состава использовался ин-

Рис. 1. Зависимость параметра решетки от содержания кремния в ферритах-гранатах $Y_3Fe_{5-x}Si_xO_{12}$.

1 — из [2], 2 — синтезированные образцы.

тервал брэгговских углов $30^\circ \leq 2\theta \leq 50^\circ$, поскольку в этом интервале расположены наиболее интенсивные линии фазы граната, отвечающие отражениям от кристаллографических плоскостей с индексами (400), (420), (332), (422). Установлено, что все синтезированные образцы являются однофазными. Для определения параметра решетки использовалась линия (12, 2, 2) под $2\theta \approx 150^\circ$. Параметр решетки определен с точностью не хуже $\pm 0.001 \text{ \AA}$. Зависимость параметра решетки от состава приведена на рис. 1. Здесь же нанесены данные, табулированные в работе [2]. Наблюдается хорошее совпадение по параметру кристаллической решетки синтезированных поликристаллических образцов с теми, на которых были проведены мессбауэровские исследования [1, 2].

Спектры ЯМР ^{57}Fe *a*- и *d*-ионов Fe^{3+} в доменах гранатов $Y_3Fe_{5-x}Si_xO_{12}$ (рис. 2) регистрировались по методу спинового эхо Хана, измерения выполнены при гелиевой температуре 4.2 К в нулевом внешнем поле. Согласно ориентационной (*x*-*T*)-фазовой диаграмме [2], в образцах с $x=0.28, 0.4$ при $T=4.2$ К должны реализоваться магнитные фазы $\Phi_{(100)}$, в образце с $x=0.2$ — угловые фазы Φ_{\perp} , а в чистом $Y_3Fe_5O_{12}$ ($x=0$) — фазы $\Phi_{(111)}$. (При $T > 260$ К для всех образцов характерны легкие направления типа $\langle 111 \rangle$ [2]). Вышеперечисленным магнитным фазам в ферритах-гранатах отвечают спектры ЯМР ^{57}Fe , отличающиеся числом линий, их положениями и интенсивностями. Природа анизотропных составляющих локальных полей на ядрах, обуславливающих тонкую структуру спектров, подробно исследована в [5, 7]. Так, например, фазам $\Phi_{(100)}$ отвечают одиночная линия для *a*-ионов Fe^{3+} и две линии для *d*-ионов с соотношением интенсивностей 1 : 2. Для фаз $\Phi_{(111)}$ характерен спектр, состоящий из двух линий (1 : 3) для *a*-ионов и одиночной линии для *d*-ионов Fe^{3+} . Наиболее естественному предположению [2], что намагниченность в угловых фазах Φ_{\perp} отклонена от направлений $\langle 111 \rangle$ к направлениям $\langle 100 \rangle$ в плоскостях типа $\{110\}$, должен отвечать спектр из трех линий (1 : 2 : 1) для *a*-ионов и двух линий (1 : 2) для *d*-ионов.

Однако, как видно из рис. 2, для образцов всех составов при 4.2 К зарегистрированы качественно одинаковые спектры — две линии для a -ионов Fe^{3+} с отношением интенсивностей $\sim 1:3$ и одиночная линия для d -ионов, — однозначно отвечающие высокосимметричным фазам $\Phi_{(111)}$. Увеличение содержания кремния приводит лишь к размытию низкочастотных крыльев линий ЯМР, что является хорошо известным явлением при диамагнитном разбавлении ферритов. Уширение линий и сдвиг их центра тяжести в сторону низких частот обусловлены в основном ковалентными сверхтонкими взаимодействиями [8] в цепочках $Fe_a^{3+}\uparrow-O^{2+}-Fe_d^{3+}\downarrow$, которые «выключаются» при диамагнитном замещении a - или d -ионов Fe^{3+} . В данном случае замещение ионов Fe^{3+} ионами Si^{4+} происходит в d -узлах, и поэтому в спектре a -ионов должны наблюдаться четыре

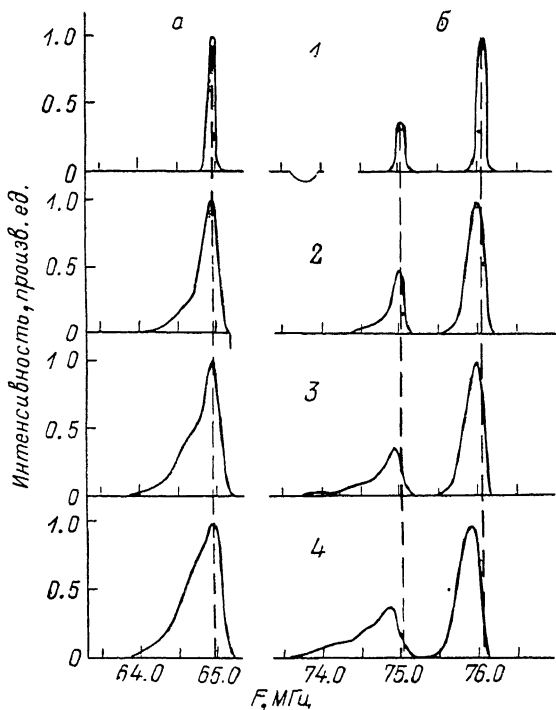


Рис. 2. Спектры ЯМР ^{57}Fe некомпенсированных иттрий-кремниевых ферритов-гранатов $Y_3Fe_{6-x}Si_xO_{12}$.

a — d -узлы, b — a -узлы. 1 — $x=0$, 2 — 0.2, 3 — 0.28, 4 — 0.4.

сателлита [8]. В представленных спектрах эти сателлиты не разрешены, по-видимому, вследствие дополнительного разупорядочения, обусловленного ионами Fe^{2+} в a -позициях, а также катионными и анионными вакансиями. Кроме синтезированных поликристаллических образцов мы располагали также монокристаллическим образцом с $x \approx 0.15$, выращенным из раствора в расплаве. Характерно, что спектр ЯМР этого образца очень близок к спектру поликристалла с $x=0.2$.

Таким образом, спектры ЯМР ^{57}Fe a - и d -ионов Fe^{3+} наглядно показывают, что в иттрий-кремниевых ферритах-гранатах, как и в чистом иттриевом гранате, в широком диапазоне температур 4.2—300 К легкими направлениями являются оси $\langle 111 \rangle$, а спиновой переориентации не происходит. Контрольные измерения низкочастотной начальной магнитной восприимчивости в этом же диапазоне температур также не позволили обнаружить ОФП. Температурные зависимости восприимчивости имеют монотонный характер без каких-либо аномалий, характерных для ОФП [9]. Можно указать две возможные причины расхождений с данными работ [1, 2]. Во-первых, температурные изменения формы мессбауэровских спектров могли быть вызваны температурно-зависимыми компонентами,

отвечающими ионам Fe^{2+} . Во-вторых, в мелких частицах порошкового поглотителя [1, 2], которые могли быть однодоменными, направление намагниченности может изменяться с температурой вследствие конкуренции магнитной кристаллографической анизотропии и анизотропии формы.

Авторы признательны Р. З. Левитину за обсуждение результатов и Б. В. Миллю за консультации при синтезе поликристаллов иттрий-кремниевых гранатов.

Л и т е р а т у р а

- [1] Geller S., Balestrino G. // Sol. St. Commun. 1980. V. 33. N 3. P. 315—317.
- [2] Balestrino G., Geller S., Tolksdorf W., Willich P. // Phys. Rev. B. 1980. V. 22. N 5. P. 2282—2283.
- [3] Slonczewski J. C. // J. Appl. Phys. 1961. Suppl. V. 32. N 3. P. 253S—263S.
- [4] Rudowicz Cz. // Z. Naturforsch. 1983. V. 39A. N 5. P. 605—614.
- [5] Бородин В. А., Дорошев В. Д., Ключан В. А. и др. // ЖЭТФ. 1976. Т. 70. № 4. С. 1363—1378.
- [6] Бабушкин Г. А., Бородин В. А., Дорошев В. Д. и др. // ЖЭТФ. 1984. Т. 87. № 9. С. 989—998.
- [7] Streever R. L., Caplan P. J. // Phys. Rev. B. 1971. V. 4. N 9. P. 2881—2887.
- [8] English J., Brabenec M., Novak P., Lütgemeier H. // J. Magn. Magn. Mat. 1985. V. 50. N 1. P. 74—82.
- [9] Белов К. П., Звездин А. К., Кадомцева А. М., Левитин Р. З. Ориентационные фазовые переходы в редкоземельных магнетиках. М., 1979. 320 с.

Донецкий физико-технический
институт АН УССР
Донецк

Поступило в Редакцию
21 июля 1988 г.

УДК 539.67 : 538.945

Физика твердого тела, том 31, в. 1, 1989
Solid State Physics, vol. 31, № 1, 1989

АМПЛИТУДНЫЕ И ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА И МОДУЛЯ ЮНГА В СВЕРХПРОВОДИМОЙ КЕРАМИКЕ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

А. Б. Лебедев, Ю. А. Буренков, В. И. Иванов, Б. К. Кардашев,
С. П. Никаноров, Ю. П. Степанов

Имеющиеся к настоящему времени сведения [1-9] о поведении поглощения и скорости распространения ультразвуковых волн в высокотемпературных сверхпроводящих керамиках системы $Y-Ba-Cu-O$ ограничены лишь областью малых амплитуд колебаний. В настоящей работе исследуется влияние амплитуды колебательной деформации ϵ_0 в интервале 10^{-7} — 10^{-4} . Материалом для исследования служили образцы $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, приготовленные по стандартной «сухой» технологии, имеющие сверхпроводящий переход при температурах $T \approx 90 \div 93$ К. Структурные исследования показали, что керамика состоит из кристаллитов достаточно крупных размеров (до 40—50 мкм).

Для акустических измерений использовался резонансный метод составного пьезоэлектрического вибратора на продольных колебаниях частотой около 100 кГц в автоматизированной с помощью микро-ЭВМ установке [10, 11]. Образцы имели форму стержней сечением $\approx 2 \times 2$ мм, длиной 17 мм, что соответствует половине длины волны ультразвука использованной частоты. Одновременно с резонансной частотой f и декрементом δ вибратора измерялось также электросопротивление образца четырехзондовым методом. Контактные точки располагались в середине образца (в узле смещений стоячей ультразвуковой волны) на каждой из четырех граней стержня. Измерения проводились на двух образцах, но