

- [5] Nimitz G., Schlicht B. Narrow-gap semiconductors. Narrow-gap lead salts. Berlin, 1983. 117 p.
- [6] Вугмейстер Б. Е., Глинчук М. Д. // УФН. 1985. Т. 146. № 3. С. 459—491.
- [7] Yaganery H., Grassie A., Yusheng H., Loram J. M. // J. Phys. C. Sol. St. Phys. 1981. V. 14. N 15. P. L441—L444.
- [8] Абдуллин Х. А., Лебедев А. И., Гаськов А. М., Демин В. Н., Зломанов В. П. // Письма в ЖЭТФ. 1984. Т. 40. № 6. С. 229—233.
- [9] Дмитриев А. И., Лашкарев Г. В., Литвинов В. И., Гаськов А. М., Демин В. Н. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 45. № 6. С. 304—306.
- [10] Лашкарев Г. В., Бродовой А. В., Радченко М. В., Демин В. Н., Гаськов А. М. // ФТП. 1988. Т. 22. № 4. С. 766—768.
- [11] Islan Q. T., Bunker V. A. // Phys. Rev. Lett. 1987. V. 59. N 23. P. 2701—2704.
- [12] Suski T., Takaoka S., Murase K. // Sol. St. Comm. 1983. V. 45. N 4. P. 259—263.
- [13] Гейман К. И., Драбкин И. А., Метвеенко А. В., Можаяев Е. А., Парфеньев Р. В. // ФТП. 1977. Т. 11. № 3. С. 846—854.
- [14] Свойства элементов. Ч. 1. Физические свойства / Под ред. Самсонова Г. В. М.: Металлургия, 1976. 600 с.
- [15] Багинский В. М., Дмитриев А. И., Лашкарев Г. В., Орлецкий В. Б., Радченко М. В. // Тез. докл. IV Всес. симпозиума. Полупроводники с узкой запрещенной зоной и полуметаллы. Львов, 1975. Ч. II. С. 12—13.
- [16] Багинский В. М., Кикодзе Р. О., Лашкарев Г. В. // Препринт ИФ АН УССР. № 18. Киев, 1978. 28 с.
- [17] Александров О. В., Кисилев К. В. // Кр. сообщ. по физике. 1984. № 4. С. 18—21.

Институт проблем
материаловедения АН УССР
Киев

Поступило в Редакцию
20 октября 1988 г.
В окончательной редакции
16 февраля 1989 г.

УДК 539.32 : 669.85

Физика твердого тела, том 31, в. 7, 1989
Solid State Physics, vol. 31, № 7, 1989

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ СОИЗМЕРИМОСТИ НА МАГНИТНУЮ ФАЗОВУЮ ДИАГРАММУ МОНОКРИСТАЛЛА ТЕРБИЯ

Г. И. Катаев, М. Р. Самтаров, А. М. Тишин

Наблюдаемое в тяжелых редкоземельных металлах (РЗМ) спиральное магнитное упорядочение, несоизмеримое по отношению к периоду кристаллической структуры, характеризуется тем, что магнитные моменты ионов, принадлежащие одной базисной плоскости, коллинеарны, а при переходе к другой плоскости их ориентация меняется на постоянный угол α . При изменении температуры величина α не остается постоянной и при определенных значениях температуры периоды магнитной и кристаллической структур становятся кратными друг другу. Исследование влияния такой соизмеримости на поведение ряда физических величин представляет большой интерес. В настоящей работе приводятся результаты исследования магнитной фазовой диаграммы монокристалла тербия.

В тербии точка фазового перехода парамагнетизм (ПМ)—геликоидальный антиферромагнетизм (АФМ) Θ_2 , по литературным данным [1], лежит в диапазоне 223.3—230 К, а температура перехода АФМ—ферромагнетизм (ФМ) Θ_1 210—222 К. Сведения о величине критического поля разрушения АФМ упорядочения H_{cr} также заметно расходятся [1]. Не совпадают данные о характере этих магнитных переходов [1, 2]. В [1] высказано предположение, что указанные различия можно объяснить чистотой и степенью совершенства структуры исследованных образцов. Отметим, что проявление эффектов соизмеримости, очевидно, возможно только в весьма совершенных кристаллах.

В работе использовался монокристалл тербия высокой степени чистоты (99.99 вес.%) и отношением электросопротивлений при 4.2 и 300 К,

не меньшим 100. Для построения фазовой диаграммы использовались экспериментальные данные по модулю упругости E_b , измеренному вдоль оси легкого намагничивания b , когда $E_b = s_{11}^{-1}$, s_{11} — константа упругой податливости. Измерение E_b проводилось методом изгибных колебаний [3] на частотах 1—2 кГц в магнитном поле солонида до 2.5 кЭ. Данный метод обладает высокой чувствительностью к фазовым превращениям, малой относительной погрешностью ($\sim 0.02\%$) и позволяет не учитывать размагничивающий фактор, так как отношение длины образца к его толщине было порядка 40. Каждая серия измерений начиналась с температуры 300 К при охлаждении и с 77 К при нагреве образца. Скорость нагрева и охлаждения образца в области магнитных фазовых переходов не превышала 1 К/ч.

На рис. 1 представлены зависимости модуля E_b от внешнего поля H , характерные для диапазона температур $\Theta_1 - \Theta_2$. При увеличении поля величина E_b вначале остается постоянной до некоторого значения H ,

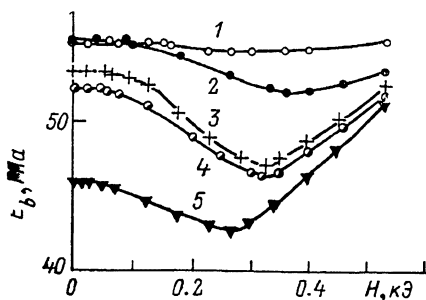


Рис. 1. Зависимость модуля упругости E_b в монокристалле тербия от магнитного поля, приложенного вдоль оси b .

Измерения проведены при охлаждении образца от 300 К. 1 — 229.5, 2 — 226, 3 — 224, 4 — 223, 5 — 222 К.

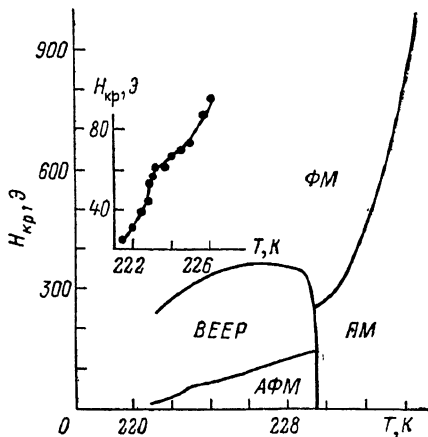


Рис. 2. Магнитная фазовая диаграмма монокристалла тербия как функция температуры и магнитного поля.

На вставке — аномалия температурной зависимости критического поля разрушения геликоидальной антиферромагнитной структуры тербия.

после чего наблюдается отрицательный ΔE -эффект, переходящий затем в положительный. При $T < \Theta_1$ горизонтальный участок на кривых $E_b(H)$ исчезает, однако минимум в полях 200—400 Э существует вплоть до $T = 77$ К. В ПМ фазе, сразу после горизонтального участка кривой, наблюдается рост величины E_b .

Для объяснения результатов (рис. 1) необходимо использование теоретических данных по трансформации АФМ структур магнитным полем, а также экспериментальных результатов по нейтронографическому, магнитному и упругому исследованию магнитных фазовых переходов и диаграммы тербия [1, 4—8]. В [4, 7] показано, что в области существования АФМ упорядочения действие магнитного поля вначале приводит к незначительному искажению АФМ структуры, а при дальнейшем увеличении вызывает возникновение веерного магнитного упорядочения. Теоретически показано [9], что в том случае, если магнитная структура РЗМ не трансформируется или мало трансформируется с полем, упругие константы также не зависят от поля. Этот результат, а также наличие магнитной фазовой диаграммы для высококислотного тербия, полученной из измерений намагниченности [5, 6], позволяют интерпретировать наши результаты следующим образом. При $T > \Theta_1$ незначительное искажение АФМ упорядочения в слабых полях не изменяет модуля упругости. При $H \geq H_{кр}$

поле разрушает геликоид, что в тяжелых РЗМ приводит к появлению новой, промежуточной между АФМ и ФМ состояниями, фазы. В соответствии с расчетами [4, 7] можно предположить, что эта фаза соответствует веерному магнитному упорядочению. Возможно, что домены этой фазы гораздо ближе по своим свойствам к доменам ФМ фазы и их перестройка в поле приводит к отрицательному ΔE -эффекту. Согласно [10], в Ду переходе веерной структуры в ФМ фазу также соответствует минимум на кривых $c_{33}(H)$, что подтверждается результатами исследования магнитной фазовой диаграммы Ду другими методами [11, 12].

Рост модуля упругости при $H \geq H_{кр}$ в ПМ фазе связан с упорядочением вдоль поля системы магнитных кластеров или атомных магнитных моментов как таковых.

Таким образом, полученные нами результаты позволяют определить величины критических полей магнитных фазовых переходов в монокристалле Tb. Фазовая диаграмма высокочистого кристалла Tb, построенная на основе этих данных, приведена на рис. 2. Видно, что она состоит из четырех областей: ПМ, АФМ, ФМ, а также веерной (?) структур. Предлагаемая фазовая диаграмма в целом совпадает с фазовой диаграммой Tb, полученной из измерения упругой константы c_{33} в [8]. По нашим данным, в нулевом поле $\Theta_1 = 220.0$ и $\Theta_2 = 229.5$ К. Наблюдаемое вблизи $T = 223.5$ К аномальное поведение $H_{кр}$ (см. вставку на рис. 2) можно связать с эффектом соизмеримости, поскольку вблизи этой температуры угол геликоида проходит через значение 18° [5]. Такая аномалия в поведении $H_{кр}(T)$ была обнаружена во всех экспериментальных сериях как при охлаждении, так и при нагреве образца, однако величина аномалии в этих случаях была различной. Характер наблюдавшейся нами аномалии, приводящей к увеличению области существования АФМ структуры, находится в согласии с тем, что соизмеримая АФМ структура является более энергетически выгодной, чем несоизмеримая, вследствие уменьшения в первой энергии магнитной анизотропии. Отметим, что вблизи $T = 223.5$ К глубина минимума отрицательного ΔE -эффекта имеет наибольшее значение.

Аналогичная аномалия в зависимости $H_{кр}(T)$ была найдена ранее при измерениях намагниченности тербия [6]. Влияние эффектов соизмеримости на температурную зависимость угла геликоида обнаружено недавно нейтронографическими методами в диспрозии [13].

Измерения температурной зависимости E_b позволили установить, что температура перехода АФМ—ПМ при $H \leq 250$ Э не зависит от поля, а переход в точке Θ_1 является фазовым переходом первого рода. Наши данные указывают также на то, что в интервале температур $\Theta_1 \div \Theta_2$ характер фазового перехода АФМ—веер не изменяется вплоть до непосредственной близости к температуре Θ_2 .

Авторы благодарны Ю. А. Пашкину и С. В. Редько за помощь в работе.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Jiles D. C., Palmer S. B., Jones D. W. et al. // J. Phys. F. 1984. V. 14. N 12. P. 3061—3068.
- [2] Barak Z., Walker M. // Phys. Rev. B. 1982. V. 25. P. 1969—1970.
- [3] Катаев Г. И., Шубин В. В. // Акуст. журн. 1980. Т. 26. № 1. С. 142—145.
- [4] Bagguley D. M. S., Howe F. A. // J. Mag. and Magn. Mater. 1986. V. 58. P. 191—201.
- [5] Drillat A., Baruchel J., Bates S. et al. // J. Magn. and Magn. Mater. 1984. V. 44. P. 232—236.
- [6] Greenough R. D., Hettiarachchi N. F. // J. Magn. and Magn. Mater. 1983. V. 31—34. P. 178—180.
- [7] Изюмов Ю. А. // УФН. 1984. Т. 144. № 3. С. 439—474.
- [8] Palmer S. B., Jiles D., Isci C. // J. de Physique. Coll. C5. Suppl. 1979. V. 40. N 5. P. 33—34.
- [9] Southern B. W., Gooding D. A. // Phys. Rev. 1973. V. B7. P. 534—545.
- [10] Isci C., Palmer S. B. // J. Phys. F. 1978. V. 8. N 2. P. 247—259.
- [11] Herz R., Kronmüller H. // J. Magn. and Magn. Mater. 1978. V. 9. P. 273—275.

[12] Wilkinson M. K., Koehler W. C., Wollan E. O., Cable J. W. // J. Appl. Phys. Suppl. 1961. V. 32. N 1—2. P. 48—49.

[13] Бессергенов В. Г., Гогава В. В., Манджавидзе А. Г. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. № 2. С. 92—94.

Московский государственный
университет им. М. В. Ломоносова
Москва

Поступило в Редакцию
1 декабря 1988 г.
В окончательной редакции
16 февраля 1989 г.

УДК 538.69

Физика твердого тела, том 31, в. 7, 1989
Solid State Physics, vol. 31, № 7, 1989

АНОМАЛЬНОСТЬ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ErFeO_3

А. М. Балбашов, Н. К. Данышин, А. И. Изотов,
М. А. Сдвижков, Л. Т. Цымбал

В окрестности низкотемпературного спонтанного фазового перехода в ортоферрите эрбия ($T \approx 4.11$ К) обнаружены гигантские резонансного типа аномалии скорости ($\Delta s/s > 25\%$) и поглощения ($\Delta \Gamma > 100$ дБ/см) активной поперечной акустической моды ($\mathbf{k} \parallel c$, $\mathbf{E} \parallel b$).

В области гелиевых температур при $T = T_N \approx 4.11$ К в ортоферрите эрбия происходит спонтанный фазовый переход (ФП) $\Gamma_2 (T > T_N) \rightarrow \Gamma_{12} (T < T_N)$ — антиферромагнитное упорядочение спинов эрбия вдоль кристаллографической оси c на фоне уже упорядоченной системы спинов железа при одновременной плавной переориентации вектора антиферромагнетизма железа в плоскости (b, c) от оси c к оси b [1]. Т. е. имеет место своеобразное наложение двух ФП — упорядочения и ориентационного. Этот сложный ФП сопровождается неполным размягчением одной из мод магнитного резонанса (энергетическая щель, в которой резонансное поглощение отсутствует, составляет $f_0 \approx 25$ ГГц [2]) и, согласно теории, должен привести к аномалиям в поглощении и скорости ультразвуковых волн. В частности, из-за магнитострикционной перенормировки упругих модулей при спин-переориентационном ФП скорость смягчающейся поперечной акустической моды должна падать до нуля. Однако, как правило, экспериментально наблюдаемые изменения скорости активной акустической моды, имея в точках ФП характер, подобный предсказываемому теорией, реально по величине составляют доли (единицы) процента.

В настоящей работе экспериментально исследованы акустические характеристики ортоферрита эрбия в области низкотемпературного ФП на частоте $f = 25$ МГц, $\ll f_0$. Измерения проводились на импульсном ультразвуковом спектрометре с использованием резонансных пьезопреобразователей из ниобата лития. Образец имел форму диска толщиной $d = 1.9$ мм, диаметром 4 мм с нормалью $n \parallel$ оси кристалла c и был изготовлен из монокристалла ErFeO_3 , выращенного методом бестигельной зонной плавки с радиационным нагревом [3].

Активной является поперечная акустическая мода с волновым вектором $\mathbf{k} \parallel c$ и вектором поляризации $\mathbf{E} \parallel b$. Температурные зависимости s и коэффициента затухания Γ этой ультразвуковой волны представлены на рисунке. При $T \rightarrow T_N$ уменьшение скорости звука ($> 25\%$) сопровождается стремительным ростом его коэффициента затухания (> 100 дБ/см) вплоть до полного исчезновения сигнала. Особенностью приведенных кривых является заметное отличие характера их поведения слева и справа от критической точки. Столь значительные критические аномалии резонансного типа, по-видимому, обнаружены впервые. Они на порядок превосходят известные ранее для ФП упорядочения (см., например, [4]), спин-флоп переходов (см., например, [5]), ориентационных