

ОСОБЕННОСТИ УПРУТОГО ПОВЕДЕНИЯ
МОНОКРИСТАЛЛА МАГНЕТИТА

Т. П. Сорокина, А. М. Капитонов, О. П. Квашина

Известно [1], что в окрестности 130 и 119 К в монокристалле магнетита Fe_3O_4 существуют соответственно спонтанный ориентационный фазовый переход (ОФП) (вектор намагниченности меняет направление от [111])

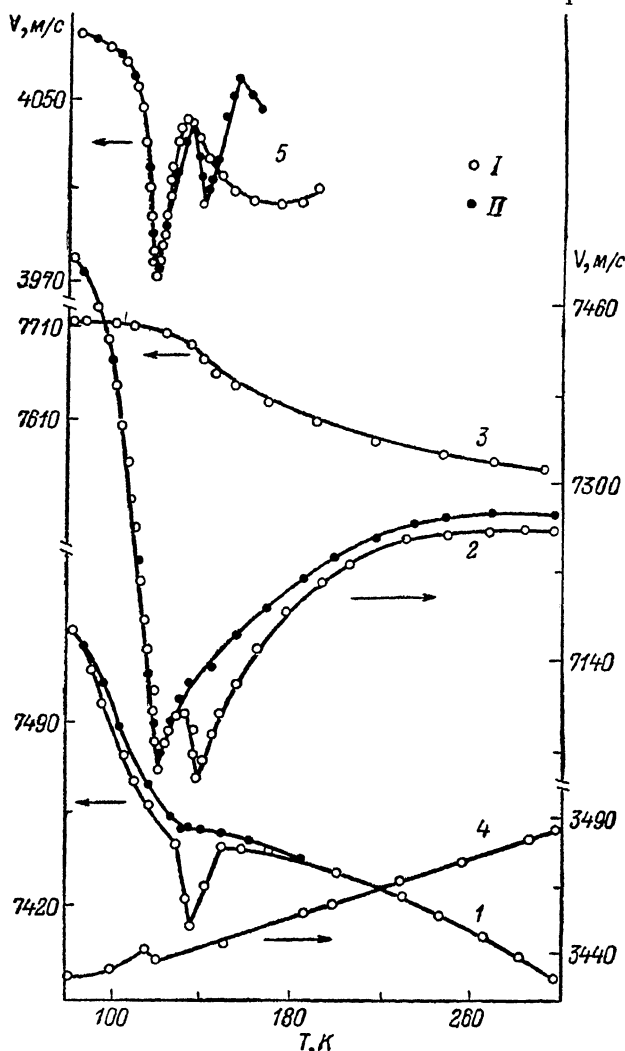


Рис. 1. Температурные зависимости скоростей распространения упругих волн. 1 — L, $k \parallel [100]$, I — $H=0$, II — $H=3$ кЭ; 2 — L, $k \parallel [111]$, I — $H=0$, II — $H=6$ кЭ; 3 — L, $k \parallel [110]$, $H=0$; 4 — S, $k \parallel [110]$, $u \parallel [1\bar{1}0]$, $H=0$; 5 — S, $k \parallel [100]$, $u \parallel [010]$, I — $H=0$, II — $H=2$ кЭ. На всех кривых светлые точки — $H=0$; темные точки — H , кЭ: 1 — 3, 2 — 6, 5 — 2.

к [100]) и структурный фазовый переход (превращение кубической структуры в ромбическую). В области 119 К исследованы аномалии таких свойств, как начальная магнитная проницаемость, модуль Юнга в направлении [111], коэффициент внутреннего трения [2], однако для спонтанного ОФП сведений об аномальном поведении этих величин нет. Очевидно, что в окрестности этого перехода будут существовать и аномалии упругих

постоянных. Так, в [3] исследованы температурные зависимости скорости продольной волны $k \parallel [100]$ и скорости поперечной волны $k \parallel [100]$, $u \parallel [001]$ (u — вектор поляризации) в магнитном поле, которые, однако, не дают полного представления об упругих и магнитоупругих свойствах магнетита.

В связи с этим нами ультразвуковым импульсно-фазовым методом [4] на частоте 15 МГц исследованы зависимости скоростей распространения продольных (L) и поперечных (S) упругих волн в монокристалле магнетита (ковдорское месторождение) при изменении температуры в пределах 80—300 К и внешнего магнитного поля от 0 до 10 кЭ. Относительная точность измерения скорости была равной 0.01 %. На образцах выполнены спектральные и мёссбауэровские исследования, которые показали, что основными примесными ионами являются ионы Mg^{2+} , замещающие Fe^{2+} . Выбранные для исследований направления k упругих волн $[100]$, $[110]$, $[111]$ соответствуют распространению «чистых мод» в кубическом кристалле.

Экспериментальные зависимости представлены на рис. 1, 2. Отметим особенности в поведении упругих параметров.

1) Для продольной волны, $k \parallel [100]$ при $T > 150$ К, до температуры спонтанного ОФП $T = 138$ К наблюдается нормальное температурное поведение скорости, т. е. увеличение с понижением температуры, затем резкий минимум в области спонтанного ОФП. Если в [3] в области $T = 119$ К наблюдается возрастание скорости (0.2 %), то в нашем случае подобного возрастания нет. Внешнее магнитное поле $H = 3$ кЭ

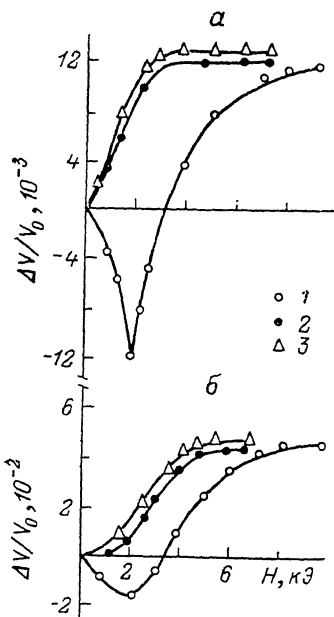


Рис. 2. Полевые зависимости относительного изменения скоростей распространения поперечных упругих волн $\Delta V/V_0$. ($\Delta V = V_H - V_0$, $V_0 \equiv V_{H=0}$). 1 — $H \parallel k$, 2 — $H \parallel u$, 3 — $H \perp k$, у. а — S , $k \parallel [110]$, $u \parallel [001]$; б — S , $k \parallel [100]$, $u \parallel [010]$.

($H \parallel k$) подавляет anomальное поведение скорости, что наблюдалось и ранее [3].

2) Для скорости продольной волны $k \parallel [111]$ в области $T = 138$ К и $T = 119$ К существует резкое уменьшение ее величины. Следует отметить, что anomальная зависимость этой скорости начинается уже от комнатной температуры. В [2] наблюдалось монотонное уменьшение модуля Юнга магнетита в направлении $[111]$ до точки $T = 119$ К с последующим возрастанием с температурой. Подобная зависимость аналогична изученной нами, однако отметим существование anomалии и в области спонтанного ОФП при $T = 138$ К. Внешнее магнитное поле $H = 6$ кЭ было приложено вдоль направления $[111]$. При этой величине H изменения скорости продольной волны достигают насыщения, что свидетельствует о подавлении спонтанного ОФП (вектор намагниченности сохраняет направление $[111]$).

3) Для продольной волны $k \parallel [110]$ в области спонтанного ОФП наблюдается излом скорости с дальнейшим слабым изменением. Внешнее магнитное поле не изменяет поведение этой скорости.

4) Для поперечной волны $k \parallel [110]$, $u \parallel [110]$ во всей исследованной температурной области наблюдается anomальное поведение скорости, причина которого неясна.

5) Для поперечной волны $k \parallel [100]$, $u \parallel [010]$ температурная зависимость скорости вследствие большого затухания исследована в интервале температур 80—190 К. При $H = 0$ наблюдается anomальное поведение при

спонтанном ОФП в широкой области температур, которая значительно сужается уже в поле $H=2$ кЭ. По-видимому, это связано с перестройкой доменной структуры.

С целью изучения индуцированного внешним магнитным полем ОФП исследованы зависимости скоростей распространения поперечных волн, поскольку они наиболее сильно связаны с магнитной подсистемой кристалла [5]. На рис. 2 представлены полевые зависимости скоростей распространения упругих волн $k \parallel [100]$, $u \parallel [010]$ (образец отожжен до температуры Дебая), $k \parallel [110]$, $u \parallel [001]$ при различном направлении поля. Полевые зависимости $V(H)$ хорошо описываются приведенными ниже выражениями, справедливыми при $H_i > H_A$ [6, 7];

$$\frac{V(H_i) - V_\infty}{V_\infty} \simeq -\frac{B_2^2}{2MC_t(H_i - H_A)}, \quad \mathbf{H} \parallel \mathbf{k}, \quad (1)$$

$$\frac{V(H_i) - V_\infty}{V_\infty} \simeq -\frac{B_2^2}{2MC_t(H_i - H_A + 4\pi M)}, \quad \mathbf{H} \parallel \mathbf{u}, \quad (2)$$

$$\frac{V(H_i) - V_\infty}{V_\infty} \simeq 0, \quad \mathbf{H} \perp \mathbf{k}, \mathbf{u}, \quad (3)$$

где H_i — внутреннее поле, H_A — поле анизотропии, B_2 — магнитоупругая постоянная, M — намагниченность, C_t — сдвиговая упругая постоянная, V_∞ — значение скорости при $H \rightarrow \infty$.

Из (1) следует, что величина скорости должна монотонно уменьшаться при приближении H_i сверху к H_A , что и наблюдается экспериментально. Оценки показывают, что в полях $H \simeq 2$ кЭ будет наблюдаться минимум скорости, и это значение удовлетворительно совпадает с экспериментальными данными (рис. 2). В случае $\mathbf{H} \parallel \mathbf{u}$ минимумы отсутствуют, что связано с появлением в формуле (2) магнитоэластического вклада $4\pi M$. Для $\mathbf{H} \perp \mathbf{k}, \mathbf{u}$ магнитоупругое взаимодействие отсутствует, и зависимость $V(H)$, как и в предыдущем случае, обусловлена положительным ΔE -эффектом.

Таким образом, полевые зависимости скоростей распространения поперечных упругих волн показали, что при $\mathbf{H} \parallel \mathbf{k}$ и при определенной величине внешнего магнитного поля наблюдается уменьшение скорости, свидетельствующее об индуцированном ОФП, и что для $H_i > H_A$ в однодоменном состоянии поведение скоростей достаточно хорошо описывается теорией МУВ [7].

Л и т е р а т у р а

- [1] Callen E. Phys. Rev., 1966, vol. 150, p. 367—376.
- [2] Белов К. П. Магнитные превращения. М.: ГИФМЛ, 1959. 254 с.
- [3] Moran T. J., Lüthi B. Phys. Rev., 1969, vol. 187, N 2, p. 710—714.
- [4] McSkimin H. J. J. Acoust. Soc. Amer., 1950, vol. 22, N 4, p. 413—418.
- [5] Смоленский Г. А., Леманов В. В., Недлин Г. М. и др. Физика магнитных диэлектриков. Л.: Наука, 1974. 454 с.
- [6] Квашнина О. П., Смокотин Э. М., Капитонов А. М. Упругие и магнитоупругие свойства тербиевого феррита-граната. Препринт 3648, Институт физики СО АН СССР, Красноярск, 1986.
- [7] Туров Е. А., Шавров В. Г. УФН, 1983, т. 140, № 3, с. 429—462.

Красноярский
сельскохозяйственный институт
Красноярск

Поступило в Редакцию
30 октября 1987 г.