

© 1992

АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ В ДИСПРОЗИИ В ОБЛАСТИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

А. М. Тишин, О. А. Шипилов

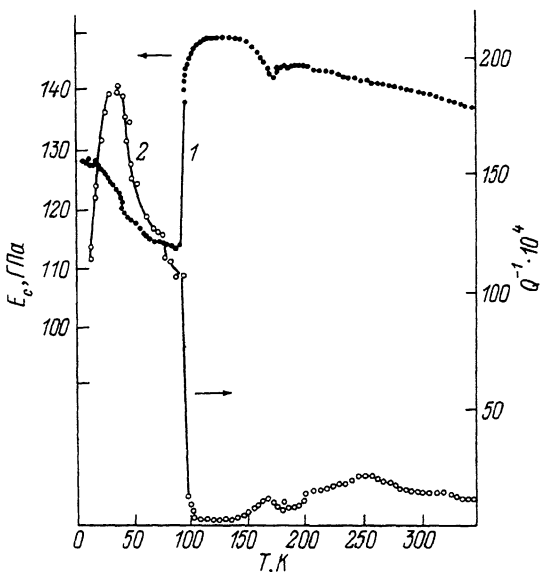
Проведено исследование модуля Юнга E и внутреннего трения Q^{-1} монокристалла диспрозии в интервале температур 4.2–380 К. Обнаружено резкое (на два порядка) возрастание величины Q^{-1} в области существования ферромагнитного упорядочения. Обсуждаются возможные механизмы данного релаксационного процесса.

Изучение внутреннего трения в веществах, обладающих магнитной структурой, представляет значительный научный интерес. Исследование Q^{-1} позволяет получить важную информацию как о степени воздействия магнитоупругих деформаций на состоянии термодинамического равновесия магнетика, так и о релаксационных процессах, вызванных нарушением данного состояния. Заметный вклад в получаемые результаты будут вносить также следующие механизмы диссипации упругой энергии [1]: релаксационные явления, связанные с точечными дефектами, дислокациями и поверхностями раздела в кристаллической решетке: неупругость, вызванная фазовыми превращениями и другие механизмы.

В настоящей работе проведено исследование модуля Юнга $E(T)$ и внутреннего трения $Q^{-1}(T)$ монокристаллического образца диспрозия, ориентированного вдоль кристаллографического направления c в температурном диапазоне 4.2—380 К. Монокристалл был выражен методом Чохральского. Суммарное содержание металлических примесей, по данным химического анализа, не превышало 0.001 вес%. Изгибные колебания консольно закрепленного образца возбуждались электростатическим образом и поддерживались с помощью электромеханической обратной связи. Разрыв цепи обратной связи приводил к затуханию колебаний образца, количество которых между двумя амплитудными порогами, определяемыми дискриминатором, подсчитывалось электронным счетчиком. Точность измерения Q^{-1} составляла 2—3%. Более детальное описание методики эксперимента дано в [2].

На рисунке представлены температурные зависимости $E(T)$ и $Q^{-1}(T)$ для монокристалла Dy при нагреве образца. Ось консольно закрепленного образца совпадала с кристаллографическим направлением c . Частота (ν) изгибных колебаний образца составила 1980 Гц при $T = 290$ К. Как видно из рисунка, при увеличении температуры в точке магнитного фазового перехода геликоидальный антиферромагнетизм (АФМ)—ферромагнетизм (ФМ) при $T = \theta_1 \sim 85$ К происходит резкий рост модуля Юнга и наблюдается существенное уменьшение внутреннего трения. В области температуры перехода образца из АФМ структуры в парамагнитную (ПМ) фазу при $T = \theta_2 \sim 178$ К данные аномалии выражены значительно меньше. Температуры данных переходов достаточно хорошо совпадают с результатами магнитных исследований [3].

В отсутствие магнитного поля упругие напряжения вызывают поворот спонтанного момента внутри доменов во всей области температур магнитного упорядочения. Однако, если выше температуры θ_1 упругие напряжения, деформируя геликоид, преодолевают силы магнитной анизотропии в базисной плоскости и



Температурные зависимости модуля Юнга E (1) и внутреннего трения Q^{-1} (2) монокристалла Dy (ось c).

силы обменного взаимодействия между спинами, лежащими в соседних базисных плоскостях, то ниже точки θ_1 вследствие значительного возрастания констант анизотропии магнитные моменты остаются параллельными и работа производится в основном только против сил магнитной анизотропии. В соответствии с [4] это приводит к тому, что влияние упругих напряжений на магнитную структуру Dy при $T > \theta_1$ меньше, чем при $T < \theta_1$.

Из рисунка видно, что ниже температуры 60 К начинается заметное возрастание модуля Юнга. Авторы [4, 5] также связывают данный процесс с сильным ростом магнитной анизотропии в базисной плоскости при низких температурах.

Начиная с температуры ~ 15 и до 4.2 К модуль практически не изменяется. Это, по всей видимости, связано с тем, что, с одной стороны, решеточный вклад в модуль Юнга в соответствии с теорией Дебая должен иметь при $T = 0$ К нулевую производную, а с другой — с достижением при низких температурах насыщения спонтанной намагниченности.

Не останавливаясь подробно на поведении E и Q^{-1} в диапазоне температур 78—300 К на данных частотах, что сделано, например, в работах [4–6], отметим anomальное поведение Q^{-1} в ФМ и ПМ области Dy.

Детальный анализ полученных экспериментальных данных показал, что максимум на кривой $Q^{-1}(T)$ в области комнатных температур является пиком Хасигути и имеет дислокационную природу.

Ранее на данных частотах (10^2 – 10^4 Гц) исследования внутреннего трения диспрозия при температурах 4.2–78 К не проводилось. Однако Левитиным [4] при исследовании продольных колебаний образца поликристалла Dy на частоте 110 кГц обнаружено возрастание величины Q^{-1} приблизительно в 5 раз в области точки θ_1 (измерения проводились до азотных температур). Такое поведение Q^{-1} связывалось автором с тем, что под действием переменных упругих напряжений происходит переход из ФМ состояния в АФМ и обратно или же с наличием в окрестности температуры θ_1 двухфазной гетерогенной магнитной структуры. Anomальный рост коэффициента затухания ультразвука в поликристалле диспрозия в области низких температур наблюдался также Розеном [6] на частоте

10 МГц. Установлено, что в ферромагнитной области при $T = 60$ К имеет место симметричный максимум коэффициента затухания, причем величина поглощения ультразвука в ФМ области увеличивалась в 3—4 раза по сравнению с АФМ областью.

Наши экспериментальные данные указывают на то, что на частоте 1980 кГц внутреннее трение в монокристалле Dy возрастает в ФМ области примерно на два порядка. Максимум величины Q^{-1} расположен при температуре 37 К. Необходимо отметить, что величина внутреннего трения в области максимума становится столь значительной, что колебания исследуемого образца при разрыве цепи обратной связи затухают за всего лишь 10—20 периодов.

Таким образом, сравнение полученных данных с результатами работы [6] указывает на частотный сдвиг температуры расположения данного максимума и свидетельствует о его релаксационном характере. Полученные экспериментальные данные, а также данные работы [6] позволяют оценить энергию активации E_A и частотный фактор τ_0 данного процесса. Проведенные расчеты дают $E_A \sim 0.07$ эВ и $\tau_0 \sim 1.6 \cdot 10^{-14}$.

Анализ литературных данных позволяет предположить, что наблюдаемый в ФМ области максимум внутреннего трения может быть, например, связан с вращением векторов спонтанной намагниченности относительно осей легкого намагничивания в базисной плоскости.

Список литературы

- [1] Шермергор Т. Д. // Релаксационные явления в твердых телах. М.: Metallургия, 1968. С. 31.
- [2] Шубин В. В. Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М.: Изд-во МГУ, 1986. 18 с.
- [3] Nikitin S. A., Tishin A. M., Leontiev P. I. // J. Magn. and Magn. Mater. 1991. V. 92. P. 405—416.
- [4] Левитин Р. З. Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М.: Изд-во МГУ. 1962. 21 с.
- [5] Белов К. П., Левитин Р. З., Малевская Л. А., Соколов В. И. // ФММ. 1964. Т. 17. В. 4. С. 617—619.
- [6] Rosen M. // Phys. Rev. 1968. V. 174. N 2. P. 504—514.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
9 апреля 1992 г.
В окончательной редакции
7 июля 1992 г.