

05;08

Затухание ультразвуковых волн в марганец-цинковой шпинели в области магнитного фазового перехода

© Л.Н. Котов, С.Н. Карпачев

Сыктывкарский государственный университет,
Московский государственный университет
E-mail: kotov@ssu.komi.com

Поступило в Редакцию 5 июля 2001 г.

Приведены результаты исследований по затуханию ультразвуковых волн в области точки инверсии первой константы анизотропии в кристаллах марганец-цинковой шпинели, выращенных разными методами. Впервые обнаружен максимум затухания продольных ультразвуковых волн на низких частотах в области перехода в марганец-цинковой шпинели, обусловленный магнитоупругим взаимодействием. Различие акустических свойств кристаллов в области перехода объясняется на основе различных внутренних полей и связано с различной степенью макроскопической разупорядоченности и различным упорядочением ионов Fe^{+2} , Fe^{+3} в решетке шпинели.

Магнитные фазовые переходы, как правило, сопровождаются аномалиями акустических свойств кристаллов [1–2]. Для спин-переориентационных фазовых переходов (СПФП) характерно видоизменение магнон-фононных спектров, которое определяется эффективностью магнитоупругой связи и величиной параметра релаксации намагниченности [2]. Для кубических кристаллов марганец-цинковой шпинели (МЦШ) нестехиометрического состава $Mn_aZ_bFe_{2+c}O_4$ ($a + b + c = 1$) характерно наличие области температур, в которой происходят инверсия знака первой константы магнитной анизотропии K_1 при отрицательной второй константе K_2 и соответственно смена направления легкого намагничивания с $[100]$ на $[111]$ при понижении температуры [3]. Переходы из одной магнитной фазы в другую должны происходить скачком и являться фазовыми переходами первого рода. Однако наличие доменной структуры приводит к тому, что СПФП происходит путем непрерывного роста новой фазы из доменных стенок и размыт в интервале температур

$\Delta T = T_r' - T_r''$. Между температурами СПФП T_r' и T_r'' сосуществуют две магнитные фазы [100] и [111] с переходной доменной структурой.

В кристаллах МЦШ, выращенных методом Вернейля (кристаллы типа *A*), было обнаружено резкое возрастание затухания продольных ультразвуковых волн (УВ) в интервале частот $15 \div 40$ МГц [1], а в кристаллах близкого состава, но выращенных методом Бриджмена (кристаллы типа *B*), пик затухания в этом же интервале частот был выражен слабо либо возникал лишь после высокотемпературного отжига [4]. В связи с этим в [4] был сделан вывод об отсутствии в неотожженных кристаллах *B* СПФП. Для объяснения такого поведения затухания УВ были проведены дополнительные исследования кристаллов *A* и *B* в интервале частот ($2.5 \div 40$ МГц) и температур ($100 \div 350$ К) в отсутствие внешнего постоянного магнитного поля. Исследуемые кристаллы имели форму куба со стороной 1 см. В экспериментах использовались стандартная импульсная методика и техника возбуждения и регистрации амплитуды УВ [3].

На рис. 1 приведены температурные зависимости коэффициента затухания $\alpha(T)$ продольных УВ, распространяющихся в кристалле *A* ($a = 0.57$, $b = 0.37$, $c = 0.06$, намагниченность насыщения $M_S = 318$ Gs), на разных частотах. Для этого кристалла на всех исследованных частотах наблюдается скачок затухания при понижении температуры, уменьшающийся при уходе частоты УВ ω_a от частоты естественного ферромагнитного резонанса $\omega_0 \approx \gamma \cdot H_{in}$, где γ — гиромагнитное отношение, H_{in} — внутреннее поле (сумма полей анизотропии и размагничивания на границах доменов). На очень низких частотах УВ по обе стороны от перехода имеет место выполнение условий $\omega_a < \omega_0$, $\omega_r < \omega_a$, где ω_r — частота релаксации намагниченности. В этом случае колебания представляют собой слабозатухающую квазиупругую ветвь спектра магнитоупругих волн [2]. С увеличением частоты УВ соотношение частот меняется $\omega_a \geq \omega_0$, $\omega_a < \omega_r$ и характер магнитоупругих колебаний меняется на релаксационный, приводящий к увеличению α (кривая 3). Поэтому коэффициент α на высоких частотах становится близким по величине при магнитной фазе [111] и в области перехода. В области высоких температур вектор намагниченности **M** направлен вдоль [100], для которого характерна слабая магнитоупругая связь, и волна имеет характер квазиупругой моды до больших частот УВ. Аналогичные зависимости получены и для кристаллов *B* ($a = 0.57$, $b = 0.39$, $c = 0.04$, $M_S = 382$ Gs), однако их поведение имеет и принципиальные отличия (рис. 2). В области перехода значительные пики

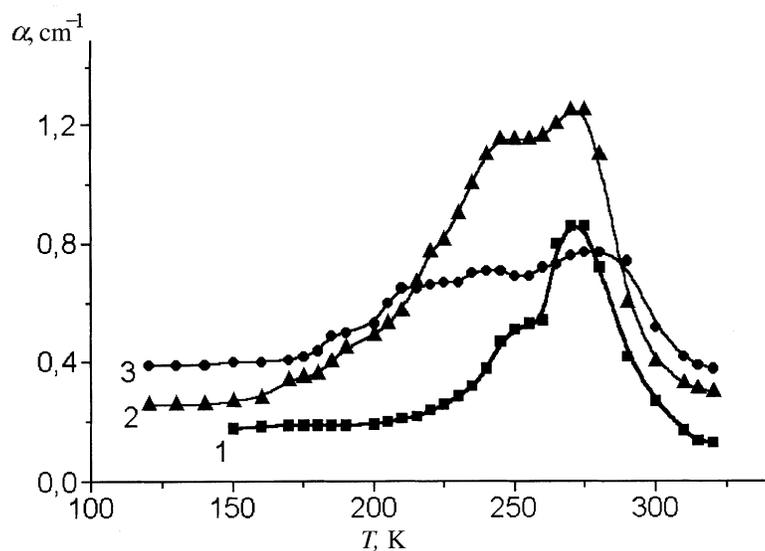


Рис. 1. Температурные зависимости коэффициента затухания продольных УВ в МЦШ типа А. Частоты УВ в МГц: 1 — 6; 2 — 22; 3 — 39. Распространение волны вдоль [110].

затухания продольных УВ наблюдаются только на более низких частотах ($f < 6$ МГц) по сравнению с кристаллом А. Следовательно, кристаллы МЦШ типа В характеризуются меньшими значениями внутренних полей по сравнению с кристаллами А. Оценки усредненных по образцам значений H_{in} в области перехода с учетом того, что максимальное затухание $\alpha(T, \omega)$ наблюдается на частоте $\omega_0 \approx \omega_a$, дают: $H_{in} \sim 8$ и 0.9 Ое для образцов А и В соответственно. Такие значения внутренних полей подтверждаются и экспериментальными исследованиями коэрцитивной силы аналогичных образцов [5], которая по порядку величины близка к полям анизотропии. Для кристалла В на более высоких частотах (кривая 3) максимум $\alpha(T)$ в области инверсии K_1 становится слабо разрешимым на фоне большого затухания вдали от перехода. Это может быть связано с тем, что для кристалла В характерны большее количество доменов (вследствие малости K_1 в широком интервале температур) [1] и плавное изменение полей анизотропии с изменением температуры [5]

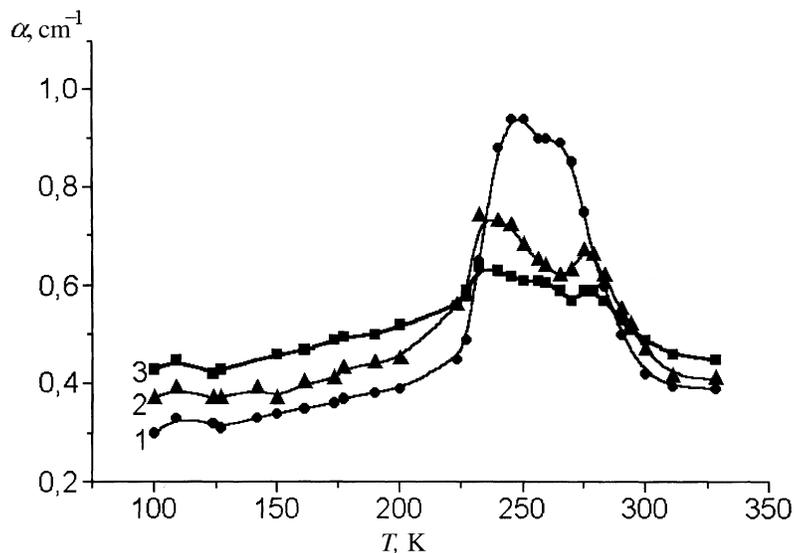


Рис. 2. Температурные зависимости коэффициента затухания продольных УВ в МЦШ типа *B*. Частоты УВ в МГц: 1 — 2,5; 2 — 5; 3 — 11. Распространение волны вдоль [111].

по сравнению с кристаллом *A*. Результатом этого является малое изменение угла, усредненного по всем доменам, между направлениями распространения УВ и *M* в области перехода, который определяет эффективность магнитоупругого взаимодействия [6].

Для выяснения такого отличия свойств кристаллов был проведен рентгеновский дифрактометрический анализ. Он показал идентичность кристаллографической структуры образцов. Рассчитанные значения параметра ячейки составили: $a_1 = (8.48 \pm 0.02) \text{ \AA}$, $a_2 = (8.50 \pm 0.03) \text{ \AA}$ для кристаллов *A* и *B* соответственно. Однако в кристалле *B* обнаружено незначительное отклонение от кубической сингонии в сторону тетрагональной: $a/c = 1.006 \pm 0.002$. Кроме того, наблюдался рост интенсивности на дифрактограмме с увеличением угла дифракции в кристаллах *B* по сравнению с кристаллом *A*, что является следствием большей макроскопической разупорядоченности кристаллического вещества. Таким образом, с учетом рентгеноструктурного анализа и различных значений

намагниченности насыщения, внутренних полей для кристаллов *A* и *B* можно сделать вывод, что отличие магнитных и магнитоупругих свойств в МЦШ близкого состава обусловлено большей макроскопической разупорядоченностью кристаллов *B*, а также различным распределением ионов Fe^{+2} , Fe^{+3} в октаэдрических и тетраэдрических междоузлиях решетки шпинели и связано с различием методов роста.

Авторы выражают искреннюю благодарность за ценные замечания и обсуждение статьи проф. В.Г. Шаврову, С.Г. Абаренковой за предоставление образцов, М.В. Баженову за помощь в проведении исследований и Е.А. Голубеву за дифрактометрический анализ образцов.

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований РАН (грант 00-02-16710).

Список литературы

- [1] Баженов М.В., Котов Л.Н. // Акустический журнал. 1997. Т. 43. № 6. С. 732–736.
- [2] Бучельников В.Д., Шавров В.Г. // Письма в ЖЭТФ. 1994. Т. 60. В. 7. С. 534–537.
- [3] Голдин Б.А., Котов Л.Н., Зарембо Л.К., Карпачев С.Н. Спин-фононные взаимодействия в кристаллах (ферритах). Л.: Наука, 1991. 149 с.
- [4] Kotov L.N., Bagenov M.V. // Proceedings II Ultrasonics World Congress. 1997. Yokohama, Japan. P. 240–241.
- [5] Абаренкова С.Г., Кочнов С.А., Саенко И.В., Харинская М.А. // Электронная техника. Сер. 6. Материалы. 1991. В. 8(264). С. 28–32.
- [6] Смоленский Г.А., Леманов В.В., Недлин Г.М. и др. Физика магнитных диэлектриков. Л.: Наука, 1974. 334 с.