

УДК 534.222:537.635

© 1991 г.

*С. Г. Абаренкова, Л. К. Зарембо, С. Н. Карпачев,
А. В. Уваров*

О ЗАТУХАНИИ УЛЬТРАЗВУКА В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФЕРРИТАХ

Проведено сравнительное исследование затухания сдвиговых волн частотой 30 МГц в поли- и монокристаллах марганец-цинковых шпинелей. Рассмотрено влияние рассеяния на зернах и излучения спиновых волн при колебании доменной границы.

Затухание ультразвука в магнитных материалах обусловлено рядом механизмов, разделение которых представляет, как уже отмечалось [1], значительные трудности даже в случае монокристаллов. В поликристаллах магнитные механизмы затухания проявляются более сложным образом, что связано, например, с возможным закреплением доменных стенок на границах зерен и с разориентацией кристаллографических осей различных зерен. Кроме того, появляются и новые механизмы немагнитной природы (рассеяние, контактные явления и др.). Это делает задачу выяснения определяющих механизмов затухания еще более сложной. Сравнительное исследование затухания ультразвуковых волн в поли- и монокристаллах близкого химического состава, а также изучение корреляции затухания с различными магнитными характеристиками поликристаллических образцов (коэрцитивным полем, магнитной проницаемостью) позволяют сделать более определенные заключения о преимущественных механизмах затухания.

Эксперименты проводились на поперечных звуковых волнах частотой 30 МГц. Поликристаллические образцы марганец-цинковой (МЦШ) и никель-цинковой (НЦШ) шпинелей представляли собой диски диаметром 40 мм и толщиной 10 мм и параллелепипеды размером $3 \times 4 \times 20$ мм³, вырезанные из этих дисков. Образцы МЦШ незначительно различались химическим составом (в основном соотношением двух- и трехвалентных ионов железа), пористостью и зернистостью. Поликристаллы МЦШ практически не отличались по составу от исследованных ранее монокристаллов МЦШ [1]. Измерения проводились по стандартной эхоимпульсной методике во внешнем постоянном однородном магнитном поле (диапазон изменения — от 0 до 3 кЭ). В полях, больших 2–2,5 кЭ, достигалось магнитное насыщение исследуемых образцов. Традиционными методами [2] были получены данные о структуре ферритов (в монокристаллах — плотность дислокаций n_d , в поликристаллах — размер зерна d , пористость p) и о магнитных характеристиках поликристаллов — магнитной проницаемости μ_H и коэрцитивном поле H_c . В таблице приведены магнитные и акустические параметры исследованных образцов: скорость поперечных волн c_0 , коэффициенты затухания в нулевом поле α_0^s , в насыщении α_s^s и доменное затухание $\alpha_D^s = \alpha_0^s - \alpha_s^s$. Термин «доменное затухание» несколько условен, так как α_D^s включает также магнитные резонансные и релаксационные потери, характерные для магнетиков с неоднородными внутренними полями в отсутствие внешнего магнитного поля. Никель-цинковые

№ п. п.	Состав	n_d , см ⁻²	d , мкм	p , %
	Монокристалл	10^5	—	—
	$Mn_{0,62}Zn_{0,34}Fe_{2,04}O_4$	10^4	—	—
	Поликристаллы	10^3	—	—
1	$Mn_{0,5}Zn_{0,45}Fe_{0,055}^{2+}Fe_{2,005}^{3+}O_4$	—	26	0,3
2	$Mn_{0,5}Zn_{0,44}Fe_{0,052}^{2+}Fe_{2,012}^{3+}O_4$	—	26	0,3
3	$Mn_{0,49}Zn_{0,46}Fe_{0,035}^{2+}Fe_{2,042}^{3+}O_4$	—	<8	1
4	$Ni_{0,6}Zn_{0,39}Fe_{2,01}^{2+}O_4$	—	8	0,5–0,7
5	$Ni_{0,63}Zn_{0,36}Fe_{2,01}^{2+}O_4$	—	5	0,5–0,7

шпинели имели мелкозернистую структуру. Для образцов 3–5 в знаменателях акустических характеристик приведены данные, полученные на образцах-параллелепипедах. Различие в значениях коэффициента затухания в дисках и призмах в пределах ошибки измерения ($\sim 20\%$) может быть объяснено также дефектами, вносимыми в процессе механической обработки образцов.

Рассмотрим вначале доменное затухание. Оно в исследованных поликристаллических МЦШ лишь незначительно больше доменного затухания в монокристаллах. Этот тип затухания имеет, по-видимому, слабую зависимость от размера зерна: в мелкозернистых кристаллах МЦШ наблюдается тенденция к увеличению доменного затухания. Оценка равновесного размера домена в отдельных зернах дает для образцов 1–3: $D_{1,2} \sim 10$ мкм, $D_3 \sim 6$ мкм. Для образцов МЦШ размером ~ 10 мм без учета возможного закрепления стенок доменов на границах зерен равновесный размер домена $D_0 \sim 220$ мкм, т. е. домен охватывает десятки зерен. Возможность существования таких полизернистых доменов со слабым закреплением стенок на границах зерен подтверждается незначительным отличием доменного затухания в поли- и монокристаллах. Однако влияние закрепления доменных стенок в поликристаллах все же сказывается и приводит к увеличению затухания, что прослеживается для марганец-цинковых и никель-цинковых шпинелей на корреляции коэрцитивного поля H_c с α_D^s .

Перейдем далее к затуханию в области насыщения (остаточному затуханию) α_s^s . В работе [1] было показано на примере монокристаллов, что остаточное затухание перестает зависеть от ориентации внешнего поля относительно кристаллографических осей образца; магнитные потери незначительны и затухание обусловлено в основном дефектами структуры. Перенося эти результаты на поликристаллы, можно считать, что затухание в насыщении не зависит от кристаллографической ориентации зерен относительно магнитного поля. Из результатов измерения α_s^s в поликристаллах обращает на себя внимание большое различие в затухании в мелкозернистом (3) и крупнозернистых (1 и 2) образцах МЦШ. Оно обусловлено в основном рассеянием на зернах. В крупнозернистых кристаллах 1 и 2 отношение длины волны звука λ к размеру зерна d примерно равно четырем и рассеяние нельзя считать рэлеевским. Затухание, вызванное рассеянием, можно оценить следующим образом: $(\alpha_s^s)_п - (\alpha_s^s)_м \sim 4$ см⁻¹, (где $(\alpha_s^s)_п, м$ — остаточное затухание соответственно в поли- и монокристаллах), оно намного превышает доменное затухание и является доминирующим. В мелкозернистом образце 3 $\lambda/d \sim 15$ и рассеяние близко к рэлеевскому. Вызванное рассеянием затухание имеет

μ_H	$H_c, \text{ Э}$	$c_0, \text{ км/с}$	$\alpha_0^s, \text{ см}^{-1}$	$\alpha_s^s, \text{ см}^{-1}$	$\alpha_D^s, \text{ см}^{-1}$
—	—	—	0,98	0,23	0,75
—	—	—	1,13	0,20	0,90
—	—	—	1,50	0,15	1,35
5330	0,04	3,22	5,26	4,17	1,09
4110	0,04	3,30	5,12	4,11	1,01
1400	0,16	3,62/3,61	1,81/2,51	0,35/0,58	1,46/1,93
1290	0,22	3,72/3,70	3,97/4,39	0,34/0,53	3,63/3,86
822	0,28	3,72/3,63	3,98/3,90	0,24/0,14	8,74/3,76

порядок $(\alpha_s^s)_п - (\alpha_s^s)_м \sim 0,1 \text{ см}^{-1}$, а начальное затухание α_0^s близко к затуханию в монокристаллах.

Отметим, однако, что из-за особенностей технологии изготовления поликристаллических ферритов плотность дислокаций в зернах достаточно высока по сравнению с монокристаллами. Поэтому в остаточном затухании необходимо учитывать еще и дислокационное затухание. При достаточно низкой плотности дислокаций ($< 10^5 \text{ см}^{-2}$) в монокристаллах (см. таблицу) увеличение n_d приводило к уменьшению затухания. Из-за слабой зависимости дислокационного затухания от плотности дислокаций можно с уверенностью сказать, что остаточное затухание, в особенности в образцах 1 и 2, не определялось этим видом потерь. В поликристаллах возможно также затухание, обусловленное контактными диффузными явлениями, вклад которых оценить трудно. Однако в мелкозернистом образце эти потери должны бы быть больше, т. е. этот механизм в нашем случае не был определяющим.

Подводя итоги, можно сказать, что затухание сдвиговых волн в поликристаллах ферритов при размере зерен, сравнимом с длиной волны, в основном обусловлено нерэлеевским, достаточно сильным рассеянием звука на зернах. Для мелкозернистых поликристаллов рассеяние вносит незначительный вклад в общее затухание. Определяющим становится доменное затухание (близкое по порядку величины к затуханию в монокристаллах), механизм которого связан с излучением спиновых волн при колебаниях доменных границ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зарембо Л. К., Карпачев С. Н. Затухание ультразвука в монокристаллах марганец-цинковых ферритов // Акуст. журн. 1989. Т. 35. № 1. С. 51–54.
2. Яковлев Ю. М., Генделев С. Ш. Монокристаллы ферритов в радиоэлектронике. М.: Сов. радио, 1975. 360 с.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова
физический факультет

Поступила в редакцию
06.03.90

*S. G. Abarenkova, L. K. Zarembo, S. N. Karpachev,
A. V. Uvarov*

ON ULTRASOUND ADSORPTION IN POLYCRYSTAL FERRITES

A comparative investigation of 30 MHz shear waves absorption in poly- and mono-crystals of Mn-Zn spinel is carried out. The influence of scattering by the grains and spin wave generation during oscillation of a domain boundary is considered.