

05.2; 08

© 1992

ВОЗБУЖДЕНИЕ И РЕГИСТРАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМОЙ СЛАБО СВЯЗАННЫХ МАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ

А.А. Кулешов, В.М. Сарнацкий,
А.А. Шono

Известно, что явление магнитоакустического эха в порошках ферритов [1, 2] основано на коллективном возбуждении акустических колебаний порошинок из магнитоотрицательного материала, помещенных в комбинацию переменного и постоянного магнитного полей. Однако непосредственной регистрации таких колебаний и исследований энергетических и спектральных характеристик возникающего при этом потока акустической энергии до настоящего времени не проводилось.

Нами изучена эффективность магнитоакустического и акустомагнитного преобразования (соответственно режим возбуждения и регистрации ультразвука) системой слабо связанных между собой магнитных частиц в зависимости от величины магнитоупругой связи и констант магнитной анизотропии материала частиц, от ориентации и напряженности внешнего магнитного поля, от соотношения между размером частиц, их дисперсией по размеру и частотой ультразвука. Под слабой связью подразумевается минимальная механическая связь между ближайшими частицами, которая достигалась следующим образом:

- а) толщина нанесенного слоя частиц выполнялась минимальной, в пределе стремящейся к монослою;
- б) распределения частиц по поверхности звукопровода осуществлялось так, чтобы соседние частицы не имели взаимных акустических контактов, т.е. не соприкасались;
- в) частицы фиксировались на поверхности звукопровода слоем клея, толщина которого много меньше среднего размера частиц. Слабая связь между частицами дает возможность каждой частице внести практически индивидуальный вклад в кооперативный процесс преобразования. При этом можно ожидать, что наибольшая эффективность преобразования будет достигаться при условии равенства среднего размера частиц d и половины длины волны ультразвука соответствующей поляризации.

Исследования проводились на установке, блок-схема которой в режиме возбуждения ультразвука показана на рис. 1, где 1 – звукопровод цилиндрической формы с плоскопараллельными торцами, 2 – частицы из магнитоотрицательного материала, 3 – широкополосный пьезопреобразователь из иодата лития [3], 4 – катушка возбуж-

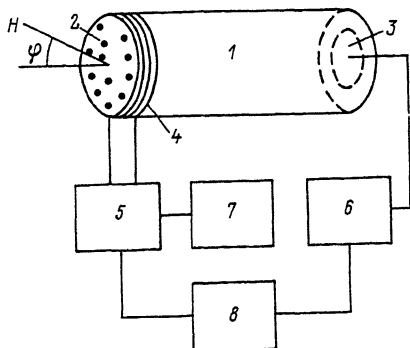


Рис. 1. Блок-схема установки для исследования возбуждения ультразвука системой магнитных частиц.

дения, 5 – генератор радиочастотных импульсов, 6 – широкополосный усилитель, 7 – частотомер, 8 – осциллограф, ψ – угол между направлением постоянного магнитного поля H и перпендикуляром к плоскости расположения магнитных частиц на звукопроводе. В режиме регистрации ультразвука радиочастотные импульсы прикладываются к пьезопреобразователю 3, а регистрируемые сигналы снимаются с катушки 4.

При $\psi = 0^\circ$ в звукопроводе 1 возбуждаются и регистрируются преимущественно продольные колебания, при $\psi = 90^\circ$ – сдвиговые с ориентацией поляризации строго по направлению постоянного магнитного поля.

Магнитные частицы приготавливались путем механического размельчения и просеивания через мерные сита поли- и монокристаллических объемных образцов ферритов с различными магнитоупругими свойствами и с большой разницей констант магнитной анизотропии [4] – железо-иттриевого граната (ЖИГ), марганец-цинковой шпинели (МЦШ), бариевого феррита ($BaFe_{12}O_{19}$), никель-кобальтового феррита ($Ni_{0.98}Co_{0.02}Fe_2O_4$). Размеры частиц варьировались от 25 до 400 микрон, дисперсия по размеру составляла $\sim 80\%$.

При подаче на катушку возбуждения 4 от генераторов 5 радиочастотных импульсов длительностью 2–4 мкс и частотой заполнения 5–50 МГц (подбирается исходя из среднего радиуса частиц и типа колебаний) на экране осциллографа 8 регистрируется серия акустических импульсов возбужденных частицами на счет магнитострикции, и испытавших многократные отражения в звукопроводе.

Эффективность преобразования оценивалась по амплитуде A первого прошедшего через звукопровод акустического импульса. Зависимость величины A от подмагничивающего поля, показанная на рис. 2, носит монотонный характер с насыщением для различных ферритов в области полей от 8 до 25 $KA\ m^{-1}$. Дальнейшее увеличение поля приводит к уменьшению величины A вследствие монодо-

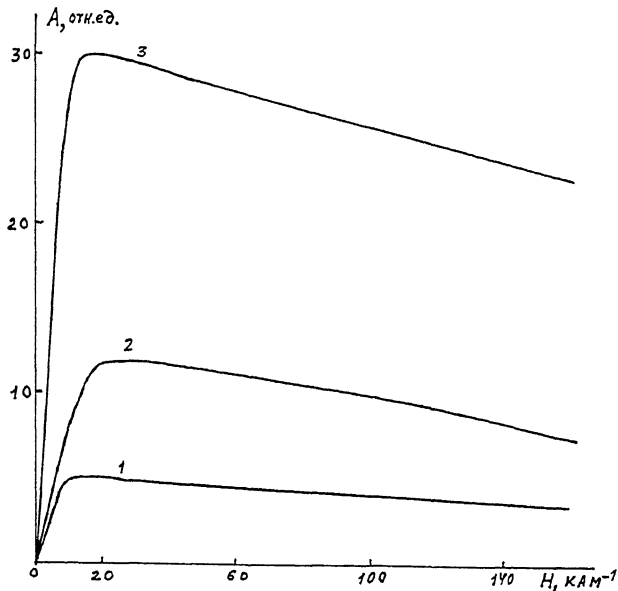


Рис. 2. Зависимости эффективности преобразования ультразвука для различных ферритов от подмагничивающего поля. 1 - ЖИГ, 2 - МЦШ, 3 - никель-кобальтовый феррит.

менизации частиц и увеличения связи между ними по механизму магнитного демпфирования. Амплитудно-частотная характеристика коэффициента преобразования практически повторяет форму кривой распределения частиц по размеру.

В работах [5, 6] при рассмотрении эффективности электромагнитного возбуждения звука в ферромагнетиках за счет воздействия радиочастотного поля на суммарную намагниченность, обусловленную процессами смещения и вращения доменов показано, что смещение \mathcal{U} для 180° доменных границ определяется

$$\mathcal{U} \sim M_s \cdot \lambda_s \cdot \omega^{-1} \cdot K_1^{-1/2} \cdot h,$$

где M_s - намагниченность насыщения, λ_s - магнитострикция насыщения, K_1 - константа магнитной анизотропии, h - напряженность радиочастотного поля, ω - частота.

В таблице приведены значения A в относительных величинах для сдвиговой волны, значения оптимального магнитного поля $H_{\text{опт}}$ при котором наблюдается максимум A , величина намагниченности насыщения $4/3\pi M_s$, значения магнитострикции насыщения λ_s и констант магнитной анизотропии K_1 [4] для всех исследованных ферритов. Измерения A проведены на частоте ультразвука ~ 15 МГц при среднем размере частиц 125 микрон.

Т а б л и ц а

Материал	A	$H_{\text{опт}},$ кАм^{-1}	$4/3\pi M_s,$ кАм^{-1}	$\lambda_s,$ 10^{-6}	$K_1,$ 10^5 Дж м^{-3}
ЖИГ	5	8	150	3	-0.006
МШШ	12	20	400	14	0.002
$Ni_{0.98}Co_{0.02}Fe_2O_4$	30	14	240	30	-0.4
$BaFe_{12}O_{19}$	0	-	800	90	3.3

Из таблицы следует качественное согласие с приведенной выше формулой и четкая корреляция между значениями A и λ_s , величинами $H_{\text{опт}}$ и значениями намагниченности насыщения. Из общей картины выпадает бариевый феррит, в котором, несмотря на самое большое значение λ_s , эффект преобразования отсутствует из-за больших значений внутреннего поля и величины K_1 .

Проведенные исследования позволяют надеяться на практическую реализацию достаточно эффективных преобразователей ультразвука с заданными спектральными и поляризационными характеристиками на основе порошков ферритов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Ефиценко П.Ю., Котов Л.Н., Чарная Е.В. // ФТТ. 1987. Т. 29. В. 8. С. 2424-2428.
- [2] Сарнацкий В.М., Абаренкова С.Г., Котов Л.Н. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 1. С. 7-10.
- [3] Шутитов В.А., Донитов М.Д., Недбай А.И. // Вестник ЛГУ. Сер. 4. 1986. Т. 15. В. 1. С. 23-28.
- [4] Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма. М.: Мир, 1987. 420 с.
- [5] Гигис М.Б. // ФТТ. 1972. Т. 14. В. 12. С. 3563-3567.
- [6] Дроботко В.Ф., Набережных В.В. // ФНТ. 1980. Т. 6. В. 1. С. 72-79.

С.-Петербургский
государственный
университет

Поступило в Редакцию
12 февраля 1992 г.