

05:08

Особенности возбуждения ультразвуковых волн тонкими пластинами монокристаллов марганец-цинкового феррита

© В.М. Сарнацкий

Научно-исследовательский институт физики
С.-Петербургского государственного университета

Поступило в Редакцию 15 августа 1997 г.

Предложено использовать тонкие пластины магнитоотрицательного материала в качестве излучателей высокочастотного ультразвука, и на примере монокристаллов марганец-цинкового феррита, обладающих высокими значениями констант магнитоотрицательности и низкими потерями на токи Фуко, проведены исследования ориентационно-полевых зависимостей эффективности возбуждения звуковых волн различных поляризаций. Обнаружены отличительные особенности возбуждения звука монокристаллическими пластинами по сравнению с поликристаллическими образцами, выявлено направление распространения и поляризация звуковой волны и ее поляризация по отношению к кристаллографическим осям марганец-цинкового феррита с максимальной эффективностью преобразования.

Ультразвуковые преобразователи на основе магнитоотрицательных материалов находят широкое применение в различных областях науки и техники. Однако их рабочий частотный диапазон ограничен сотней кГц из-за значительных потерь на вихревые токи на более высоких частотах и конструктивных особенностей [1]. Нами в работе [2] был описан способ возбуждения и регистрации высокочастотного ультразвука (от единиц до сотни мГц) порошками ферритов, помещенных в суперпозицию переменного и постоянного магнитного поля. При этом было обнаружено, что при параллельной ориентации полей эффективно возбуждается продольная волна, а при перпендикулярной ориентации — сдвиговая с вектором поляризации совпадающим с направлением постоянного магнитного поля.

В настоящей работе представлены результаты исследований эффективности возбуждения высокочастотных ультразвуковых волн (диапазон частот 5–50 МГц) преобразователями, изготовленными на осно-

ве монокристаллов марганец-цинкового феррита (МЦФ), обладающих высокими динамическими магнестрикционными характеристиками и очень малыми потерями на вихревые токи [3]. Конструктивно преобразователь выполнен в виде звукопровода цилиндрической формы, на торце которого с помощью акустической склейки наносится тонкая пластина монокристаллического МЦФ. Толщина пластины выбирается равной 50–500 микрон, что соответствует установлению механического резонанса определенной моды колебаний. Импульс переменного магнитного поля возбуждался вдоль оси звукопровода, направление приложения постоянного магнитного поля определялось типом исследуемых колебаний. Оценка эффективности работы преобразователя проводилась по величине амплитуды первого прошедшего через звукопровод акустического импульса, регистрируемого на противоположном торце звукопровода кварцевым преобразователем соответствующего среза.

В данной работе основное внимание уделялось изучению эффективности возбуждения сдвиговых волн, поэтому переменное и постоянное магнитное поле были перпендикулярны между собой, а пластина МЦФ посредством акустической склейки из эпоксидной смолы без затвердителя могла поворачиваться на торце звукопровода таким образом, что ее стороны составляли произвольный угол с направлением постоянного магнитного поля. Пластины МЦФ имели форму квадрата, со сторонами 9×9 mm ориентированными вдоль кристаллографических направлений $[100]$ и $[110]$; $[110]$ и $[211]$, а плоскости пластин были перпендикулярны направлениям $[110]$ и $[111]$ — соответственно образец N1 и образец N2. Магнитоупругие свойства монокристаллов МЦФ, принадлежащих к кубической сингонии, характеризуются двумя независимыми магнестрикционными постоянными насыщения L_{100} и L_{111} [1]. Абсолютные значения величин L_{100} и L_{111} определяются химическим составом МЦФ, наличием примесей, содержанием двухвалентного железа и для пластин состава $Mn_{0,61}Zn_{0,35}Fe_{2,04}O_4$ они равны соответственно $-14,3 \cdot 10^{-6}$ и $+3,5 \cdot 10^{-6}$.

На рис. 1 показана зависимость эффективности возбуждения сдвиговых волн A от подмагничивающего поля в образце N1 для различных ориентаций пластин МЦФ относительно постоянного магнитного поля. При этом возбужденная ультразвуковая волна распространяется вдоль направления $[1\bar{1}0]$. Как видно из рис. 1, эффективность возбуждения ультразвука в случае Но II $[100]$ почти на порядок выше по сравнению с ориентацией Но II $[110]$, что согласуется с приведенными значениями

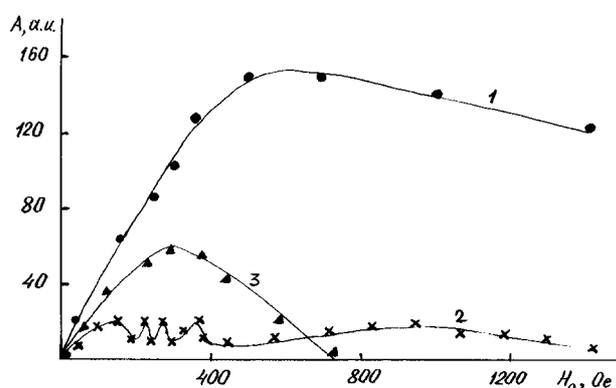


Рис. 1. Зависимость эффективности возбуждения сдвиговых ультразвуковых волн от постоянного магнитного поля H_0 в образце МЦФ N 1: 1 — $H_0 \parallel [100]$, 2 — $H_0 \parallel [110]$; 3 — относится к продольной ультразвуковой волне, направление распространения волны во всех случаях совпадает с кристаллографическим направлением $[110]$.

L100 и L111. Кроме того, в случае $H_0 \parallel [100]$ зависимость эффективности возбуждения ультразвука от подмагничивающего поля носит монотонный характер с ростом величины поля, достигает насыщения в поле 540 Oe, и затем слегка спадает благодаря монодоменизации, в то время как при $H_0 \parallel [110]$ аналогичная зависимость носит квазисинусоидальный характер, достигая соответственно максимумов и минимумов в полях 140, 230, 260, 370, 1000 Oe, что свидетельствует о сложной структуре внутреннего поля. Отличительной особенностью возбуждения звука монокристаллическими пластинами в отличие от поликристаллических порошков является возможность возбуждения продольной ультразвуковой волны одновременно со сдвиговой при взаимно перпендикулярной ориентации переменного и постоянного магнитного поля, что иллюстрирует кривая 3 рис. 1 для случая $H_0 \parallel [100]$. Зависимость эффективности возбужденного продольного звука от подмагничивающего поля носит квазирезонансный характер, и может быть объяснена значительным влиянием поля анизотропии, которое для исследуемого состава МЦФ при комнатной температуре направлено вдоль $[110]$ [4], в результате чего внутреннее поле отличается от внешнего и по величине и по направлению.

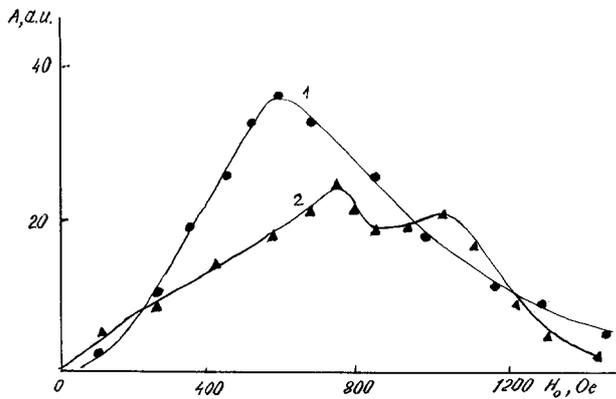


Рис. 2. Эффективность возбуждения сдвиговой ультразвуковой волны в зависимости от постоянного магнитного поля H_0 в образце МЦФ N 2: 1 — $H_0 \parallel [110]$, 2 — $H_0 \parallel [211]$; в обоих случаях волна распространяется вдоль $[111]$.

Эффективность возбуждения сдвиговых ультразвуковых волн распространяющихся в образце N 2 вдоль направления $[111]$ в зависимости от магнитного поля иллюстрируется кривыми 1 и 2 на рис. 2 для двух случаев — а) волна поляризована вдоль $[110]$, б) волна поляризована вдоль $[211]$. Разница в эффективности возбуждения ультразвука поляризованного вдоль различных кристаллографических направлений связана с различием эффективных динамических констант магнитострикции, которые с учетом направляющих косинусов углов между выбранным направлением и направлением основных кристаллографических осей являются комбинацией величин L_{100} и L_{111} , и, кроме того, в значительной мере зависят от внутреннего магнитного поля. Внутреннее поле определяется величиной и взаимным расположением внешнего магнитного поля и кристаллографических осей, полем анизотропии, размагничивающим фактором, формой и размером пластины, а также влиянием замыкающих доменов.

Таким образом, проведенные исследования выявили оптимальное направление для возбуждения сдвиговой ультразвуковой волны максимальной интенсивности пластиной из МЦФ (волновой вектор направлен вдоль $[1\bar{1}0]$, вектор поляризации в волне вдоль $[100]$), возможность одновременного возбуждения продольного и поперечного ультразвука

и информативность акустического метода для исследования магнитных характеристик в монокристаллических ферромагнитных материалах.

Автор выражает искреннюю благодарность И.В. Саенко за предоставленные образцы монокристаллов МЦФ, а также Е.В. Чарной и С.Г. Абаренковой за обсуждение полученных результатов.

Список литературы

- [1] Белов К.П. Магнитоострикционные явления и их технические приложения. М.: Наука, 1987. 159 с.
- [2] Сарнацкий В.М., Кулешов А.А., Шоно А.А. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 7. С. 37–40.
- [3] Абаренкова С.Г., Андреева И.Н., Шевченко С.А. Оксидные магнитные материалы. Труды научно-технич. конференции. Санкт-Петербург, 1992. С. 26–27.
- [4] Сарнацкий В.М., Котов Л.Н., Шутилов В.А. // ФТТ. 1986. Т. 28. В. 6. С. 1783–1787.