

05;08;12

©1993

О ВСТРЕЧНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МАГНИТОУПРУГИХ ВОЛН В ФЕРРИТАХ В ОБЛАСТИ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА

А.К.Зарембо, С.Н.Карпачев, А.И.Яфасов

Проблеме взаимодействия встречных магнитоупругих волн в магнитоупорядоченных материалах в последние годы уделялось достаточное внимание (см., например, [1,2]). Эта проблема интересна как с точки зрения физики нелинейных взаимодействий в магнетиках, так и со стороны чисто технических приложений (например, устройство свертки реализовано в [3,4]).

Ранее полученные экспериментальные результаты в монокристаллах железо-иттриевого граната (ЖИГ) и марганец-цинковой шпинели (МЦШ) (см., например, [5,6]) показали, что при магнитоакустическом резонансе (МАР) в определенной области внешних магнитных полей, соответствующих синхронному взаимодействию упругой и спиновой волн, резко повышается эффективность генерации второй гармоники магнитоупругой волны, то есть существенно (на несколько порядков) возрастает эффективная акустическая нелинейность. Казался бы вполне логичным вывод, что в условиях МАР встречное взаимодействие магнитоупругих волн должно проявляться особенно интенсивно. Тем не менее, это не очевидно и влияние резонанса на эффективность процесса неоднократно подвергалось сомнению.

Для неэллиптических образцов из-за неоднородности внутреннего поля условия МАР достигаются локально и, как показано в [7], в этих локализованных резонансных областях при низкочастотном МАР еще сохраняется развитая доменная структура. Согласно [7], для 180° доменной структуры резонансные области для лево- и правополяризованных магнитоупругих волн (в которых вектор поляризации вращается соответственно против и по часовой стрелке в направлении волнового вектора \mathbf{k}) для фиксированного значения внешнего поля разнесены в пространстве и находятся в доменах различного знака. Поскольку обычно в эксперименте используются волны с линейной поляризацией, то, следовательно, для их двух поляризационных компонент резонансная область раздваивается. Кроме того, если учесть,

что собственные спиновые волны в неоднородном внутреннем магнитном поле распространяются лишь в направлении его убывания (по модулю), а для резонанса необходимо не только условие равенства частот спиновой и упругой волны, но и условие совпадения их волновых векторов, то очевиден следующий вывод: в области внутренних полей с сильной неоднородностью резонансные условия выполняются лишь для определенного направления распространения упругой волны. То есть, возвращаясь к встречному взаимодействию, следует отметить, что эффективная нелинейность в неоднородном поле возрастает лишь для одной из взаимодействующих волн.

Несколько другая ситуация возникает в центре кристалла, где внутреннее поле достаточно однородно (особенно для тонких и длинных образцов). Здесь уже вполне возможна ситуация, когда одна и та же область (один и тот же домен) является резонансной для одной из поляризационных компонент первой взаимодействующей волны и для другой — вращающейся в противоположном направлении — компоненты встречной волны. Именно в центре кристалла и следует ожидать наиболее эффективного взаимодействия встречных волн. Возможное проявление такого взаимодействия, наиболее просто регистрируемое в эксперименте, — возникновение однородного по пространству в пределах области взаимодействия переменного магнитного поля удвоенной частоты, соответствующего сигналу свертки [3].

Экспериментальные исследования проводились на кристалле МЦШ, имеющем форму параллелепипеда размера $20 \times 3 \times 4$ мм, с ориентацией длинной оси вдоль направления $[100]$, вдоль которой и распространялись сдвиговые волны частотой 30 МГц (импульсы длительностью около 1.5 мкс). Использовались кварцевые преобразователи, электрически соединенные параллельно, так что область взаимодействия автоматически оказывалась в центре кристалла. Сигнал свертки снимался с помощью двух катушек: одна была намотана вдоль оси кристалла, ось другой размещалась в плоскости, перпендикулярной его длинной стороне. Линейные размеры катушек (порядка 5 мм) соответствовали длине области взаимодействия. На рис. 1 приведены графики зависимости от внешнего магнитного поля амплитуды первого прошедшего импульса основной частоты A_ω (кривая 1); и второй гармоники магнитоупругой волны $A_{2\omega}$ (кривая 2). На рис. 2 приведен аналогичный график для спинового отклика при встречном взаимодействии $S_{2\omega}$, снимавшегося с катушки.

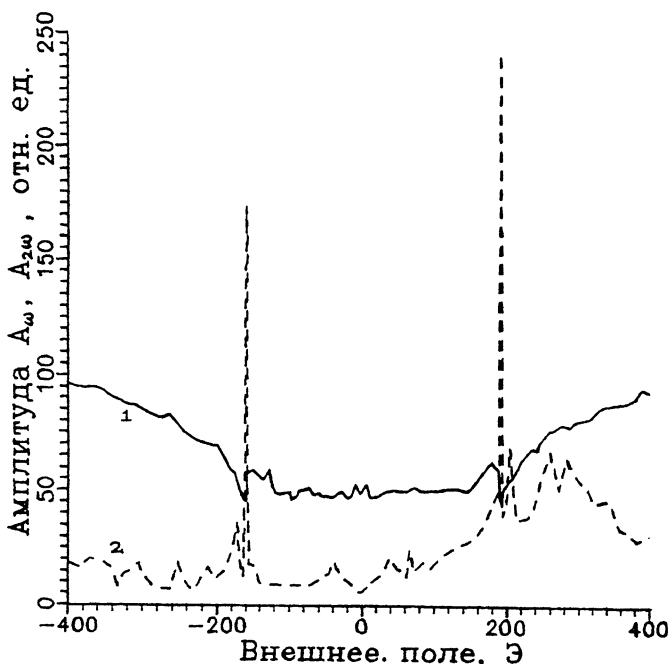


Рис. 1. Магнитоакустические спектры (1 — линейный, 2 — нелинейный) в монокристалле МЦШ [110].

Из графиков следует, что минимумы первой гармоники (соответствующие максимуму поглощения — линейный МАР), максимумы второй гармоники (нелинейный МАР) и пики спинового отклика совпадают по полю, что позволяет сделать вывод о правильности предположения, что встречное взаимодействие наиболее эффективно в области МАР. Спиновый отклик возрастает в резонансном поле по крайней мере на два порядка, что хорошо коррелирует с ранее полученным увеличением квадратичной нелинейности МЦШ в резонансе в 400 ± 100 раз [6]. Отметим также узость линии этого отклика (< 3 Э), свидетельствующую о малом градиенте внутреннего поля в центре кристалла. Это открывает возможности определения естественной ширины линии ФМР на неэллиптических образцах (в то же время контур нелинейного резонанса уширен неоднородностью внутренних полей — рис. 1, кривая 2). Отметим здесь, что близкие результаты для ширины нелинейного МАР были получены в [8], где принимались специальные меры для обеспечения однородности внутреннего поля. Наилучшим оказалось расположение катушки в плоскости, перпендикулярной оси

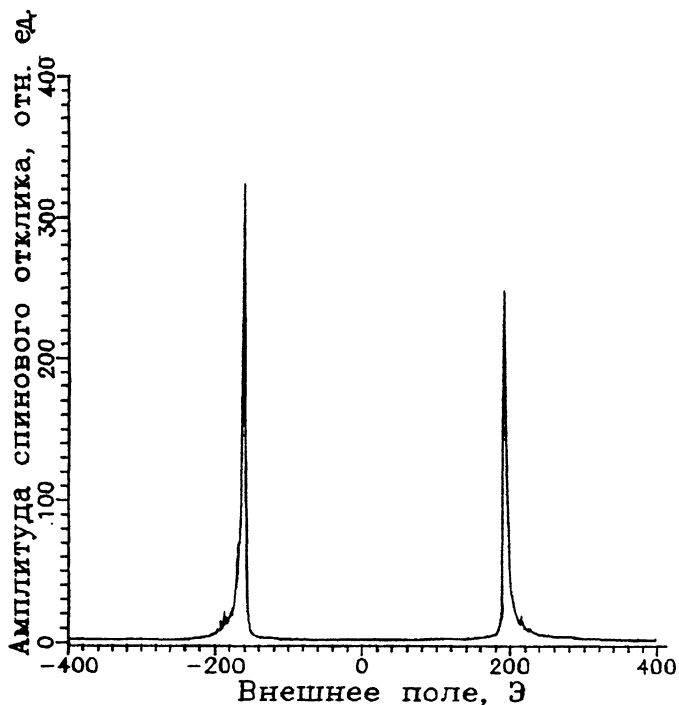


Рис. 2. Зависимость сигнала спинового отклика от внешнего поля.

кристалла: амплитуда сигнала свертки составила 1 мВ на 50-омной нагрузке при амплитуде 200 В на преобразователях. При оптимальном выборе приемной катушки и ее согласовании с приемником этот результат может быть значительно улучшен.

Были проведены дополнительные эксперименты по исследованию зависимости амплитуды спинового отклика от угла между направлением внешнего магнитного поля и волновым вектором звука. По мере увеличения этого угла сигнал уменьшается и при 90° исчезает совсем, аналогично линейному и нелинейному МАР [6]. Данное явление, вероятно объясняется изменением размагничивающих факторов при повороте образца и уменьшением эффективной длины области МАР.

Подводя итоги, следует сказать, что резонансные условия позволяют значительно повысить эффективность встречного взаимодействия магнитоупругих волн. Это взаимодействие локализовано в пространстве, его положение, а также эффективность могут управляться внешним магнитным полем.

Список литературы

- [1] Губкин М.К., Маматова Т.А., Прокошев В.Г. // Акуст. ж-л., 1985. Т. 31. № 5. С. 678.
- [2] Ермолов В.А. В кн.: Управляемые акустоэлектронные устройства обработки аналоговых сигналов, М.: Энергоиздат, 1985. С. 50.
- [3] Ермолов В.А., Горшков Д.Ю. Там же, с. 66.
- [4] Robbins W.P., Lundsrom M.S. // Appl. Phys. Lett. 1975. V. 26. N 3. P. 73.
- [5] Зарембо Л.К., Карпачев С.Н., Генделев С.Ш. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. В. 8. С. 502.
- [6] Зарембо Л.К., Карпачев С.Н. // ЖЭТФ. 1987. Т. 93. В. 4(10). С. 1499.
- [7] Зарембо Л.К., Карпачев С.Н., Веллева О.Ю. // ФТТ. 1992. Т. 34. В. 5. С. 1327.
- [8] Зарембо Л.К., Карпачев С.Н., Генделев С.Ш. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. В. 17. С. 1050.

Поступило в Редакцию
2 августа 1993 г.

