

05.1; 05.2; 06; 08; 09; 12

РЕГИСТРАЦИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ФОНОНОВ,  
ПАРАМЕТРИЧЕСКИ ВОЗБУЖДЕННЫХ  
СВЧ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ  
В АНТИФЕРРОМАГНЕТИКЕ  $\text{FeVO}_3$

© Л.В.Поддьяков

Параметрическое возбуждение фононов методом параллельной СВЧ накачки в антиферромагнетике  $\text{FeVO}_3$  было обнаружено и изучалось в работах [1,2]. Фононы на половинной частоте накачки возбуждались СВЧ магнитным полем в образце, помещенном в спиральный резонатор. Регистрация параметрического резонанса производилась по поглощению СВЧ мощности образцом. При такой методике получить непосредственную информацию о поляризации и направлении распространения возбуждаемых фононов довольно сложно. Напрямую исследовать упругие волны в твердом теле можно с помощью регистрации фононов пьезоэлектрическим преобразователем. Ранее в работе [3] акустический преобразователь был использован для исследования резонансного взаимодействия магнитоупругих волн с ядерной спиновой системой вблизи точки пересечения спектров ЯМР и звука ( $\omega/2\pi = 75$  МГц).

Целью данной работы является исследование параметрических фононов с помощью пьезопреобразователя. Применялись преобразователи двух видов: на частоте  $\omega_{ph}/2\pi = 12$  МГц — из кварца (Y-срез); на частоте  $\omega_{ph}/2\pi \cong 400$  МГц — из  $\text{LiNbO}_3$  (163° Y-срез). Преобразователи соответствовали чистым модам поперечных упругих волн, поскольку в легкоплоскостных антиферромагнетиках наиболее сильно со спиновой системой связан поперечный звук [4]. Фононы возбуждались методом параллельной накачки на частотах накачки  $\omega_p/2\pi = 24$  МГц и  $\omega_p/2\pi = 795 \div 804$  МГц в спиральном резонаторе при температурах  $T = 293$  К и  $T = 77$  К. Образец находился в атмосфере азота. Монокристаллы  $\text{FeVO}_3$  имели форму тонких пластин с толщиной 0.2–0.4 мм и размерами в плоскости 1.5–5 мм. Плоскость пластин являлась естественной плоскостью роста кристалла и совпадала с плоскостью легкого намагничивания. Преобразователь приклеивался к этой плоскости с помощью тонкого слоя силиконового масла.

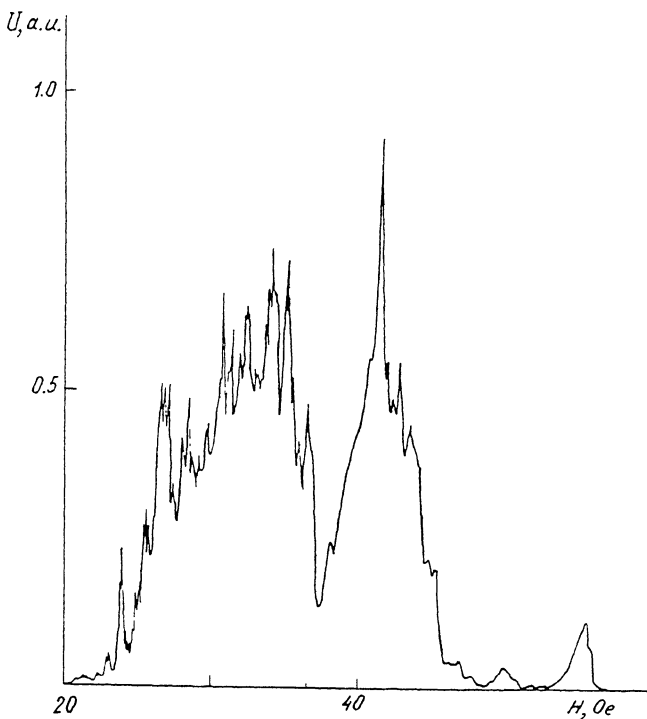


Рис. 1. Зависимость сигнала, принимаемого преобразователем из  $\text{LiNbO}_3$ , от величины постоянного магнитного поля в образце  $\text{FeVO}_3$ ,  $\omega_{ph}/2\pi = 402$  МГц,  $T = 293$  К.

Сигнал с преобразователя подавался через широкополосный усилитель на приемник, а затем на самописец. Измерения проводились в импульсном режиме, с длительностью импульса  $300\mu\text{sec}$ . Возбуждение звука в образце регистрировалось преобразователем только при настройке приемника точно на половинную частоту накачки  $\omega_{ph} = \omega_p/2$  и при условии превышения порогового уровня СВЧ мощности.

На рис. 1 представлена запись на самописце зависимости амплитуды сигнала с преобразователя от величины постоянного магнитного поля на образце при фиксированном уровне падающей СВЧ мощности. Приведенная запись производилась при комнатной температуре. При азотной температуре уровень пороговой СВЧ мощности заметно уменьшается [2], благодаря чему параметрическое возбуждение удается наблюдать в значительно более широком диапазоне магнитных полей (рис. 2). Аналогичные зависимости были получены и на других частотах накачки.

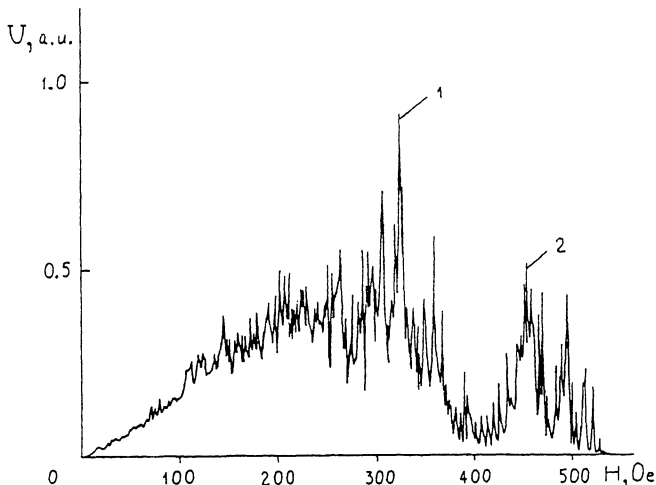


Рис. 2. То же, что на рис. 1, но при  $\omega_{ph}/2\pi = 398$  МГц и  $T = 77$  К. Цифрами 1 и 2 обозначены вершины максимумов, соответствующих двум последовательным акустическим резонансам на толщине образца  $\text{FeVO}_3$ .

Для объяснения наблюдаемой зависимости необходимо принять во внимание тот факт, что длина свободного пробега фонона примерно на порядок превышает толщину образца [1], а скорость поперечных фононов, распространяющихся вдоль оси  $C_3$  кристалла, является функцией магнитного поля [1,4]:

$$c = c_0 \left[ \frac{H(H + H_D)}{H(H + H_D) + H_\Delta^2} \right]^{1/2}. \quad (1)$$

Здесь  $c_0 = 4.71 \cdot 10^5$  см/с [5] — скорость звука без учета влияния магнитной подсистемы,  $H$  — проекция статического магнитного поля на легкую плоскость кристалла,  $H_D$  — поле Дзялошинского, характеризующее величину скоса магнитных подрешеток антиферромагнетика ( $H_D = 100$  кОе при  $T = 77$  К [6]),  $H_\Delta^2$  — параметр магнитоупругого взаимодействия ( $H_\Delta^2 = 4.3$  кОе<sup>2</sup> при  $T = 77$  К [6]). Пики амплитуды принимаемой упругой волны соответствуют минимумам в затухании фононов в образце  $\text{FeVO}_3$  с данной длиной волны (длина волны фонона монотонно убывает с уменьшением величины постоянного магнитного поля (см. формулу (1)). Наиболее интенсивные акустические резонансы наблюдаются в случае, когда на толщине образца укладывается целое число полуволн (вершины соответствующих максимумов амплитуды упругой волны обозначены цифрами 1 и 2

на рис. 2). Точно вычислить величину магнитного поля для каждого резонанса трудно, поскольку толщина образца измеряется с ошибкой 5 мкм, что примерно равно половине длины волны ( $\lambda_{ph} \cong 12$  мкм при  $\omega_{ph}/2\pi \cong 400$  мГц). Можно, привязавшись к положению одного из резонансов, рассчитать расстояние между ними, используя формулу (1) и значение толщины образца  $d = 355$  мкм. Получается величина  $\Delta H_T = 115$  Ое, которая хорошо согласуется с экспериментальной  $\Delta H_3 = 130$  Ое. На рис. 2 видно только два резонансных максимума потому, что в больших магнитных полях уже не достигается порог параметрического возбуждения, а в меньших магнитных полях, наоборот, порог понижается, фоновая система становится сильно возбужденной, поэтому возрастает затухание за счет нелинейности системы [2] и ухудшается различимость максимумов. Многочисленные мелкие пики, по-видимому, соответствуют наличию ступенек на поверхности образца с разбросом по высоте  $0.1 \div 0.3$  мкм. Такие ступеньки действительно были обнаружены при исследовании поверхности образца на профилографе. Поверхности образованных этими ступеньками плато были параллельны легкой плоскости кристалла, поэтому грань в целом обладала зеркальным блеском. Таким образом, акустические несовершенства образца оказывают сильное влияние на эффективность генерации звука.

Если преобразователь вращать относительно главной оси кристалла  $\text{FeVO}_3$  вместе с направлением магнитного поля, то амплитуда сигнала на преобразователе практически не меняется. При вращении только направления магнитного поля (условие параллельной накачки сохраняется), для некоторых углов поворота амплитуда сигнала изменяется значительно (не менее, чем в два раза). Отсюда можно сделать вывод о том, что направление поляризации фононов в легкой плоскости связано с направлением магнитного поля. По-видимому, фононы поляризованы вдоль магнитного поля.

Таким образом, проведенные эксперименты позволили напрямую наблюдать возбуждение поперечных фононов с частотой  $\omega_{ph} = \omega_p/2$  при параллельной накачке в антиферромагнетике  $\text{FeVO}_3$  и обнаружить немонотонную зависимость амплитуды принимаемой упругой волны от величины постоянного магнитного поля.

Автор выражает благодарность К.Н. Зивовьевой за помощь и консультации по вопросам методики гиперзвука, а также Я.А. Ребане за исследование образца на профилографе.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 95-02-03960).

## Список литературы

- [1] Андриенко А.В., Поддзяков Л.В. // ЖЭТФ. 1989. Т. 95. № 6. С. 2117-2124.
- [2] Андриенко А.В., Поддзяков Л.В. // ЖЭТФ. 1991. Т. 99. № 1. С. 313-329.
- [3] Иванов А.В., Корнеев В.Р., Паугурт А.П. // ФТТ. 1982. Т. 24. № 3. С. 883-885.
- [4] Ожогин В.И., Преображенский В.Л. // УФН. 1988. Т. 155. № 4. С. 593-621.
- [5] Jantz W., Sandercock J.R., Wettling W. // J. Phys. C: Solid State Phys. 1976. V. 9. P. 2229-2240.
- [6] Великов Л.В., Прохоров А.С., Рудашевский Е.Г., Селезнев В.Н. // ЖЭТФ. 1974. Т. 66. № 5. С. 1847-1861.

Российский научный центр  
"Курчатовский институт"  
Москва

Поступило в Редакцию  
5 марта 1996 г.

