

## АНТИФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В $TmFeO_3$

*А.М.Балбашов, Г.В.Козлов, С.П.Лебедев,  
А.М.Прохоров, А.С.Прохоров*

Сообщается о наблюдении в субмиллиметровых (СБММ) спектрах монокристаллов  $TmFeO_3$  двух линий поглощения ( $\nu_1 = 13 \text{ см}^{-1}$ ,  $\nu_2 = 23,9 \text{ см}^{-1}$  при  $T = 300 \text{ К}$ ), которые интерпретируются как две ветви антиферромагнитного резонанса (АФМР), характерные для орторомбических антиферромагнетиков.

При комнатной температуре ортоферрит тулия является антиферромагнетиком ( $T_N = 632 \text{ К}$ ) со слабым ферромагнитным моментом. Теория АФМР, основанная на двухподрешеточной модели, предсказывает для орторомбических антиферромагнетиков существование двух магнонных мод <sup>1, 2</sup>. Экспериментальные исследования спектров комбинационного рассеяния света <sup>3</sup>, нейтронных <sup>4</sup> и инфракрасных <sup>5, 6</sup> спектров орторомбических ортоферритов ( $YFeO_3$ ,  $DyFeO_3$ ,  $HoFeO_3$ ,  $ErFeO_3$ ) подтвердили эти предсказания. Оказалось, что частоты АФМР в этих кристаллах лежат при комнатной температуре в районе  $8 - 25 \text{ см}^{-1}$ .

Для  $\text{TmFeO}_3$  линии АФМР наблюдались пока только в нейтронных спектрах <sup>4</sup>, и с невысоким разрешением ( $\nu/\Delta\nu \sim 3$ ) их частоты при  $T \sim 300\text{К}$  были определены как  $\nu_1 = 16\text{ см}^{-1}$  и  $\nu_2 \approx 30\text{ см}^{-1}$ .

Относительно  $\text{TmFeO}_3$ , избранного нами для исследований, необходимо отметить еще и то, что в нем на частотах, характерных для АФМР, а именно, на  $\nu = 13,0\text{ см}^{-1}$ , группой авторов обнаружено и интенсивно изучается <sup>7-10</sup> явление, которое интерпретируется ими как новый тип резонансного поглощения в ортоферритах — естественный АФМР в доменных стенках.

Целью настоящей работы явилось наблюдение и исследование АФМР в  $\text{TmFeO}_3$  в спектрах инфракрасного поглощения (методом СБММ спектроскопии) и, по возможности, выяснение природы поглощения на  $\nu = 13,0\text{ см}^{-1}$ , наблюдавшегося в <sup>7-10</sup>.

Нами исследовались монокристаллы  $\text{TmFeO}_3$ , выращенные методом безтигельной зонной плавки с радиационным разогревом <sup>11</sup>. Образцы представляли собой плоскопараллельные пластинки с характерными поперечными размерами  $\sim 10\text{ мм}$  и толщинами в пределах  $0,5 - 3\text{ мм}$ . Пластинки были вырезаны из булы таким образом, что слабоферромагнитный момент  $\mathbf{M}$  располагался в плоскости пластинок.

На субмиллиметровом ЛОВ-спектрометре<sup>1)</sup> "Эпсилон"<sup>12</sup> пластинки  $\text{TmFeO}_3$  по нормали к плоскости просвечивались пучком поляризованного монохроматического излучения. В процессе эксперимента частота излучения непрерывно перестраивалась и таким образом нами при комнатной температуре были сняты спектры пропускания  $T(\nu)$  образцов  $\text{TmFeO}_3$  в диапазоне частот от  $8$  до  $33\text{ см}^{-1}$ . Спектры  $T(\nu)$  регистрировались для двух ориентаций вектора высокочастотного магнитного поля  $\mathbf{h}$  относительно  $\mathbf{M}$  при  $\mathbf{h} \parallel \mathbf{M}$  и при  $\mathbf{h} \perp \mathbf{M}$ . Помимо этого измерения проводились как без внешнего магнитного поля, так и в присутствии поля  $\mathbf{H}$  величиной до  $3,6\text{ кЭ}$ , прикладывавшегося к образцам в ориентации  $\mathbf{H} \parallel \mathbf{M}$ .

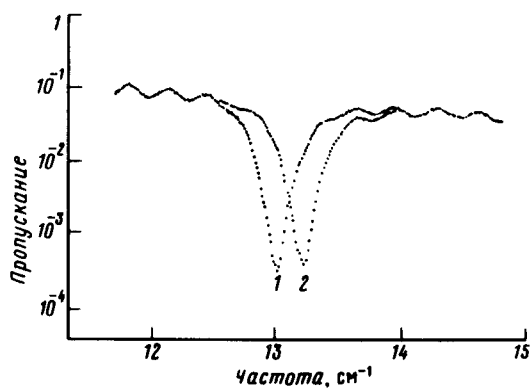


Рис. 1

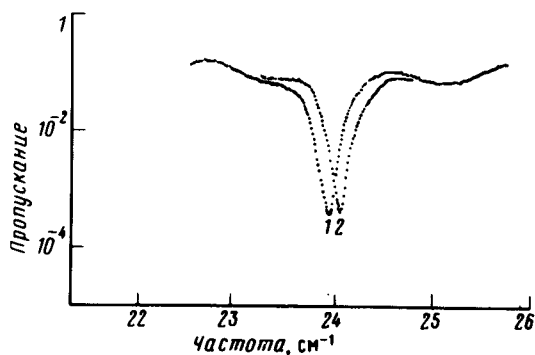


Рис. 2

Рис. 1. Спектр пропускания  $T(\nu)$  образца  $\text{TmFeO}_3$  толщиной  $d = 2,703\text{ мм}$  при  $\mathbf{h} \perp \mathbf{M}$ . Периодические осцилляции на зависимости  $T(\nu)$  — результат интерференции излучения внутри образца. Глубокий минимум — линия поглощения низкочастотной ветви АФМР: 1 —  $H = 0$ , 2 —  $H = 3,6\text{ кЭ}$

Рис. 2. Спектр пропускания  $T(\nu)$  образца  $\text{TmFeO}_3$  толщиной  $d = 0,883\text{ мм}$  при  $\mathbf{h} \parallel \mathbf{M}$  в окрестности линии поглощения высокочастотной ветви АФМР: 1 —  $H = 0$ , 2 —  $H = 3,6\text{ кЭ}$

Типичные результаты измерений представлены на рис. 1 и рис. 2. В полном соответствии с условиями возбуждения АФМР в орторомбических антиферромагнетиках в  $\text{TmFeO}_3$  в каждой из ориентаций —  $\mathbf{h} \perp \mathbf{M}$  и  $\mathbf{h} \parallel \mathbf{M}$  — наблюдается по одной резкой линии поглощения — на частотах соответственно  $\nu_1 = 13,0\text{ см}^{-1}$  и  $\nu_2 = 23,9\text{ см}^{-1}$ . При наложении внешнего

1) ЛОВ — лампа обратной волны

магнитного поля  $\mathbf{H} \parallel \mathbf{M}$  частоты обеих мод возрастают. При этом ни форма, ни ширина линий заметно не изменяются.

Из известного соотношения <sup>1, 2</sup>

$$\nu_{1,2}^2(H) = \nu_{1,2}^2(0) + \gamma^2 H H_{1,2}$$

где  $\gamma$  — гиромагнитное отношение. Считая  $g$ -фактор равным двум ( $\gamma = 0,093 \text{ см}^{-1}/\text{кЭ}$ ) и используя измеренные  $\nu_1$  и  $\nu_2$ , можно рассчитать эффективные поля в кристалле —  $H_{1,2}$ . Для  $\text{TmFeO}_3$  по нашим данным  $H_1 = 150 \pm 10 \text{ кЭ}$  и  $H_2 = 90 \pm 10 \text{ кЭ}$ .

Зарегистрированная нами низкочастотная ветвь АФМР на  $\nu_1 = 13,0 \text{ см}^{-1}$  в точности совпала по частоте с резонансной модой, исследовавшейся в работах <sup>7-10</sup>. Повторив эксперименты <sup>7-10</sup>, а для этого потребовалось измерять пропускание пластинок  $\text{TmFeO}_3$  с другой ориентацией вектора  $\mathbf{M}$  — не в плоскости пластинки, а перпендикулярно ей, — мы опять же обнаружили резонанс на  $\nu = 13,0 \text{ см}^{-1}$  со всеми признаками АФМР. В этих же экспериментах стало понятным и то, что данная геометрия — геометрия Фарадея, при которой волна распространяется вдоль  $\mathbf{M}$  — чрезвычайно невыгодна для наблюдения АФМР. Оказалось, что в этом случае форма линии АФМР зависит от доменной структуры образца, его толщины, величины и направления внешнего магнитного поля. Эти явления присутствуют в экспериментах <sup>7-10</sup> неучтенными.

Таким образом, не остается сомнения в том, что в  $\text{TmFeO}_3$  на частоте  $13,0 \text{ см}^{-1}$  имеет место АФМР, предсказываемый теорией. Выводы же работ <sup>7-10</sup> об обнаружении принципиально нового явления следует считать неверными.

#### Литература

1. Боровик-Романов А.С. Итоги науки, Физ.-матем. науки, вып. 4, Изд. АН СССР, 1962.
2. Туров Е.А. Физические свойства магнитоупорядоченных кристаллов, Изд. АН СССР, 1963.
3. White R.M., Nemanich R.J., Herring C. Phys. Rev. B, 1982, 25, 1822.
4. Волков А.А., Гончаров Ю.Г., Козлов Г.В., Кочарян К.Н., Лебедев С.П., Прохоров А.С., Прохоров А.М. Письма в ЖЭТФ, 1984, 39, 140.
5. Shapiro S.M., Axe J.D., Remeika J.P. Phys. Rev. B., 1974, 10, 2014.
6. Великов Л.В., Витвинин Е.А., Иванникова Г.Е., Игошин Ф.Ф., Кирьянов А.П., Маркианов С.С. ФТТ, 1980, 22, 3612.
7. Крафтмахер Г.А., Мериакри В.В., Червоненкис А.Я. Письма в ЖЭТФ, 1971, 16, 231.
8. Крафтмахер Г.А., Мериакри В.В., Червоненкис А.Я., Щеглов В.И. ЖЭТФ, 1972, 62, 1353.
9. Крафтмахер Г.А., Мериакри В.В., Червоненкис А.Я. ЖЭТФ, 1976, 70, 172.
10. Крафтмахер Г.А., Мериакри В.В., Червоненкис А.Я. ЖЭТФ, 1984, 86, 169.
11. Балбашов А.М., Червоненкис А.Я., Антонов А.В., Бахтеузов В.Е. Изв. АН СССР, 1971, 35, 1243.
12. Волков А.А., Козлов Г.В., Лебедев С.П., Мальцев В.И. Препринт ФИАН №80, 1981.