

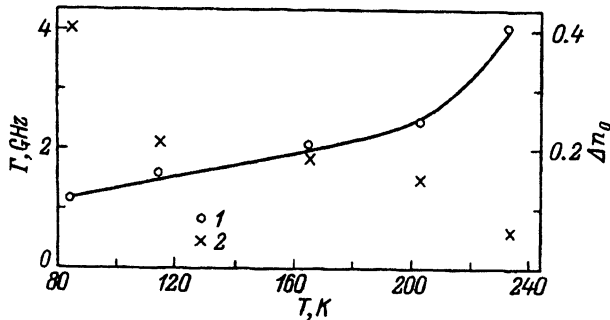
## СУБМИЛЛИМЕТРОВАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА БОРАТА ЖЕЛЕЗА

*К.Н.Кочарян, А.А.Авахян, В.Г.Прпрян, Э.Л.Саркисян,  
В.Н.Селезнев, В.В.Мальнев, С.В.Ягунов*

Борат железа ( $\text{FeVO}_3$ ) относится к кристаллам ромбоэдрической сингонии ( $D_{3d}^6$ ) и ниже температуры Нееля ( $T_N = 348 \text{ K}$ ) представляет собой антиферромагнетик со слабым ферромагнетизмом типа «легкая» плоскость. Являясь одним из немногих прозрачных в оптической области магнитоупорядоченных кристаллов, он стал объектом многочисленных исследований. Существование неколлинеарной магнитной структуры в борате железа впервые было установлено в работе Жубера и др. [1] при измерении статических магнитных свойств поликристаллических образцов. Прямое подтверждение слабоферромагнитной природы антиферромагнетизма было получено в работах по нейтронографическому исследованию магнитной структуры  $\text{FeVO}_3$  [2]. Особенно подробно изучены спектры антиферромагнитного резонанса (АФМР) [3–6] и показано, что они хорошо описываются в рамках двухподрешеточной модели антиферромагнетика со слабым ферромагнетизмом типа легкая плоскость. Основное внимание в этих работах уделялось изучению температурных и полевых зависимостей частот и ширин линий АФМР. Что же касается электродинамических свойств  $\text{FeVO}_3$  в субмиллиметровой области спектра и их поведения в области АМФР, то они не были исследованы вследствие ограничений, связанных с использованием в упомянутых работах волноводной техники измерений. В то же время очевидно, что эти характеристики могут оказаться определяющими при использовании  $\text{FeVO}_3$  в функциональной магнитоэлектронике субмиллиметрового диапазона.

В настоящей работе сообщается о результатах исследования температурной зависимости электродинамических характеристик  $\text{FeVO}_3$  в субмиллиметровом диапазоне в окрестности высокочастотной ветви АФМР. Образцы представляли собой плоскопараллельные гексагональные пластины с характерными поперечными размерами  $\sim 5 \text{ мм}$ , развитая поверхность которых совпадала с базисной кристаллографической плоскостью. Монокристаллы  $\text{FeVO}_3$ , выращенные методом спонтанной кристаллизации из раствора в расплаве, имели высокую степень совершенства.

Температурные измерения были выполнены на автоматизированном квазиоптическом монохроматическом ЛОВ-спектрометре субмиллиметрового диапазона. Именно применение квазиоптической методики позволило осуществить точные измерения показателя преломления, коэффициента поглощения и характеристик самой линии резонансного поглощения. Суть ее заключается в получении спектра пропускания плоскопараллельной диэлектрической пластины в условиях, удовлетворяющих приближению геометрической оптики. Это допускает достаточно точное математическое описание экспериментально полученных спектров известной формулой пропускания плоскопараллель-



Зависимость ширины линии резонансного поглощения (1) и аномальной дисперсии (2) бората железа от температуры.

ной пластины [7] и получение точных расчетных электродинамических характеристик.

Борат железа относится к оптически одноосным кристаллам, и поскольку в исследованных образцах оптическая ось располагалась перпендикулярно плоскости пластины, то далее приведены характеристики только для обыкновенного луча.

Как известно, высокочастотная ветвь АФМР в  $\text{FeVO}_3$  располагается в субмиллиметровом диапазоне и имеет сильную температурную зависимость [6]. В спектрах пропускания высокочастотная ветвь АФМР наблюдалась в виде одиночной линии поглощения с температурной зависимостью частоты, которая с большой точностью повторяла известную зависимость [6].

Вдали от АФМР экспериментально получены следующие значения электродинамических параметров  $\text{FeVO}_3$ :  $n = 3.59 \pm 0.02$ ,  $k = 2 \cdot 10^{-2}$ , практически не зависящие от температуры и частоты. Для сравнения отметим, что в изоморфном  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  в том же частотном диапазоне наблюдается дисперсия показателя преломления, достигающая 4%.

Известно, что в окрестности магнитного резонанса электродинамические характеристики антиферромагнетиков достаточно хорошо описываются в рамках предположения о неизменности диэлектрической проницаемости и с частотной зависимостью магнитной проницаемости вида [8]

$$\mu = 1 + \Delta\mu_0 \frac{\nu_0^2}{(\nu_0^2 - \nu^2) - i\nu\Gamma}, \quad (1)$$

где  $\nu_0$  — частота АФМР,  $\Gamma$  — ширина линии поглощения,  $\Delta\mu_0 = (4\pi M_0/H_e)$  — вклад моды в статическую магнитную проницаемость.

Можно показать, что связь  $n$  и  $k$  с  $\Delta\mu_0$  и  $\Gamma$  дается выражениями

$$n = n_0 + \Delta n = n_0 + \Delta n_0 \frac{\Gamma\nu_0(\nu_0^2 - \nu^2)}{(\nu_0^2 - \nu^2)^2 + \nu^2\Gamma^2},$$

$$k = k_0 + \Delta k = k_0 + \Delta n_0 \frac{\nu_0\nu\Gamma^2}{(\nu_0^2 - \nu^2)^2 + \nu^2\Gamma^2}, \quad (2)$$

где

$$\Delta n_0 = (\varepsilon\mu)^{1/2} = (\varepsilon)^{1/2}\Delta\mu_0\nu_0/2\Gamma.$$

Поскольку интенсивность поглощения в образце при резонансе была такова, что линия не насыщалась, то значения параметра  $\Gamma$  могут быть взяты непосредственно из экспериментальных кривых (см. рисунок). Из этого рисунка видно, что с понижением температуры линия АФМР сужается, достигая значения  $\sim 1$  ГГц при азотной температуре. Температурный ход, а также абсолютные значения хорошо согласуются с результатами работ [5,6], полученными в единицах магнитного поля. Что же касается дисперсии показателя преломления, вызванной резонансом, то она была получена при помощи компьютерной имитации экспериментальных спектров по формуле пропускания плоскопараллельной диэлектрической пластины с учетом (2). Из формул (2) видно, что величина  $\Delta n_0$  существенным образом зависит от  $\Gamma$ , которая достигает минимального среди известных слабых ферромагнетиков значения в борате железа. Параметр же  $\Delta n_0$ , описывающий изменения электродинамических характеристик в области резонанса, растет с понижением температуры, достигая значения 0.4 при  $T = 84$  К. Это почти в два раза превышает соответствующее значение в гематите. Вопрос о величине  $\Delta n_0$  нам представляется достаточно важным в связи с тем, что при определенном его значении ( $\Delta n_0 \geq (\epsilon)^{1/2}$ ) станет возможным возбуждение магнитостатических волн, связанных с высокочастотной ветвью АФМР. И в этом плане борат железа является, по-видимому, одним из наиболее перспективных материалов.

#### Список литературы

- [1] Joubert J. et al. // Mat. Res. Bull. 1968. V. 3. P. 671.
- [2] Pernet M. et al. // Solid St. Com. 1970. V. 8. P. 1583.
- [3] Великов Л.В., Рудашевский Е.Г., Селезнев В.Н. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1972. Т. 36. №7. С. 1531-1534.
- [4] Shober J. // IEEE Trans. Magnetics. 1976. V. 12. N 4. P. 401-404.
- [5] Rudashevsky E.G. et al. // IEEE Trans. Magnetics. 1974. V. 22. N 12. P. 1064-1069.
- [6] Великов Л.В. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1974. Т. 15. № 12. С. 722-724.
- [7] Брандт А.А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. М., 1963. 403 с.
- [8] Мухин А.А. // Препринт ИОФАН. 1984. 85 с.

Институт радиофизики и электроники  
АН Армении  
Аштарак  
Симферопольский  
государственный университет

Поступило в Редакцию  
7 сентября 1993 г.