

всех принятых допущениях $\omega_- = 0$, и этот тип колебаний не возбуждается однородным перем. магн. полем. При учёте анизотропии частота $\omega_- \neq 0$, но будет низкой. Этот тип колебаний представляет собой т. н. мягкую моду.

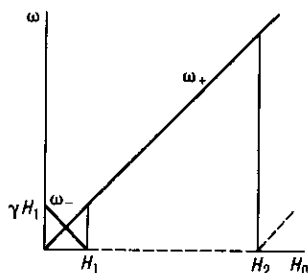


Рис. 5. Частоты ферримагнитного резонанса в неколлинеарном основном состоянии (при $\gamma_1 = \gamma_2$). Штриховые линии — частоты колебаний, которые не возбуждаются однородным переменным полем.

В третьем, параллельном, осн. состоянии ферримагнетик для одного типа колебаний также эквивалентен ферромагнетику с суммарной намагниченностью: $M_0 = M_{10} + M_{20}$.

В случае ферримагнетика с числом подрешёток, большим двух, в т. ч. и с неколлинеарными постоянными намагниченностями подрешёток, всегда существует один тип колебаний, для к-рого в слабых пост. полях весь «пучок» векторов намагниченности прецессирует как одно целое. Для этого типа колебаний ферримагнетик эквивалентен ферромагнетику и резонансная частота не зависит от констант обменного взаимодействия.

Магн. материалы, применяемые для создания магн. устройств техники СВЧ, являются ферримагнетиками (или ферритами в широком смысле этого слова). Как правило, используется ферромагн. тип колебаний, к-рый возбуждается в этом диапазоне при сравнительно небольших пост. магн. полях. Поэтому вывод об эквивалентности ферримагнетика для этого типа колебаний ферромагнетику с эфф. параметрами имеет очень большое практич. значение. Он позволяет использовать при расчёте указанных устройств сравнительно простую теорию ферромагн. резонанса.

Однако необходимо иметь в виду следующие особенности Ф. р.

1) Кроме ферромагн. типа колебаний существует $N-1$ (где N — число подрешёток) обменных типов колебаний, резонансные частоты к-рых при малых H_0 лежат обычно в ИК-диапазоне. Хотя интенсивности возбуждения их малы (пропорциональны квадратам разностей g -факторов подрешёток), соответствующие этим типам колебаний максимумы поглощения в ИК-диапазоне были обнаружены в редкоземельных ферритах со структурой граната.

2) В сильных пост. полях ($H_0 \sim (1/2)H_1$) частоты двух типов колебаний (в двухподрешётчатой модели) становятся сравнимыми друг с другом и обе зависят от обменной константы.

3) В ещё более сильных полях ($H_1 < H_0 < H_2$) в неколлинеарном осн. состоянии кроме ферромагн. типа колебаний имеется другой — мягкая мода.

4) В нек-рых ферримагнетиках существуют точки компенсации («по темп-ре» или «по составу») — такие темп-ры или концентрации компонент, при к-рых $M_{10} - M_{20} \rightarrow 0$ (магн. точки компенсации) или $M_{10}/\gamma_1 - M_{20}/\gamma_2 \rightarrow 0$ (меха-

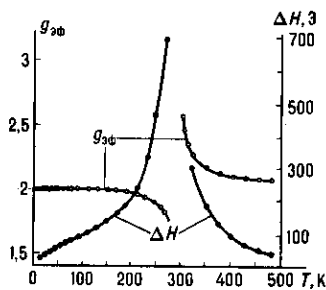


Рис. 6. Эффективный g -фактор и ширина ΔH резонансной кривой ферримагнетика $Gd_3Fe_5O_{12}$ с точками компенсации при температуре ~ 286 К.

нич. точки компенсации). Вблизи этих точек частоты двух типов колебаний сближаются и даже в слабых пост. полях зависят от обменной константы. Согласно (10), $\gamma_{3Ф} \rightarrow 0$ в магн. точке компенсации и $\gamma_{3Ф} \rightarrow \infty$ — в механической. Однако это проявляется лишь как тенденция (рис. 6), т. к. вблизи точек компенсации не выполняется условие $H_0 \ll H_1$ и ф-ла (10) перестаёт быть справедливой. Характер колебаний и резонансные частоты при этом (как и в антиферромагнетиках) существенно зависят от кристаллографии, анизотропии.

Лит.: Гуревич А. Г., Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках, М., 1973; Крупичка С., Физика ферритов и родственных им магнитных окислов, пер. с нем., т. 2, М., 1976; Гуревич А. Г., Мелков Г. А., Магнитные колебания и волны, М., 1994. А. Г. Гуревич.

ФЕРРИТЫ (лат. ferrum — железо) — общее название сложных окислов, содержащих железо и др. элементы. Большинство Ф. является ферримагнетиками (см. также Антиферромагнетик, Слабый ферромагнетизм) и проявляет полупроводниковые или диэлектрич. свойства (см. Магнитные диэлектрики).

В состав Ф. входят анионы кислорода O^{2-} , образующие остов их кристаллич. решётки, в промежутках между анионами O^{2-} располагаются катионы Fe^{3+} и катионы переходных металлов. Наиб. хорошо изучены свойства Ф.-шпинелей, Ф.-гранатов, ортоферритов и гексаферритов, различающихся по своей кристаллографич. и магнитной атомной структуре.

К Ф. также относятся Ф.-гаусманиты (Mn_2O_3), литиевые Ф. со структурой NaCl, Ф. Ca и Ba с орторомбич. структурой.

Ф.-шпинели обладают кристаллич. структурой шпинели благородной $MgAl_2O_4$ и имеют общую ф-лу $MeOFe_2O_3$, где Me — двухвалентный металл (Ni, Co, Fe, Mn и др.). К ним относятся также многочисл. смешанные Ф. состава $Me_{1-x}Me'_xOFe_2O_3$, где сумма валентностей Me и Me' равняется 4.

Идеальную кристаллич. решётку шпинели можно рассматривать как одну из кубич. плотных упаковок (рис. 1).

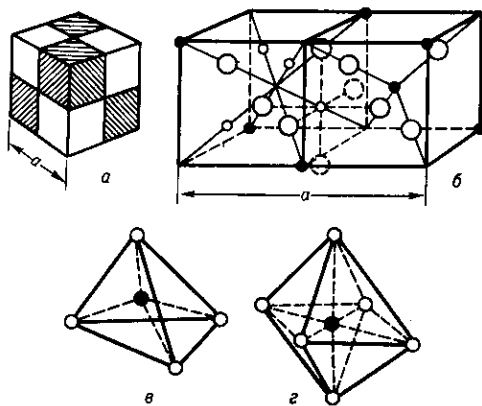


Рис. 1. Кристаллическая структура ферритов-шпинелей: а — схематическое изображение элементарной ячейки шпинельной структуры, разделённой на 8 октантов; б — расположение ионов в смежных октантах ячейки; белые кружки — анионы O^{2-} , образующие остов решётки, чёрные — катионы в октаэдрических и тетраэдрических позициях; в — катион в тетраэдрическом окружении; г — катион в октаэдрическом окружении.

Элементарная ячейка представляет собой куб, образуемый 8 молекулами, и состоит из 32 анионов. Вакантные узлы, занимаемые катионами, по структуре ближайшего окружения подразделяются на 64 тетраэдрич. (А) и 32 октаэдрич. (В) позиции. Различают нормальные, обращённые и смешанные Ф.-шпинели. В нормальных шпинелях ($ZnFe_2O_4$, $CdFe_2O_4$) узлы В заняты ионами трёхвалентного металла. В обращённых шпинелях все катионы Me находятся в В-местах, а трёхвалентные (Fe) распределены