

поровну между *A*- и *B*-местами. В смешанных Ф. порядок распределения катионов произволен.

Ф. со структурой нормальной шпинели оказываются антиферромагнитными, а со структурой обращённой шпинели — ферримагнитными. Обменные взаимодействия между катионами осуществляются косвенным образом (см. *Косвенное обменное взаимодействие*) и, как правило, являются отрицательными. Наиб. сильными обычно являются обменные взаимодействия между катионами, находящимися в позициях с разл. кристаллографич. окружением.

В частично или полностью обращённых шпинелях катионы, находящиеся в узлах *A* и *B*, образуют две магнитные подрешётки (строго говоря, ионы Me^{2+} и Fe^{3+} в узлах *A* также образуют две подрешётки, магн. моменты к-рых ориентированы параллельно друг другу); намагниченности подрешёток *A* и *B* направлены в противоположные стороны, поэтому результирующая намагниченность обращённых шпинелей определяется магн. моментами двухвалентных ионов.

Ф.-гранаты имеют общую хим. ф-лу $Me_3Fe_5O_{12}$, где Me — трёхвалентный 4*f*-ион либо Y, Bi, Ca и др. Кристаллич. структура Ф.-гранатов очень сложна и изоморфна структуре природного минерала граната $CaAl_3(SiO_4)_3$. В элементарную ячейку, представляющую собой куб, входят 8 формульных единиц. По структуре ближайшего окружения наряду с тетраэдрич. (*d*) и октаэдрич. (*a*) местами существуют додекаэдрич. (*c*) места, занимаемые Me -ионами и окружённые 8 анионами O^{2-} . Из 40 ионов Fe^{3+} , находящихся в элемент. ячейке, 24 иона занимают *d*-места и 16 ионов — *a*-места. Ниже *Кюри точки*, к-рая для всех Ф.-гранатов лежит в пределах $T = 563 \pm 15$ К, в них возникает ферримагнетизм. Магн. структура Ф.-гранатов состоит из 20 *d*- и 12 *f*-магн. подрешёток. Как и в Ф.-шпинелях, наиб. сильным является косвенное обменное взаимодействие между ионами Fe^{3+} в *a*- и *d*-местах, в значит. степени определяющее значение точки Кюри. В полях до 10^2 Тл все железные подрешётки можно рассматривать как одну с результирующим магн. моментом, равным разности магн. моментов *d*-подрешёток. Магн. моменты *f*-подрешёток ориентированы антипараллельно результирующему магн. моменту *d*-подрешёток и образуют зонтичную структуру (кроме Ф.-граната Gd) (см. рис. 4 к ст. *Ферримагнетизм*). Все Ф.-гранаты, содержащие тяжёлые редкоземельные ионы, имеют точку магн. компенсации, по достижении к-рой результирующая намагниченность равна нулю. В них наблюдаются спонтанные и индуцированные внеш. магн. полем спин-переориентационные переходы (см. *Магнитный фазовый переход*).

Ортоферриты обладают кристаллич. структурой перовскита $CaTiO_3$. Среди большого ряда ортоферритов выделяются редкоземельные ортоферриты, ортохромиты и т. д. состава $RMeO_3$, где R — Tb, Dy и т. д., Me — Fe, Cr, Al. Элементарная ячейка ортоферрита включает в себя 4 формульные единицы (рис. 2). При не очень низких темп-рах в ортоферритах упорядочиваются только магн. моменты ионов Fe и они являются антиферромагнетиками со слабым ферромагнетизмом. При очень низких (порядка неск. К) темп-рах ортоферриты становятся ферримагнетиками. В них наблюдаются спонтанные ориентационные фазовые переходы (изменение ориентации оси антиферромагнетизма), существует точка магн. компенсации слабых ферромагн. моментов и т. д.

Гексаферритами наз. соединения типа $BaFe_{12}O_{19}$, $Ba_2Me_2Fe_{12}O_{22}$, $BaMe_2Fe_{16}O_{27}$ и др., где ионы Ba могут замещаться ионами Ca, Rb, Sr. Элементарная ячейка гексаферритов состоит из шпинельных блоков, не содержащих Ba, разделённых блоками гексагональной структуры, имеющими эти ионы. В гексаферритах наблюдаются разл. типы магн. атомной структуры: существуют одноосные и легкоплоскостные гексаферриты, а также гексаферриты, обладающие конич. поверхностью лёгкого намагничивания.

Ф. в качестве магнитных материалов широко применяются в технике, особенно в радиотехнике и радиоэлектронике

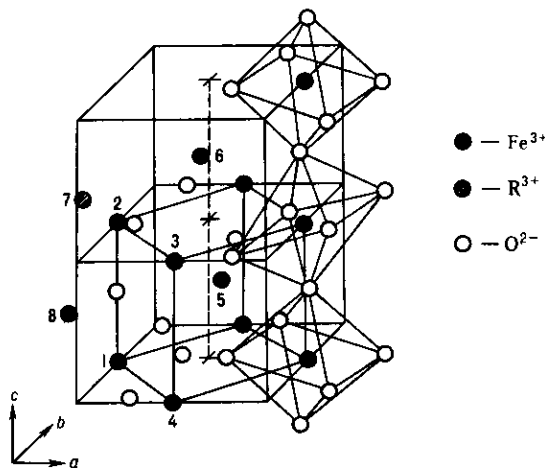


Рис. 2. Элементарная ячейка редкоземельных ортоферритов: белые кружки — анионы O^{2-} , чёрные — катионы железа, заштрихованные — катионы редкоземельных металлов. Показана структура ближайшего окружения катионов железа.

нике — в антеннах, сердечниках радиочастотных контуров, в СВЧ-технике (вентили и циркуляторы). Большинство Ф.-шпинелей, Ф.-гранат иттрия (железо-иттриевый гранат, ЖИГ) и нек-рые гексаферриты используются как магнитно-мягкие материалы. Отд. гексаферриты обладают значит. коэрцитивной силой и применяются для изготовления пост. магнитов.

Многие Ф.-гранаты обладают рядом уникальных свойств; напр., в ЖИГ ширина линии магнитного резонанса составляет величину порядка 10^{-2} Тл, так что добротность резонатора может достигать неск. тысяч. Эпитаксиальные плёнки Ф.-гранатов являются одним из лучших материалов для устройств с цилиндрическими магнитными доменами; нек-рые из них прозрачны и имеют большой угол фарадеевского вращения (см. *Магнитооптика*). При низких темп-рах Ф.-гранаты обладают большой магнитной анизотропией, обусловленной редкоземельными ионами, и значит. магнотриксией; в них удаётся возбудить бегущие спиновые волны и наблюдать рассеяние света на спиновых волнах.

Лит.: Смит Я., Вейн Х., Ферриты, пер. с англ., М., 1962; Крупица С., Физика ферритов и родственных им магнитных окислов, пер. с нем., т. 1, М., 1976; см. также лит. при ст. *Антиферромагнетизм, Ферримагнетизм*. А. К. Звездин, С. Н. Уточкин.

ФЕРРОЗОНД — прибор для измерения напряжённости магн. полей (в осн. постоянных или медленно меняющихся) и их градиентов. Действие Ф. основано на смещении петли перемагничивания магн.-мягких материалов под влиянием внеш. магн. полей. В простейшем варианте Ф. состоит из стержневого ферромагн. сердечника и находящегося на нём двух катушек: катушки возбуждения, питаемой перем. током, и измерит. (сигнальной) катушки. В отсутствие измеряемого магн. поля сердечник под действием перем. магн. поля, создаваемого током в катушке возбуждения, перемагничивается по симметричному циклу. Изменение магн. потока в сигнальной катушке, вызванное перемагничиванием сердечника по симметричному циклу, индуцирует в сигнальной катушке эдс, изменяющуюся по гармонич. закону. Если одновременно на сердечник действует измеряемое постоянное или слабо меняющееся магн. поле, то кривая перемагничивания сдвигается и становится несимметричной. При этом изменяются величина и гармоничность эдс индукции в сигнальной катушке. В частности, появляются чётные гармонич. составляющие эдс, величина к-рых пропорц. напряжённости измеряемого поля (они отсутствуют при симметричном цикле перемагничивания). Как правило, Ф. состоит из двух сердечников с обмотками, к-рые соединены так, что нечётные гармонич. составляющие практически компенсируются. Тем са-