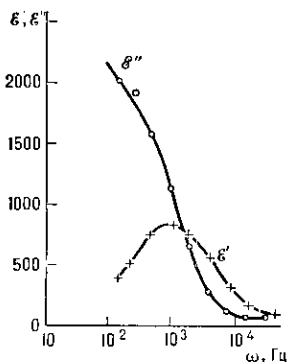


антиферромагнитных соединений типа галогенидов переходных металлов ( $MnF_2$ ,  $KMnF_3$ ,  $BaMnF_4$ ,  $MnCl_2$ ).

Ферриты-шпинели и феррит-гранат иттрия используются в СВЧ-технике и электротехнике как магн. материалы с малыми потерями на вихревые токи. Величина  $\sigma$  сильно возрастает при появлении в окисных соединениях разновалентных катионов (гл. обр.  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ ), что вызывается отклонением от стехиометрич. состава, наличием вакансий, примесных ионов и др. Особенно это характерно для ферритов-шпинелей; между ионами  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ , находящимися в одинаковых кристаллографич. узлах (обычно октаэдрических), возникают перескоки электронов с иона на ион, вследствие чего проводимость резко возрастает (прыжковая проводимость) и ферриты-шпинели становятся магнитными полупроводниками.



В случае ферритов-гранатов отклонения от стехиометрич. состава меньше, и поэтому их проводимость обычно сохраняется низкой. Их следует считать диэлектриками.

Характерной особенностью окисных М. д. является

Зависимости  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  от частоты, электрического поля для одного из Ni—Zn ферритов-шпинелей.

то, что в них помимо обычных механизмов поляризации диэлектриков (электронного и ионного и ориентационного) возникает дополнительный макроскопич. механизм поляризации, обусловленный скоплением зарядов на границах кристаллич. зёрен, вакансиях и др. дефектах. Этот механизм особенно сильно проявляется в поликристаллич. оксидах. Он обуславливает большую величину статич. (или низкочастотной) диэлектрич. проницаемости  $\epsilon$  (вплоть до  $10^6$ ). Однако при частотах СВЧ-диапазона  $\epsilon$  снижается до неск. единиц, соответствующих электронной и ионной поляризациям (рис.). При изучении М. д. обычно производят измерения частотной зависимости действительной  $\epsilon'$  и мнимой  $\epsilon''$  частей  $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$ . Каждому механизму поляризации соответствует нек-рая критич. частота  $\omega_{кр}$ , выше к-рой поляризация уже не успевает следовать за быстрыми изменениями электрич. поля. Это приводит к убыванию  $\epsilon'$  и увеличению  $\epsilon''$ , т. е. к увеличению диэлектрических потерь.

Нек-рые окисные соединения, обладающие антиферромагнетизмом, одновременно являются сегнетоэлектриками, однако их темп-ры Кюри обычно не совпадают. М. д. иногда наз. также спрессованные ферромагн. порошки (железа, магнетита и др.) с к.-л. диэлектриком (парафином, смолой и др.). Т. к. в таких материалах не возникают вихревые токи, они получили нек-рое применение в технике, но с открытием ферритов утратили своё значение.

Лит.: Яковлев Ю. М., Генделев С. Ш., Монокристаллы ферритов в радиоэлектронике, М., 1975; Круппи чка С., Физика ферритов и родственных им магнитных оксидов, пер. с нем., т. 2, М., 1976. К. П. Белов.

**МАГНИТНЫЕ ЖИДКОСТИ** — ультрадисперсные устойчивые коллоиды ферро- или ферримангнитных однодоменных частиц, диспергированных в разл. жидкостях и совершающих интенсивное броуновское движение. Магнитная проницаемость  $\mu$  таких коллоидов достигает  $\sim 10$ , тогда как у обычных жидкостей  $\mu \ll 1$ . Намагниченность насыщения концентрированных М. ж. может достигать  $\sim 100$  Гс ( $\sim 100$  кА/м) в магн. полях  $\sim 1$  кЭ ( $\sim 80$  кА/м), при этом их вязкость может быть сравнима с вязкостью воды. Иногда М. ж. наз. относительно устойчивые суспензии магн. частиц размером  $\sim 0,1-10$  мкм, однако действительно стабильными

являются именно ультрадисперсные коллоиды частиц диам.  $d_0 \sim 0,01$  мкм.

Равновесное распределение концентрации коллоидных частиц в зависимости от высоты  $h$  в поле силы тяжести описывается барометрической формулой. Концентрация частиц экспоненциально убывает в  $e \approx 2,718$  раз на характерной высоте  $h_0 = kT / (\rho_1 - \rho_2)gV_0$ , где  $V_0$  — ср. объём частиц,  $\rho_1$  — плотность твёрдой фазы — дисперсионной среды,  $\rho_2$  — плотность жидкости — дисперсионной среды,  $g$  — ускорение силы тяжести. Обычно  $h_0 \sim 10$  см при комнатной темп-ре ( $T = 293$  К) и при  $V_0 \sim 10^{-18}$  см<sup>3</sup>, т. е. когда  $d_0 \sim 0,01$  мкм ( $\sim 10$  нм). Для агрегативной устойчивости, т. е. для предотвращения слипания частиц, в коллоид вводят стабилизатор — поверхностно-активное вещество (ПАВ). Обычно ПАВ состоит из полярных органич. молекул длиной 1,5—2 нм, создающих на поверхности частиц адсорбционно-сольватные защитные слои, препятствующие сближению и слипанию частиц под действием межмолекулярных сил (близкодействующих сил притяжения). Одним из наиб. распространённых ПАВ является олеиновая к-та  $C_8H_{17}CH=CH(CH_2)_7CO-OH$ , к-рая своей полярной «головкой»  $O-H^+$  притягивается к поверхности твёрдой фазы, образуя на ней плотный молекулярный слой толщиной  $\delta \approx 2$  нм. В н е п о л я р н ы х дисперсионных средах (масло, керосин, додекан, октан и т. д.) гибкие неполярные концы ПАВ, родственные жидкости-носителю, направлены от частицы к жидкости (рис. 1, а). Устойчивость диспергированных частиц в п о л я р н о й жидкости, напр. в воде, обусловлена характерным расположением двух слоёв ПАВ: родственные полярной жидкости-носителю полярные «головки» второго слоя ПАВ направлены от частицы к жидкости (рис. 1, б).

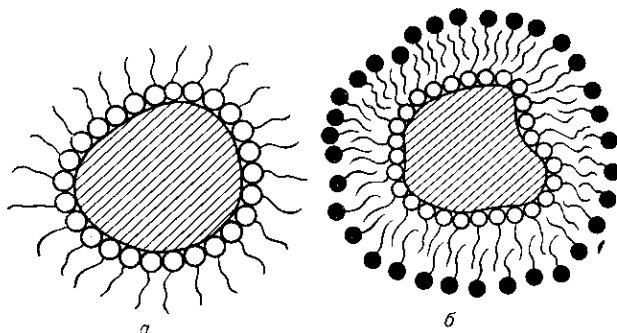


Рис. 1, а — коллоидная частица в неполярной жидкости с адсорбированным на ней слоем ПАВ — олеиновой кислоты; б — коллоидная частица в полярной жидкости (в воде), окружённая слоями олеиновой кислоты и олеата натрия, растворимого в воде.

Величина магн. восприимчивости М. ж. возрастает при увеличении размера магн. частиц и их объёмной концентрации  $C$  в коллоиде. Оказывается, что размер частиц  $d_0 \sim 10$  нм оптимален потому, что это — наибольший размер, при к-ром частицы ещё не слипаются (не агрегируют) из-за магн. диполь-дипольного взаимодействия при комнатных темп-рах (слипанию препятствует тепловое движение частиц). Действительно, обычно ср. магн. момент частиц  $m_0 \approx 2 \cdot 10^{-16}$  Гс·см<sup>3</sup>, если их объём  $V_0 \approx 0,5 \cdot 10^{-18}$  см<sup>3</sup> и спонтанная намагниченность  $M_s \approx 0,5 \cdot 10^3$  Гс. Поэтому ср. энергия магн. диполь-дипольного взаимодействия между соседними частицами  $\sim m_0^2/r_0^3$  не превышает энергии их теплового движения  $\sim kT$  при комнатной темп-ре, когда  $d_0 \sim 10$  нм и ср. расстояние между центрами частиц  $r_0 = d_0 + 2\delta$ . Макс. концентрация  $C_0$  магн. вещества в коллоиде зависит от отношения  $\delta/d_0$  и от распределения частиц по размерам. Если бы все частицы были одинаковыми шарами с диам.  $d_0$ , то при их плотной гексагональной или гранцентрированной кубической упаковке значение