Энциклопедия Физики и техники
www.femto.com.ua

Пользовательског Поиск

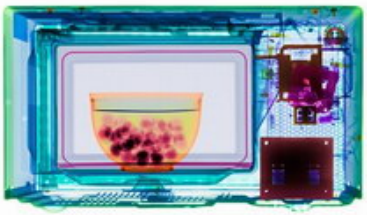
Главная | Физическая энциклопедия | Новости науки и техники

Физическая энциклопедия

- Главная
- Предметный указатель

Поиск

Фотогалерея



Микроволновая печь, X-ray

Новости науки и техники

Заряка аккумулятора за 2 минуты

Прорыв в технологии изготовления аккумуляторных батарей для портативных устройств



Трудно себе представить современные гаджеты без аккумулятора. Все портативные электронные устройства, такие как телефоны, нетбуки, смартфоны и т.п. имеют компактные аккумуляторные батареи. Но на сегодня они же являются и самым «слабым звеном» гаджета. Кроме непродолжительного срока службы и малой емкости есть и еще один недостаток - время зарядки аккумулятора. Далее...

магнитостатйческие волны

МАГНИТОСТАТЙЧЕСКИЕ ВОЛНЫ - "медленные" эл--магн. волны (с фазовой скоростью $v_\phi < c$), сопровождающие колебания спинов в магнитоупорядоченном веществе. Обычно в приближении М. в. рассматривают ДВ-колебания *спинов* ,в динамике к-рых влиянием *обменных взаимодействий* можно пренебречь (в приближении *спиновых волн* это взаимодействие учитывается). Волновые числа k М. в. лежат в диапазоне $\omega\sqrt{\varepsilon}/c \ll k \ll \sqrt{2\pi M^2/A}$, где w -частота М. в., е - диэлектрич. проницаемость, M - намагниченность, A - параметр обменного взаимодействия. Левое неравенство соответствует условию $v_\phi \ll c$, правое - условию безобменного приближения. Для типичных ферромагнетиков диапазон М. в. соответствует волновым числам $10\ \text{см}^{-1} \ll k \ll 10^5\ \text{см}^{-1}$. В меру малости фазовой скорости М. в. описываются ур-ниями магнитостатики

$$\operatorname{rot} \boldsymbol{H} = 0, \qquad \operatorname{div}(\boldsymbol{H} + 4\pi \boldsymbol{M}) = 0$$

и *Ландау - Лифшица уравнением* движения магн. моментов

$$\dot{\boldsymbol{M}} = -\gamma [\, \boldsymbol{M}\boldsymbol{H}\,]$$

с магнитостатич. граничными условиями

$$H_\tau\,, \quad B_n \Big|_{\mathrm{r}} = \text{const},$$

где Hm и B_n - тангенциальная и нормальная к поверхности образца составляющие напряжённости и индукции магн. поля.

В образце конечных размеров магнитостатич. колебания магн. моментов зависят от формы и размеров образца [Л. Р. Уокер (L. R. Walker, 1957), В. Г. Барьяхтар и М. И. Каганов (1961)]. В поограниич. пластине распространяются как поверхностные, так и объёмные М. в., структура и спектр к-рых зависят от геометрии намагничивания пластины и направления распространения волны [Р. У. Деймон, Дж. Р. Эшбах (R. W. Damon, J. R. Eshbach, 1961)].

Эксперим. и теоретич. изучение М. в. началось в 70-х гг. 20 в. и до 80-х гг. проводилось на объёмных образцах (сферах, стержнях и пластинах) из монокристаллов железоиттриевого граната (ЖИГ). С нач. 80-х гг. М. в. исследуются преим. в эпитаксиально выращенных плёнках ЖИГ (см. *Эпитаксия*).

М. в. возбуждаются неоднородным магн. полем, создаваемым в феррите током, протекающим по металлич. проводнику, расположенному на поверхности исследуемого образца (плёнки). Для возбуждения и приёма М. в. применяются преобразователи в виде микрополоско-вых, компланарных и щелевых волноводных линий, выполненных на ферритовом слое.

В отсутствие магнитокристаллич. анизотропии спектр и структура распространяющихся в плёнке М. в. определяются магнитодипольными взаимодействиями спинов, обусловленными полями рассеяния, возникающими при колебаниях намагниченности в плёнке.

Различают три осн. типа М. в. в плёнке (пластине). При намагничивании плёнки параллельно её плоскости в ней могут распространяться поверхностные (ПМВ) и обратные объёмные (ООМВ) М. в., спектры к-рых

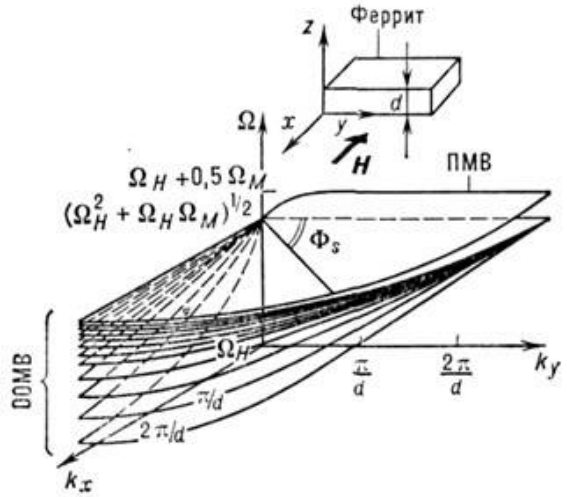


Рис. 1. Спектры магнитостатических волн для случар! касательно намагниченной пластины (плёнки). Показана угловая зависимость спектра частот М. в. для одного квадранта системы координат. В этом квадранте спектр поверхностной магнитостатической волны расположен в секторе, ограниченном углом Φ_5. Снизу к нему примыкает спектр обратных объёмных магнитостатических волн, имеющий многомодовый состав (Деймон, Эшбах, 1961). Для других квадрантов картина аналогична.

изображены на рис. 1. Поверхностные М. в., часто называемые волнами Деймона - Эшбаха, имеют ограниченный угл. сектор распространения, перпендикулярный направлению магн. поля и определяемый углом $2\Phi_s = 2\mathrm{arctg}\,(H/4\pi M)^{1/2}$. Их спектр лежит в диапазоне частот

$$(\Omega_H^2+\Omega_H\Omega_M)^{1/2}<\Omega<\Omega_H+{}^1/_2\Omega_M,$$

где $\Omega_H = \gamma H,\ \Omega_M = \gamma \cdot 4\pi M,\ \gamma$ - *магнитомеханическое отношение* .Эти волны имеют положит, групповую скорость $v_g = d\Omega/dk > 0$. Амплитуда ПМВ экспоненциально спадает не только снаружи, но и внутри фер-ритового слоя вглубь от его поверхности, на к-рой локализована волна. Этот тип М. в. обладает невзаимными свойствами при распространении: волны, движущиеся в прямом и обратном направлении, локализованы на противоположных сторонах плёнки. Наиб, сильно невзаимность распространения ПМВ проявляется при металлизации одной

из поверхностей ферритовой плёнки. Металлизация изменяет граничные условия, т. к. на ней $B_n = 0$. Спектральные характеристики М. в., локализованной вблизи металлизованной поверхности и удалённой от неё, отличаются. В частности, верх, граница частот ПМВ, локализованных вблизи металлизованной поверхности, возрастает до $\Omega_\infty = = \Omega_H + \Omega_M$. Поэтому ПМВ, распространяющиеся в прямом и обратном направлении, в данном случае имеют разл. групповые скорости распространения.

Спектр обратных объёмных М. в. в изотропном ферромагнетике примыкает к спектру поверхностных М. в. и лежит в диапазоне $\Omega_H < \Omega < (\Omega_H^2 + + \Omega_H \Omega_M)^{1/2}$. ООМВ имеют многомодовый характер спектра и отрицат. групповую скорость: $v_g = d\Omega/dk < 0$). В касательно намагниченной плёнке (пластине) спектр М. в. анизотропен, поэтому направления лучевой и фазовой скоростей в волне в общем случае не совпадают, кроме двух случаев, когда $\boldsymbol{H} \perp \mathbf{k}$ и $\boldsymbol{H} \parallel \mathbf{k}$. В первом случае спектр ООМВ вырождается впрямую линию $\Omega = (\Omega_H^2 + \Omega_H \Omega_M)^{1/2}$, так что при этом $d\Omega/dk = 0$, а во втором случае ширина спектра максимальна.

При перпендикулярном намагничивании плёнки до насыщения в ней распространяются прямые объёмные М. в. (ПОМВ), характеризующиеся многомодо-вым изотропным спектром (рис. 2). Они имеют положит, групповую скорость, а частотный интервал их спектра лежит в диапазоне $\Omega_{H_i} < \Omega < (\Omega_{H_i}^2 + \Omega_{Hi}\Omega_M)^{1/2}$, где $\Omega_{H_i} = \gamma(H - 4\pi M)$.

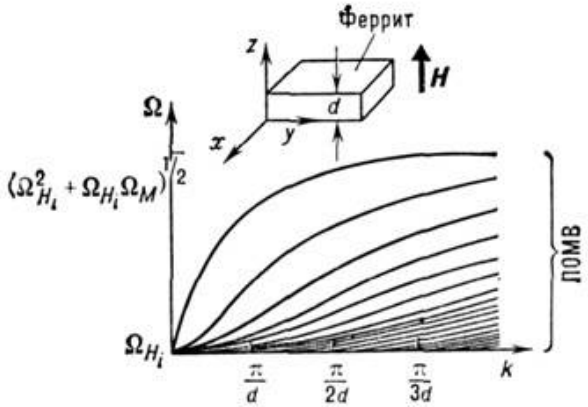


Рис. 2. Спектр прямых объёмных магнитостатических волн для случая перпендикулярно намагниченной пластины (плёнки).

Мин. потери энергии распространяющейся М. в. определяются процессами магн. релаксации спинов (магн. моментов) - шириной линии однородного *ферромагнитного резонанса* D*H*. Диссипативные потери учитываются в ур-ниях движения магн. моментов введением соответствующего релаксац. члена в ур-ние Ландау - Лифшица. Декремент пространств, затухания М. в. определяется при этом мнимой частью волнового числа $\mathrm{Im}\ k = \delta\Omega/v_g$, где $\delta\Omega$ - ширина линии М. в., пропорциональная D Я. Потери М. в. относят обычно к времени групповой задержки сигнала $\tau_g = L/v_g$ где *L* - расстояние, проходимое импульсомв. М., так что изменение мощности М. в. *P*(*L*)описывается ф-лой

$$\alpha = \frac{10}{\tau_g} \lg \frac{P(L)}{P(0)} \approx 76{,}4 \cdot \Delta H (\text{дБ/мкс}).$$

В типичных плёнках ЖИГ с шириной линии $\Delta H = 0{,}3$ Э затухание М. в. $\alpha = 15 - 25$ дБ/мкс.

Длинноволновые (безобменные) М. в. взаимодействуют с др. волнами в плёнке, и в первую очередь с коротковолновыми (обменными) спиновыми волнами. Когда толщина *d* плёнки достаточно мала, $d \lesssim <:\pi(A/M\Delta H)^{1/2}$, М. в. могут являться источником возбуждения стоячих (поперёк плёнки) коротковолновых спиновых колебаний - мод спин-волнового резонанса (СВР). Взаимодействие М. в. с модами СВР в этом случае изменяет их дисперсионные и амплитудно-частотные характеристики. В области пересечения частотных ветвей М. в. и СВР происходит гибридизация спиновых волн, в результате к-рой групповая скорость М. в. уменьшается, а декремент пространств, затухания её увеличивается. Наиб, -интенсивно М. в. возбуждает СВР при наличии поверхностного "закрепления" спинов, магн. и др. пространств, неоднород-ностеп в ферритовом слое.

Благодаря *магнитострикции* М. в. взаимодействует с акустич. волнами, наиб, сильно - в области *магнитоакустического резонанса*, когда образуются связанные *магнитоупругие волны*.

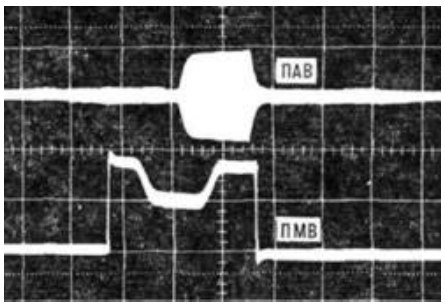


Рис. 3. Осциллограмма импульса поверхностной **магнитостатической волны**, рассеянной на поверхностных акустических волнах. Амплитуда проходящего после рассеяния импульса поверхностной магнитостатической волны (испытавшего брэггов-ское отражение) уменьшается (провал в середине осциллограммы импульса поверхностной магнитостатической волны).

Вдали от магнитоакустич. резонанса волна упругой деформации также может сильно изменять амплитудно-частотные характеристики М. в. как при коллинеарной, так и при неколлинеарной геометрии их взаимного распространения (при выполнении условий неупругого рассеяния М. в. на акустич. волне). На рис, 3 показан эффект уменьшения амплитуды импульса М. в. при коллинеарном рассеянии её на поверхностной акустич. волне (ПАВ; импульс её изображён вверху).

Мощность М. в. ограничена сверху. Она пропорциональна квадрату угла u отклонения прецессирующего магн. момента от равновесного положения. Макс, амплитуда прецессии (а следовательно, мощность М. в.) ограничивается распадными спин-волновыми процессами - параметрич. генерацией высокочастотных спиновых волн за счёт энергии М. в. При достижении пороговой мощности М. в. амплитуда прецессии практически не увеличивается, т. к. энергия М. в. идёт на поддержание параметрически возбуждённого состояния спиновой системы кристалла. При небольших значениях внеш. магн. поля $[H < (4\pi/3)M]$

амплитуду поверхностных М. в. ограничивают в основном трехмагнонные распады (генерация трёх мод спин-волновых колебаний). При этом макс, величина угл. отклонения $\upsilon_{\text{макс}} \approx \Delta H/(4\pi M)$. Когда $H > (4\pi/3) M$, то для трёхмагнонных распадов не могут выполняться условия фазового синхронизма взаимодействующих волн (законы сохранения энергии и импульса) и преобладающими становятся четырёхмагнонные спин-волновые процессы, к-рые ограничивают угл. отклонение величиной

$$\upsilon_{\text{макс}} \approx \sqrt{\Delta H/(4\pi M)}\,.$$

Перспективная область применения М. в. - устройства аналоговой обработки сигналов микроволнового диапазона (0,5-20 ГГц), аналогичные акустоэлектрон-ным устройствам на поверхностных акустич. волнах (см. *Акустоэлектроника)*. Это связано с тем, что при частотах выше 3 ГГц М. в. в ЖИГ затухают слабее, чем ПАВ в ниобате лития. Кроме того, благодаря зависимости частоты М. в. от внеш. магн. поля, устройства на М. в. допускают электронное управление амплитудно-частотной характеристикой (А Ч Х) микроволновых сигналов, а также превосходят устройства на ПАВ менее жёсткими требованиями к размерам возбуждающих и принимающих устройств.

Для фильтрации, изменения фазовых и амплитудно-частотных характеристик микроволновых сигналов в устройствах на М. в. применяют периодич. решётки в виде металлизиров. полосок, протравленных канавок, ионно-имнлантированных структур, на к-рых М. в. отражаются в соответствии с условиями *брэгговского отражения*. Для тех же целей применяют многослойные пленарные структуры (феррит - диэлектрик - металл, феррит - диэлектрик - феррит и др.), изменяющие АЧХ М. в. в зависимости от типа структуры и толщины составляющих слоев.

Дисперсионные характеристики М. в. измеряются по времени задержки импульсов М. в. в зависимости от частоты и внеш. магн. поля. Для измерения спектральных зависимостей М. в. используют интерференцию сигналов быстрой эл--магн. волны наводки и принимаемой М. в. Для диагностики М. в. применяют индукц. и магнитооптич. методы зондирования, основанные на эффекте *Мандельштама - Бриллюэна рассеяния* света на М. в. Спектральные и амплитудно-частотные характеристики М. в. используются для измерения параметров магн. релаксации, анализа данных ферромагн. резонанса, определения степени "закрепления" спинов на поверхности, магн. однородности планарных структур и др. величин.

Лит.: Walker L. R., Magnetostatic modes in ferromagnetic resonance, "Phys. Rev.", 1957, v. 105, p. 390; Барьяхтар В. Г., Каганов М. И., Неоднородный резонанс и спиновые волны, в сб.: Ферромагнитный резонанс, под ред. С. В. Вонсовского, М., 1961; Damon R. W., Eshbach J.R., Magnetostatic modes of a ferromagnet slab, "J. Phys. Chem. Solids", 1961, v. 19, JMi 3/4, p. 308; Гуревич А. Г., Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках, М., 1973, с. 322; Гуляев Ю. В., Зильберман П. Е., Взаимодействие СВЧ-спиновых волн и электронов в слоистых структурах полупроводник - феррит, "Радиотехника и электроника", 1978, т. 23, в. 5, с. 897; Лебедь Б. М., Лопатин В. П., Маг-нитостатические колебания в ферритах и их использование в технике СВЧ, "Обзоры по электронной технике. Сер. I - Электроника СВЧ", 1978, в. 12; Вапнэ Г. М., СВЧ-устройства на магнитостатических волнах, там же, 1984, в. 8, с. 1060; Звездин А. К., Попков А. Ф., Магнитостатические волны в электронике, в кн.: Итоги науки и техники, сер. Электроника, т. 19, М., 1987. *А. Ф. Попков*.

<< Предметный указатель >>

© femto.com.ua
webmaster@femto.com.ua