

Рис. 1. Схема стандартного расположения источников полей относительно границы металла в случае возбуждения продольного (а) и поперечного (б) ультразвука. Волнистыми стрелками обозначены направления распространения упругих волн, двусторонними — колебания частиц в волне, N и S — полюсы постоянного магнита.

Основой теоретич. исследования ЭМАП служит связанная система ур-ний теории упругости и ур-ний Максвелла (в магнетиках она дополняется *Ландау — Лифшица уравнением*), описывающая возбуждение, взаимодействие и распространение в проводящих средах эл.-магн., акустич. и спиновых колебаний. В нормальном металле плотность силы, возбуждающей акустич. колебания, можно представить в виде суммы индукционного f^i , деформационного f^d и стюарт-голменовского f^s слагаемых, в магнетиках она дополняется силами магнитоупругой природы f^m (см. *Магнитострикция*).

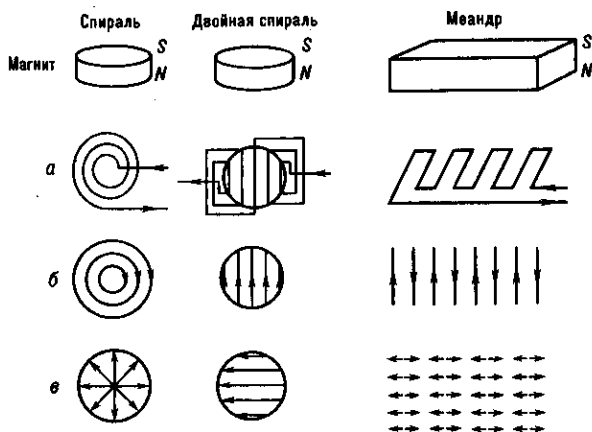


Рис. 2. Некоторые типы катушек индуктивности (а), распределения переменного тока в скин-слое (б) и вызываемые индукционным механизмом поля упругих смещений (в).

Под действием эл.-магн. волны в металле наводится перем. ток j , сосредоточенный у его поверхности (см. *Скин-эффект*). Взаимодействие этого тока с постоянным магн. полем приводит к появлению силы

$$f^i = [jH_0]/c,$$

действующей на электроны и передающейся через столкновения решётке. Амплитуда возбуждаемого ультразвука при этом пропорциональна H_0 , напряжённости магн. поля H эл.-магн. волны и обратно пропорциональна скорости ультразвука, плотности проводника ρ и частоте; кроме того, она зависит от соотношения глубины скин-слоя

и длины упругой волны. Поляризация поперечного ультразвука, возбуждаемого f^i , совпадает с направлением H .

В чистых металлах при низких темп-рах энергию, приобретённую от эл.-магн. волны, электроны передают решётке на расстояниях порядка длины свободного пробега, к-рая может существенно превышать толщину скин-слоя. Прямое воздействие эл.-магн. поля E эл.-магн. волны на решётку в скин-слое оказывается при этом нескомпенсированным, результатом чего является возникновение силового диполя

$$f^d = -ne(E - j\sigma_0),$$

где n — концентрация электронов, σ_0 — статич. проводимость. Поляризация поперечного ультразвука, возбуждаемого f^d , совпадает с направлением E . Деформационная сила, проявляющаяся при нелокальной связи между плотностью наведённого в проводнике тока и E за счёт пространственной дисперсии проводимости ($\sigma \neq \sigma_0$). Частным случаем деформационного взаимодействия служит поверхностный механизм, обусловленный диффузным рассеянием электронов на границе проводника. Поле H_0 , локализуя электроны проводимости в пределах ларморовского радиуса, уменьшает эффективность деформационного механизма ЭМАП и изменяет направление поляризации возбуждаемого поперечного ультразвука.

Сила Стюарта — Толмена

$$f^s = -(m/e) \partial j / \partial t,$$

где m — масса свободного электрона, возникает из-за того, что электроны под действием эл.-магн. волны движутся относительно кристаллич. решётки, к-рая колеблется и представляет тем самым неинерциальную систему.

Эффективность генерации ультразвука за счёт индукционного механизма в условиях тонкого по сравнению с длиной упругой волны скин-слоя,

$$\eta = (s/c) H_0^2 / 4\pi\rho s^2,$$

определяется отношением скорости звука s к скорости света c и отношением плотности энергии магн. поля к модулю упругости металла. Эффективность ЭМАП за счёт деформационного и стюарт-голменовского механизмов, как правило, существенно ниже эффективности ЭМАП в случае индукционного механизма.

В магнитоупорядоченных средах наряду с индукционным взаимодействием, модифицированным наличием магн. подсистемы, проявляются механизмы ЭМАП, обязанные изотропной и анизотропной магнитострикции γ . Все процессы, обуславливающие намагничивание вещества, сказываются и в ЭМАП, в частности, возбуждение ультразвука происходит за счёт смещения доменных границ и за счёт вращения намагниченности в доменах. Эффективность магнитоупругого механизма ЭМАП в проводящем изотропном магнетике

$$\eta = (c/s)^3 (\omega/\sigma)^2 (\gamma\chi M/\mu)^2 / 4\pi\rho s^2,$$

где M — намагниченность, μ — магн. проницаемость, χ — магн. восприимчивость. Магнитоупругий механизм ЭМАП наиб. эффективен в области перехода металла из парамагнитного в ферромагн. состояние. Пик генерации в этой области обязан резкому изменению с темп-рой M , μ и χ в точке Кюри. Зависимости ЭМАП от магн. поля в ферромагн. состоянии проводника, как правило, существенно немонотонны. В слабых магн. полях доминирует магнитоупругий механизм, эффективность к-рого достигает максимума в области изменения наклона кривой намагничивания. В сильных магн. полях осн. роль играет индукционный механизм, что приводит к линейной зависимости амплитуды генерации от H_0 (рис. 3).

ЭМАП используется для изучения связей между электронной, спиновой и упругой подсистемами проводников, а также для измерения скорости и затухания акустич. волн в твёрдых телах. Достоинство этого метода — возможность проведения бесконтактных акустич. измерений и ультразвукового неразрушающего контроля в широком интервале частот и темп-р. Генерация ультразвука