

МАГНИТОУПРУГИЙ РЕЗОНАНС В МОНОКРИСТАЛЛЕ Fe + 3% Si

М.Б. Гитис

Измерено поглощение звука в монокристалле Fe + 3% Si на частотах 15 – 55 МГц в интервале температур 300 – 1200°К. На медленных сдвиговых волнах, распространяющихся в направлении [110], обнаружены максимумы поглощения звука резонансного типа. Оценка частот резонанса показывает, что происхождение максимумов обязательно предсказанному в [1] взаимодействию упругих волн с поверхностными магнитостатическими колебаниями.

Наблюдение естественных магнитоупругих резонансов (МАР) в ферромагнитных металлах связано с большими экспериментальными трудностями, так как они, как правило, должны проявляться на достаточно высоких частотах, при которых велики немагнитные механизмы поглощения звука (термоупругие, дислокационные, ахизеровские и т. д.). Вследствие этого естественные МАР до настоящего времени наблюдались только в кристаллах феррита-граната иттрия [2] в результате взаимодействия упругих и объемных спиновых волн. Однако существует одна возможность реализации естественных МАР в ферромагнитных металлических кристаллах, связанная с повышением температуры образцов и, соответственно, с уменьшением константы анизотропии K_1 . В этих условиях в области температур, где $K_1 \rightarrow 0$, можно ожидать МАР на частотах $\sim 10^8$ гц.

В связи с этим нами были выполнены высокотемпературные измерения коэффициента поглощения звука α в монокристаллах Fe + 3%Si в направлении [110] на продольных и двух сдвиговых волнах. Методика измерений описана в [3]. На рис. 1 и 2 представлены результаты измерения α в направлении [110] на медленных и быстрых сдвиговых волнах соответственно. Так как доменная структура кристалла Fe + 3%Si, вырезанного в направлении [110], состоит из некоторого числа доменов в виде плоских плит с наибольшей поверхностью нормальной к [110], и векторами намагниченности, расположенными в направлениях [100] и [010], то быстрая сдвиговая волна (смещения в волне || [001]) со спиновыми волнами не взаимодействует. Соответственно, максимумы α имеют релаксационный характер и обязаны диффузии внедренных атомов углерода. Это хорошо подтверждается оценками энергии активации диффузии и времени релаксации, рассчитанными из температурного смещения и положения максимумов при повышении частоты. Медленные сдвиговые волны с точечными дефектами такого типа не взаимодействуют [4], и наблюдаемые максимумы α имеют магнитную природу (высокотемпературное поглощение звука в неферромагнитных кубических металлах на частотах $10^7 - 10^8$ гц исследовано в [4]). На частоте 55 МГц (рис. 1) на медленных сдвиговых волнах четко разделяются два максимума α . На более низких частотах разделение максимумов хуже. Положение более высокотемпературных максимумов не зависит от частоты и обязательно

потерям на вихревые токи, вызванные смещением доменных границ [5]. Можно показать, что в этом случае $\alpha_{в.т.} \sim M_0 / K_1$, что и обеспечивает появление частотнонезависимого максимума в области $K_1 \approx 0$ [5] (M_0 – спонтанная намагниченность доменов). Низкотемпературные максимумы α зависят от частоты и имеют нерелаксационный характер, так как при понижении частоты они смещаются вправо по оси температур. Это свидетельствует о понижении резонансной частоты с ростом температуры вследствие уменьшения K_1 .

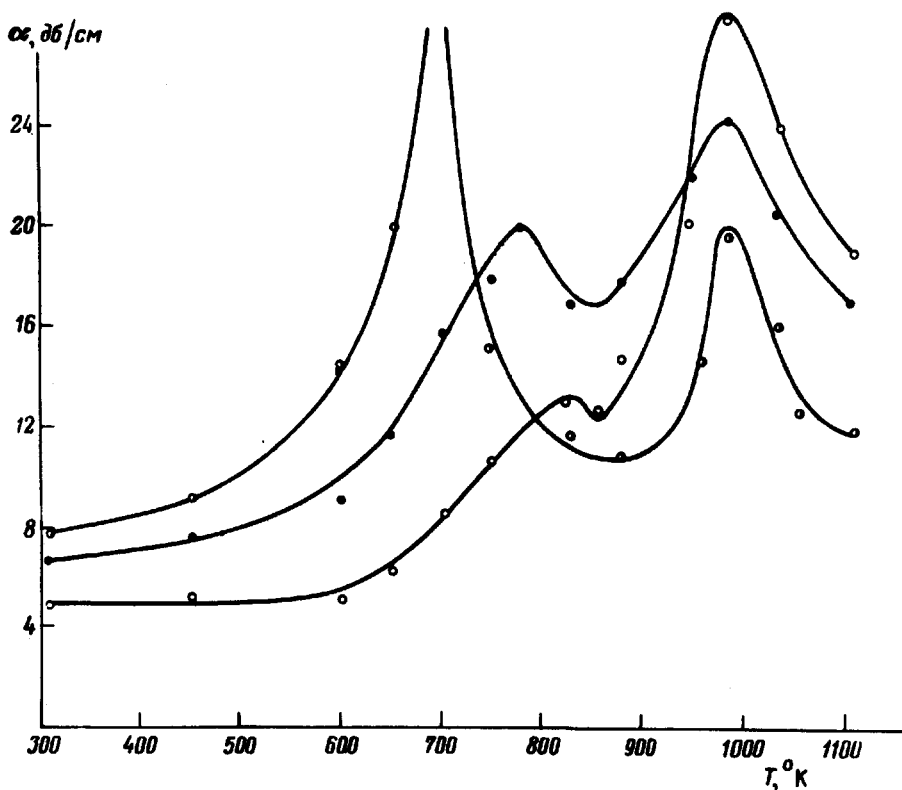


Рис. 1. Температурная зависимость коэффициента поглощения звука на медленных сдвиговых волнах: ● – 55 МГц, ● – 35 МГц, ○ – 15 МГц

Из результатов теории [1] следует, что наличие доменных границ приводит к появлению двух типов магнитоупругих резонансов – объемных и поверхностных. Частота объемного магнитоупругого резонанса ω_0 в многодоменном образце не отличается от однодоменного (при

достаточно больших размерах доменов) и равна $\omega_0 = 2\gamma \left[\frac{K_1}{M_0} \left(\frac{K_1}{M_0} + 4\pi M_0 \sin \theta \right) \right]^{1/2}$.

(Здесь γ – гиромагнитное отношение и θ – угол между направлением распространения звука и намагниченностью доменов). Численные оценки ω_0 при температуре низкотемпературного максимума α ($T = 700^\circ \text{K}$, $K_1 \approx 0,2 \cdot 10^5 \text{ эрг/см}^3$, $M_0 = 1,6 \cdot 10^3 \text{ эс}$, $\theta = 45^\circ$) дают $\omega_0 \approx 5 \cdot 10^9 \text{ сек}^{-1} > \omega_{3\text{В}}$

$= 3 \cdot 10^8 \text{ сек}^{-1}$. Уменьшение ω_0 за счет учета высших "геометрических" частот ω_Γ ($\omega_\Gamma = sq_l$; $q_l = l(\pi/D)$; $l = 0, 1, 2, \dots$ s – скорость звука, D – размер домена) ожидать трудно вследствие разброса размеров доменов в области высоких температур и малых K_1 , когда размеры доменов, в основном определяются случайными внутренними напряжениями. Резонансные свойства такой системы должны быть выражены крайне слабо.

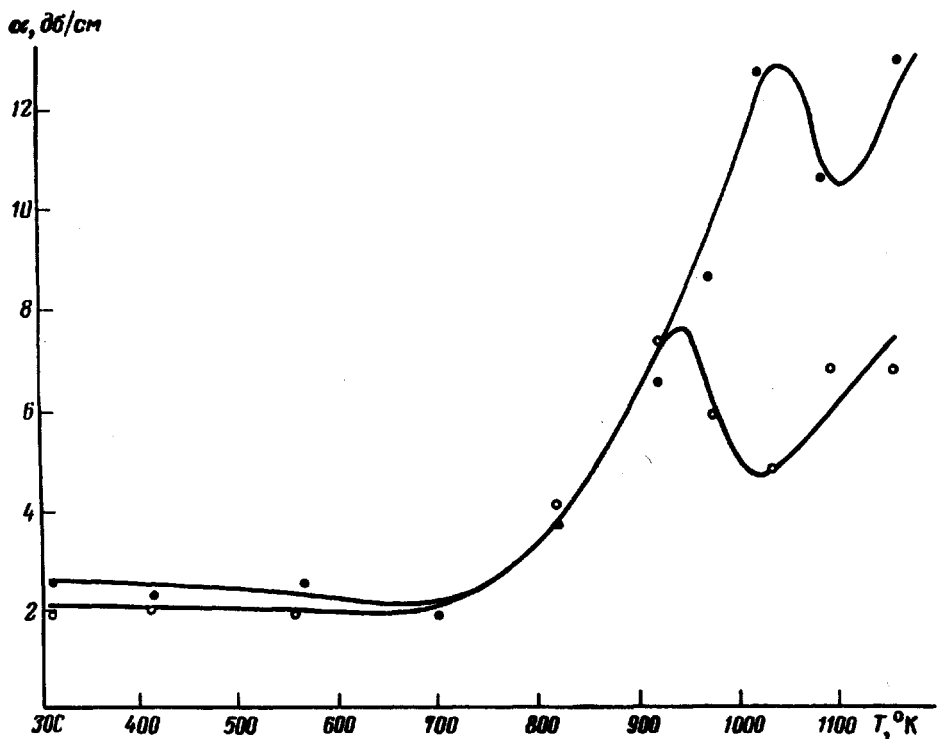


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента поглощения звука на быстрых сдвиговых волнах: ● – 55 МГц, ○ – 15 МГц

Другой тип резонансов – поверхностный, присущий только многодоменным структурам, проявляется на частотах $\omega_\Pi = 2\gamma(K_1/M_0)$. Используя те же численные значения для констант, получаем $\omega_\Pi \approx \omega_{зв}$. Таким образом, обнаруженные МАР могут быть отнесены к поверхностным. Дальнейшее повышение температуры, уменьшая K_1 , смещает область резонанса в более низкие частоты. Однако с понижением K_1 большую роль начинают играть внутренние напряжения, что сильно расширяет и уменьшает амплитуду резонансной линии. Косвенным подтверждением того, что обнаруженные максимумы α обязаны поверхностным МАР, могут служить эксперименты, выполненные при повышенном давлении на образец, так как механические напряжения через магнитоупругие константы увеличивают энергию кристалла. Увеличение давления до 3 атм повышает максимум α на 55 МГц на 30 – 40°C.

Четкое влияние МАР установлено также и на скорость медленных сдвиговых волн (рис. 3), где в области резонанса (55 МГц) отмечено характерное изменение скорости, отсутствующее при измерениях на низкой частоте (15 МГц), где условие резонанса не выполнено. Вне области резонанса различия в поведении скорости звука, измеренной на разных частотах, обнаружено не было. Необходимо отметить, что погрешность в измерениях скорости в области МАР очень высока и может составлять несколько процентов, что является следствием сильного искажения формы принятых сигналов. На быстрых сдвиговых волнах скорость звука с нагреванием монотонно уменьшается.

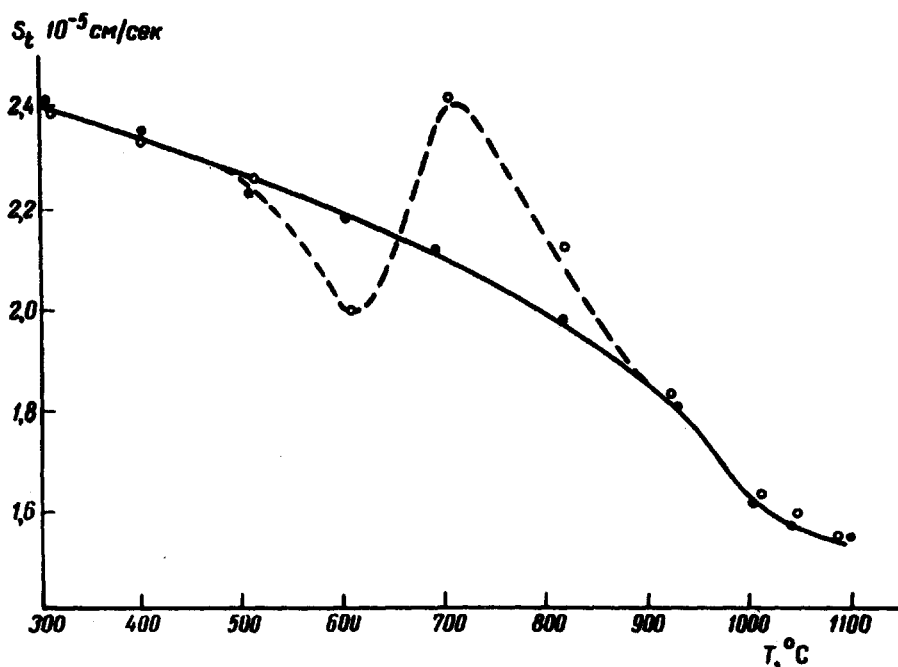


Рис. 3. Температурная зависимость скорости звука на медленных сдвиговых волнах: ● — 15 МГц, ○ — 55 МГц

Подчеркнем, что теория [1] построена для случая, когда вектор смещения в волне параллелен намагниченности домена, в то время как геометрия наших экспериментов несколько отлична. Совпадение экспериментальных и теоретических результатов для разных геометрий, видимо, свидетельствует о том, что вывод о наличии поверхностных МАР с $\omega = \omega_{\text{П}}$ носит достаточно общий характер.

В заключение отметим, что измерения на продольных волнах не обнаружили МАР. По результатам эксперимента трудно сделать заключение либо о полном отсутствии взаимодействия в данной геометрии поверхностных магнитных и упругих волн, либо о маскировании МАР

другими эффектами, так как на продольных волнах наблюдаются также максимумы α , обусловленные внедренному углероду и возбужденным в образце микровихревым токам.

Всесоюзный
научно-исследовательский институт
по разработке неразрушающих методов
и средств контроля качества материалов

Поступила в редакцию
26 июля 1974 г.

Литература

- [1] И.А.Гишинский. ЖЭТФ, 61, 1998, 1971.
 - [2] В.В.Леманов, А.В.Павленко. ЖЭТФ, 57, 1528, 1969.
 - [3] М.Б.Гитис, А.Г.Копанский. Акустический ж., 18, 381, 1971.
 - [4] М.Б.Гитис. ЖЭТФ, 67, 363, 1974.
 - [5] М.Б.Гитис. ФММ, 34, 1047, 1972.
-