

АКУСТОМАГНИТНЫЙ ЭФФЕКТ В АЛЮМИНИИ И ОЛОВЕ

Н.В.Заварицкий

Наблюден акустомагнитный эффект, заключающийся в намагничивании металла в неоднородном звуковом поле. Изучено распределение намагничивания по образцу, зависимость эффекта от температуры.

Акустическая волна, распространяясь по металлу, увлекает электроны проводимости. В однородном звуковом поле это приводит к возникновению электрического напряжения V_{ph} вдоль образца. В простейшем предположении, что вся энергия звуковой волны W передается электронам проводимости, с простой поверхностью Ферми получаем

$$V_{ph} = W \frac{1}{enu}, \quad (1)$$

где n – плотность электронов проводимости, u – скорость звука. Это соответствует значению $v_{ph} = V_{ph}/W \sim 10^{-10} \text{ в} \cdot \text{см}^{-1} \text{ с} \cdot \text{м}^2$ для таких металлов, как олово и алюминий. Возникновение электрического напряжения V_{ph} было обнаружено экспериментально у олова [1], хотя наблюдаемые в опыте значения v_{ph} оказались много меньше, чем следовало из соотношения (1) и обладало значительной анизотропией. Очевидно, что v_{ph} есть акустоэлектрический эффект, обычно наблюдаемый в полупроводниках.

В случае неоднородного звукового поля в плоскости перпендикулярной распространению звука, в образце возникают циркулярные токи,

и как следствие, появляется намагничивание образца. У металлов с проводимостью $\sigma \sim 10^{10} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ можно ожидать, что за счет v_{ph} звуковой поток с плотностью $W \sim 10^{-3} \text{ вт} \cdot \text{см}^{-2}$ вызовет появление акустомагнитного поля порядка $10^{-3} \div 10^{-4} \text{ э}$. Такие поля могут быть измерены современными методами.

Акустомагнитное поле H_{ph} , очевидно, будет неоднородно по сечению образца. Наибольшая величина H_{ph} должна наблюдаться на границе звукового потока, там где максимальна неоднородность W . Вдоль звукового потока следует ожидать уменьшения H_{ph} подобно уменьшению W . Все эти зависимости обнаруживаются и в прямых измерениях акустомагнитного поля.

Для измерения акустомагнитного эффекта были использованы монокристалльные образцы олова и алюминия размером $(8 \div 10) \times 20 \times (1 \div 2) \text{ мм}$. Перпендикулярно грани $(8 \times 10) \times 20$ была направлена ось высшей симметрии кристалла. Остаточное сопротивление образцов составляло $\sim 10^{-10} \text{ ом см}$. Узкой гранью образец прижимался к ультразвуковому преобразователю таким образом, что звуковое поле занимало лишь часть сечения образца (см. рис.1). Магнитное поле в направлении, перпендикулярном плоскости $(8 \div 10) \times 20$ измерялось при помощи приемной катушки установки СКИМП [2], расположенной на поверхности образца. В опыте определялся ток, возникший в катушке при включении ультразвука. Основные опыты проводились с перпендикулярной модой колебаний частоты 14,3 и 44 МГц.

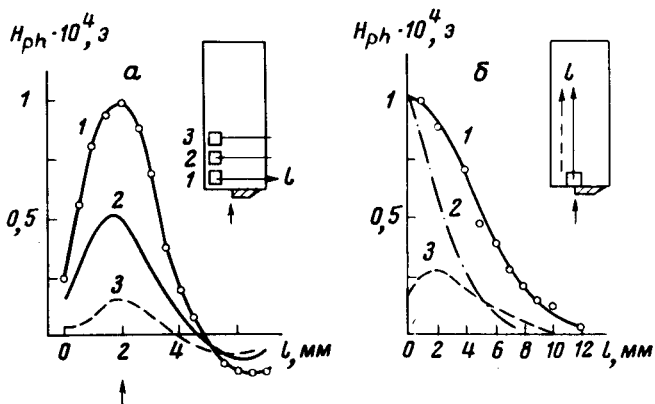


Рис. 1. Распределение акустомагнитного поля H_{ph} по сечению образца алюминия. Движение катушек показано на вставках к рисунку. а – распределение H_{ph} перпендикулярно распространению звука, на расстоянии 1 – 1,5 мм, 2 – 4,5 мм, 3 – 7,5 мм от излучателя, б – распространение H_{ph} вдоль звука, кривые, 1; 3 соответствуют $\omega = 15 \text{ МГц}$ (3 – измерительная катушка движется на расстоянии $\sim 1,5 \text{ мм}$ от резкой границы звукового поля, которая отмечена на рисунке стрелкой); кривая 2 – $\omega = 44 \text{ МГц}$ (масштаб относительный).

На рис. 1 представлены разрезы акустомагнитного поля, определенные уже при помощи подвижных катушек. Отчетливо видно (рис. 1, а), что максимум H_{ph} действительно совпадает с резкой границей звукового поля. Существенного размытия акустомагнитного поля в глубине образца не заметно. Вдоль направления распространения ультра-

звука акустомагнитное поле затухает тем более быстро, чем сильнее затухает ультразвук (рис. 1, б).

Детальное распределение намагниченности образца определяется тем, как распределены токи по образцу. В частности, в характере изменения H_{ph} вблизи излучателя существенна роль границы образца.

Распределение токов по образцу, а тем самым и намагниченность могут быть изменены внешним магнитным полем (рис. 2).

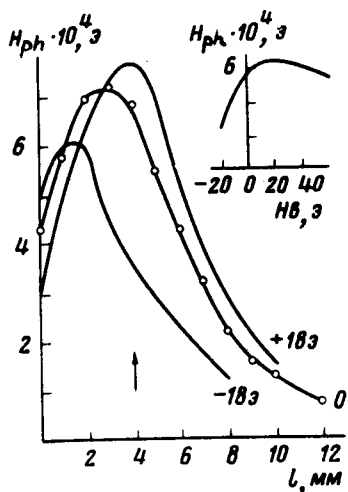


Рис. 2. Изменение распределения H_{ph} вдоль распространения звука во внешнем поле (олово). На вставке показана зависимость H_{ph} на расстоянии 4 мм от излучателя.

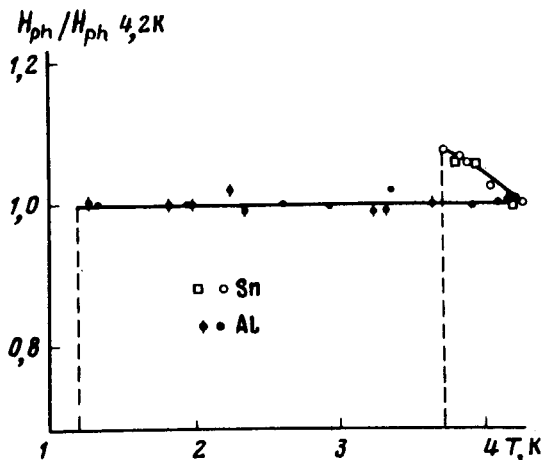


Рис. 3. Относительное изменение H_{ph} с температурой для нескольких образцов олова и алюминия. Пунктиром показано исчезновение H_{ph} при T_c . Для олова и алюминия направление H_{ph} различно.

Акустомагнитный эффект, так же как и акустоэлектрический является отражением фактически одного физического явления, заключающегося в увлечении звуком электронов проводимости. При этом в случае акустомагнитного эффекта роль сопутствующих явлений, связанных с тепловым нагревом образца, не столь велика, так как за счет нагрева образца циркулярные токи могут возникнуть только в специфических условиях [3]. В наших опытах циркулярные токи теплового происхождения наблюдались лишь в случае висмута.

На рис. 3 представлена зависимость от температуры акустомагнитного эффекта у алюминия и олова. Эти результаты свидетельствуют, что увлечение звуком электронов проводимости не зависит от темпера-

туры. Некоторые (5 ÷ 10%) возрастание акустомагнитного эффекта у олова, очевидно, связано с температурной зависимостью проводимости. В некоторых из этих опытов использовался монокристалл с отверстием (2 × 4) мм, внутри которого и измерялось акустомагнитное поле.

Опыты с такими образцами позволили установить, что в сверхпроводящем состоянии при $W \sim 10^{-2} \text{ вт} \cdot \text{см}^{-2}$ акустомагнитное поле меньше 10^{-7} э. В нормальном состоянии соответственно для Al и Sn поле составляло $-4 \cdot 10^{-4}$ и 10^{-4} э. Дополнительные опыты показали, что у алюминия $v_{ph} \sim 2 \cdot 10^{-10} \text{ в} \cdot \text{вт}^{-1} \cdot \text{см}^2$, что близко к расчетному значению.

Автор признателен Н.А.Никитину за техническое содействие.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
2 июня 1977 г.

Литература

- [1] Н.В.Заварицкий. Письма в ЖЭТФ, 25, 61, 1977.
 - [2] Н.В.Заварицкий. А.Н.Ветчиннин. ПТЭ, 1, 247, 1974.
 - [3] А.Г.Самойлович, А.А.Коренблит. ФТТ, 3, 2054, 1961.
-