

## НАБЛЮДЕНИЕ УВЛЕЧЕНИЯ ЗВУКОМ ЭЛЕКТРОНОВ ОЛОВА

Н.В.Заварицкий

Исследовано электрическое напряжение, возникающее при распространении звука вдоль образца. Выделен эффект обязанный прямому увлечению электронов металла звуком. Обнаружено, что знак эффекта может быть различным в зависимости от моды звуковых колебаний.

Упругая волна, распространяясь по кристаллу проводника, при определенных условиях может взаимодействовать с носителями тока таким образом, что на противоположных концах кристалла возникнет разность потенциалов. Физически эффект сводится к передаче импульса упругой волны носителям заряда. Впервые теоретически этот эффект был рассмотрен Парментером [1], который назвал его акустоэлектрическим. В полупроводниках акустоэлектрический эффект наблюдался во многих объектах [2, 3]. В металлах, как следует из расчетов Вайнрайха [4], этот эффект может исчезнуть, однако, экспериментально этот вопрос до настоящего времени не выяснен. В работе описаны опыты по наблюдению разности потенциалов, возникающей в результате увлечения звуком электронов олова.

Схема прибора, использованная в опытах, изображена на рис. 1. Преобразователем электромагнитных колебаний в звуковые являлась пластинка толщиной 150 мм из необата лития. Она приклеена эпоксидной смолой к изолятору. Электромагнитное возбуждение подается к преобразователю через электрод — 3 и сверхпроводящую пленку — 4. Использованная схема питания преобразователя полностью исключала проникновение высокочастотного поля возбуждения в остальные части установки.

Образец — монокристалл из олова с  $\rho \approx 2 \cdot 10^{-10}$  ом·см диаметром 3 мм и длиной 7 см. Основные измерения проводились на образце, ось которого на  $30^\circ$  отстояла от [100]. Нижний, прилегающий к преобразователю конец образца электрополирован и для электроизоляции покрыт слоем БФ-2. Образец свободно скользит в шайбе 10, груз 11 прижимает его к преобразователю. Акустический контакт осуществлялся через слой силиконового масла.

Для измерения разности потенциалов использовалась установка СКИМП [5]. Проводка выполнена свинцовыми, сверхпроводящими проводами. Контакты находились в 3 мм от концов образца. Схема позволяла измерять напряжение до  $10^{-15}$  в. Типичная запись показаний СКИМПа в ходе опыта приведена на рис. 1.

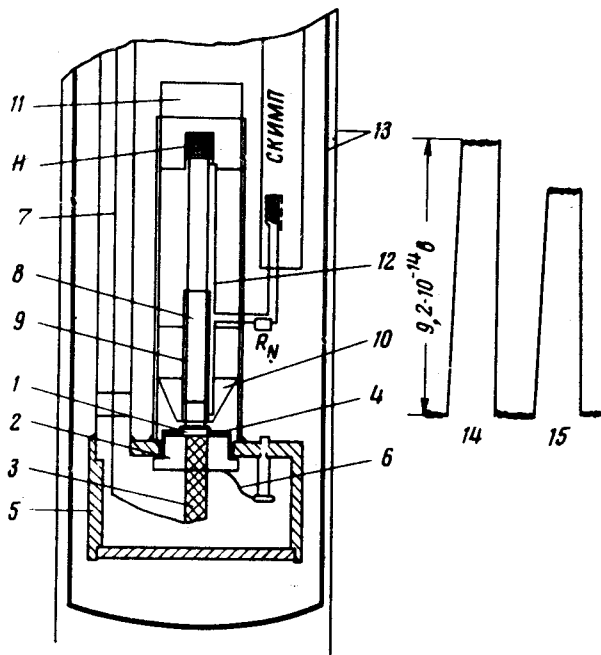


Рис. 1. Прибор для измерений: 1 – звуковой преобразователь, 2 – стеклянный изолятор с вылавленным электродом, 3 – электроды, 4 – сверхпроводящая пленка, 5 – корпус держателя, 6 – пружина, прижимающая изолятор к корпусу, 7 – коаксиал питания, преобразователя, 8 – образец, 9 – остатки стеклянной формы, 10 – направляющая шайба, 11 – груз, прижимающий образец к преобразователю, 12 – свинцовые провода, припаяны к образцу сплавом Вуда, 13 – экраны – свинцовый и пермалевый. Справа – образец записи, 14 – включение контрольного сигнала, 15 – включение высокочастотного питания преобразователя;  $T = 4\text{К}$

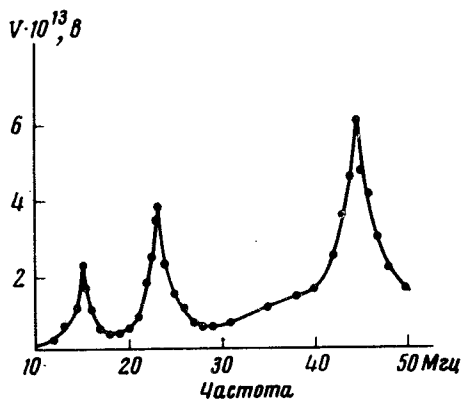


Рис. 2. Разность потенциалов возникающая на образце при включении высокочастотного поля питания преобразователя частоты  $10 \div 50 \text{ МГц}$ .  $T = 4,23\text{К}$

Результаты измерения разности потенциала  $V$ , возникающей на образце при различных частотах возбуждения преобразователя, приведены на рис. 2. Резкие максимумы при 15; 45 и 23 МГц, очевидно, связаны с возбуждением квазипоперечных и квазипродольных мод колебаний. Так, согласно расчетам по данным [6], собственные частоты у использованного преобразователя для квазипоперечных и квазипродольных мод равны 14,9 и 22,8 МГц.

Появление  $V$  может быть вызвано не только эффектом увлечения звуком электронов ( $V_{ph}$ ), но и изменением температуры вдоль образца. Очевидно, за счет термоэдс  $-a$  в цепи может появиться  $V_T = a\Delta T$ , где  $\Delta T$  — разность температур контактов образца со сверхпроводящими проводами. Хотя в опыте использовались небольшие мощности  $\lesssim 10^{-3}$  вт, и большая часть образца находилась в жидком гелии, возможность возникновения  $\Delta T$  нельзя было исключить.

Для того, чтобы легче разобраться в природе  $V$  у образцов, проводилось одновременно измерение зависимости от температуры  $V$  для частот максимумов (15; 45 и 23; 69 МГц) и  $V_H$ , возникавшей при включении нагревателя  $H$  на образце. Очевидно, что  $V_H$  пропорционально  $V_T$ , с точностью до эффектов второго порядка малости, возникающих из-за некоторого различия средней температуры образца при включении звука и нагревателя. (При использовавшихся мощностях разность температур между гелием и образцом достигала  $3 \cdot 10^{-2}$  К, градиент температуры вдоль образца  $10^{-3}$  К).

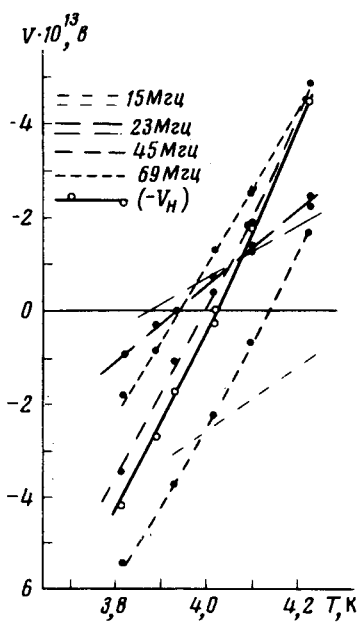


Рис. 3. Зависимость от температуры разности потенциалов  $V$ , возникающей на образце Sn для частот 15, 23, 45 и 69 МГц и для нагревателя  $H$  при мощности  $5,6 \times 10^{-4}$  вт. Тонкие линии — опыт с теплоизолированным концом образца

Результаты измерений показали, что в исследованном интервале температур 3,7 – 4,2 К характер зависимости от температуры  $V(T)$  не совпадает с температурной зависимостью  $V_T \propto V_H$ , более того в нормальном состоянии олова для разных частот кривые  $V(T)$  пересекают ось  $V = 0$  при различных температурах (рис. 3). (В сверхпроводящем состоянии при  $T < 3,71$  К,  $V = 0$ ). Эти данные свидетельствуют, что в разности потенциалов возникающей вдоль образца в звуковом поле существенен эффект увлечения звуком электронов. Ясно, что для каждой частоты  $V_{ph} = V$  при той температуре, где  $V_T \propto V_H = 0$ . Тонкими линиями на рис. 3 приведены результаты полученные в иной постановке опыта, когда часть образца над шайбой 10 была теплоизолирована перевернутым дьюаром. В обоих вариантах измерений были получены согласующиеся значения  $V_{ph}$  со среднеквадратичным разбросом для 23 и 69 МГц — 10%, для 15 МГц — 22%, для 45 МГц — 60%.

Используя зависящую от температуры часть  $V$  и  $V_{ph}$ , можно оценить мощность звукового поля  $W$ . Это позволяет сравнить  $v_{ph} = V_{ph}/W$  для различных частот. Для квазипродольных колебаний  $v_{ph}$  ( $23 \text{ МГц}$ ) =  $= 1,6 \cdot 10^{-11} \text{ в.см}^{-1} \text{ см}^2$ ;  $v_{ph}$  ( $69 \text{ МГц}$ ) =  $1,0 \cdot 10^{-11} \text{ в.см}^{-1} \text{ см}^2$  для квазипоперечных мод колебаний  $v_{ph}$  ( $15 \text{ МГц}$ ) =  $-2,1 \cdot 10^{-11} \text{ в.см}^{-1} \text{ см}^2$ ;  $v_{ph}$  ( $45 \text{ МГц}$ ) =  $-4,3 \pm 2,5 \cdot 10^{-12} \text{ в.см}^{-1} \text{ см}^2$ . Знак выбран в соответствии с результатами ранее проведенных исследований по термоэзд фононного увлечения у олова [7]<sup>1)</sup>.

Установленный в данной работе у металла эффект увлечения звуком электронов нельзя отнести к малым эффектам. В случае олова разность потенциалов, возникающая как при передаче энергии звуковым полем, так и теплопроводностью, одного порядка. Напомним, что олово сложный металл с почти равным числом электронов и дырок. На наш взгляд, наиболее существенным является тот факт, что величина  $v_{ph}$  может иметь различный знак для разных мод колебаний. Это показывает беспочвенность попыток оценить величину эффекта исходя только из данных по затуханию звука в металле. Ясно, что безнадежно пытаться разобраться в этом эффекте не привлекая данных о поверхности Ферми металла. Надеемся вернуться к этому вопросу в дальнейшем.

Автор признателен П.Л.Капице за поддержку, Н.А.Никитину и Н.П.Николаеву за техническое содействие.

Институт физических проблем  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
8 декабря 1976 г.

## Литература

- [1] R.H.Parmenter. Phys. Rev., 89, 990, 1953.
- [2] N.G.Einspruch. Solid State Phys., 17, 217, 1965.
- [3] А.П.Королук, В.Ф.Рой. ФТТ, 14, 260, 1972.
- [4] G.Weinreich. Phys. Rev., 104, 321, 1956.
- [5] Н.В.Заварицкий, А.Н.Ветчинкин. ПТЭ, 1, 247, 1974.
- [6] E.G.Spencer, P.G.Lenzo, A.A.Ballman Proc. IEEE, 55, 2074, 1967.
- [7] Н.В.Заварицкий, А.А.Алтухов. ЖЭТФ, 70, 1861, 1976.

<sup>1)</sup> Расчет эффекта по радиационному давлению звукового поля на систему электронов дает  $v_{ph} (\text{ену})^{-1} \approx 5 \cdot 10^{-10} \text{ в.см}^{-1} \text{ см}^2$  ( $u$  — скорость звука,  $n$  — плотность электронов).