

## АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В СЕРЕБРЕ

Н.В.Заварицкий, О.Е.Омельяновский

Разработана методика, позволяющая определить акустоэдс  $E^A$  – поле, возникающее вследствие увлечения электронов звуковой волной, для любого металла достаточной чистоты. Измерена акустоэдс у монокристаллов серебра, в интервале  $1,3 \div 7$  К, обнаружена сильная анизотропия  $E^A$ , которая сопоставляется с особенностями ферми-поверхности и теоретическим расчетом <sup>2</sup>.

Звуковая волна, распространяясь в проводниках индуцирует так называемое акустоэлектрическое напряжение  $V^A$ . Этот эффект в металлах впервые был обнаружен в работе <sup>1</sup>, однако применявшаяся методика позволяла проводить надежные измерения лишь при температурах, где термоэдс исследуемых металлов была равна нулю. Кроме того, из-за сложности поверхности Ферми олова, – наиболее детально изученного металла, – сравнение результатов с теоретическими расчетами было затруднено <sup>2</sup>. Ниже описана новая методика, позволяющая проводить измерения акустоэдс практически у любого достаточно чистого металла в области гелиевых температур, и представлены результаты измерения акустоэдс серебра, – металла с относительно простой поверхностью-Ферми.

Схема прибора, использованного в опытах представлена на рис. 1. Исследуемый образец – 3 Ag высокой чистоты  $R_{300}/R_{4,2} \sim 6500$  (длина  $\sim 5$  см, сечение  $3 \times 3$  мм<sup>2</sup>) заданной ориентации был расположен в вакуумном контейнере – 2 с окном из пластины германия – 6 толщиной 0,2 мм (монокристалл, ось [111] вдоль распространения звука), через которое подводилась ультразвуковая волна ( $L$  – мода,  $f = 26$  МГц) мощностью  $W_0$  ( $\sim 4 \cdot 10^{-4}$  Вт). Образец центрировался в стойке прибора – 7 шайбами – 5 с бумажными растяжками. К германиевому окну он прижимался грузом – 4 с иглой. Акустический контакт между образцом, окном и звуковым преобразователем – 1 из ниобата лития осуществлялся через слой масла ГКЖ. Температура образца измерялась угольным термометром – 9.

Для определения акустоэлектрического поля  $E^A$  измерялось электрическое напряжение вдоль образца  $V^A$  между той точкой, где через его сечение проходит ультразвуковой поток мощностью  $W$  и верхним концом, где звуковой поток полностью затухал. Мощность звукового потока на нижнем торце –  $W_0$  определялась по перегреву образца. Разность потенциалов измерялась компенсационно с установкой СКИМП <sup>3</sup> в качестве нуля прибора. Сверхпроводящие провода измерительной схемы припаивались к тонким выступам, изготовленным на поверхности образца электроэрозионной резкой и выводились из контейнера через слезки – 8 с впаянными капиллярами из платины. Контакты к образцу располагались на различном расстоянии от его торца. Это позволяло в опыте измерить изменение  $W$  вдоль длины образца и, тем самым, определить затухание звука  $\Gamma$ . Используемая методика исключала потерю звуковой мощности и тепла через боковые грани и верхний торец образца и позволяла легко рассчитать величину напряжения, которое связано с нагревом образца звуковой волной. Эта поправка не превышала в нашем случае 10% от  $V^A$ .

Затухание звука  $\Gamma$  в серебре обладает значительной анизотропией (рис. 2). Полученные нами значения затухания, не противоречат ранее проведенным измерениям <sup>4, 5</sup> и теоретическим расчетам <sup>2</sup> (рис. 2, пунктир).

Величина акустоэдс

$$E^A = \frac{SV_0^A}{W_0} \Gamma, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения образца, не зависела от температуры в интервале  $1,3 \div 7$  К. Изменение величины  $E^A$  с ориентацией образца приведено на рис. 2. Пунктир на рисунке – расчет  $E^A$  в работе <sup>2</sup>. Видно, что имеет место качественное различие между результатом расчета и экспериментом.

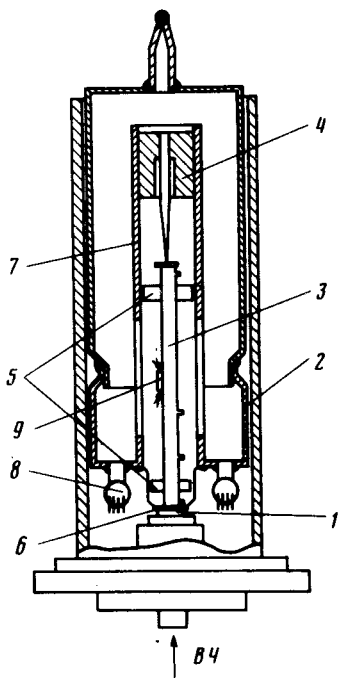


Рис. 1

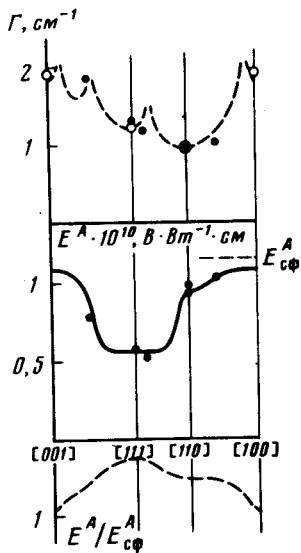


Рис. 2

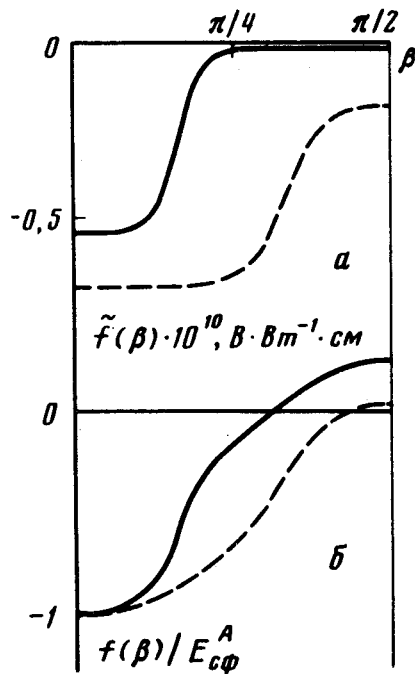


Рис. 3

Рис. 1. Схема прибора для измерений (пояснения в тексте)

Рис. 2. Затухание звука и акустоэдс в серебре. Результаты работ <sup>2</sup> и <sup>4</sup> совмещены с результатами данной работы в точке [110] (○ — данные работы <sup>4</sup>). Для образца с  $\varphi = 24^\circ$  и  $\theta = 37,5^\circ$   $\Gamma = 1,27 \text{ см}^{-1}$ ;  $E^A = 0,71 \cdot 10^{-10} \text{ В} \cdot \text{Вт}^{-1} \cdot \text{см}$

Рис. 3. Зависимость вклада перешейка в акустоэдс от угла

Известно, что поверхность Ферми серебра представляет собой сферу с перешейками вдоль главных диагоналей куба обратной решетке. В  $\tau$  приближении акустоэдс можно представить как сумму вкладов от сферической части — "пуза"  $E_{сф}^A$  и перешейков  $f(\beta)$ , т. е.

$$E^A = E_{сф}^A + \sum_{k=1}^4 f(\beta_k), \quad (2)$$

где  $\beta_k$  — угол между направлением распространения звука и перешейком. Величину  $E_{сф}^A$  можно рассчитать, воспользовавшись соотношениями <sup>1, 6</sup>

$$\Gamma_{сф} = \frac{\pi^2 N m V_F}{3 \rho_0 V_l^2} f; \quad E_{сф}^A = \frac{\Gamma_{сф}}{e V_l N};$$

т. е. для  $f = 26 \text{ МГц}$   $E_{сф}^A = 1,16 \cdot 10^{-10} \text{ В} \cdot \text{Вт}^{-1} \cdot \text{см}$ .

В расчетах акустоэдс <sup>2</sup> была использована функция  $f(\beta)$  представленная пунктиром на рис. 3. Данные опыта позволяют восстановить эту функцию по экспериментальным данным, решая обратную задачу. Легко видеть, что искомую функцию можно представить в виде

$$f(\beta) = C(1 + 3 \cos 2\beta) + \tilde{f}(\beta), \quad (3)$$

где  $C$  — произвольная постоянная, так как в силу кубической симметрии решетки, при суммировании по всем перешейкам выражение  $\sum C(1 + 3 \cos 2\beta_k)$  обращается в нуль, а  $\tilde{f}(\beta)$  — частное решение, не содержащее  $\cos 2\beta$ .

Результат определения по экспериментальным данным  $\tilde{f}(\beta)$  представлен на рис. 3, а сплошной линией. На этом же рисунке пунктиром приведено  $\tilde{f}(\beta)$ , описывающее угловую зависимость  $E^A$  в работе <sup>2</sup>. На рис. 3, б представлены — пунктиром функция  $f(\beta)$  из ра-

боты <sup>2</sup> и сплошной линией  $f(\beta)$ , определенная по экспериментальным данным и совмещенная с теоретической в точке  $\beta = 0$  выбором соответствующего значения коэффициента  $C$  в выражении (3).

Как видно из рис. 3, зависимость  $f(\beta)$  полученная расчетом <sup>2</sup> и восстановленная из данных опыта имеют сходный характер, однако, так как вклады от "пуза" и перешейка имеют противоположный знак, то даже незначительное изменение  $f(\beta)$  приводит к существенному изменению  $E^A$  в данном направлении, см. соотношение (2). Сплошная линия на рис. 2 -- результат расчета  $E^A$  по соотношению (2) и функции  $f(\beta)$ .

Некоторое расхождение между полученной из теоретического расчета зависимостью  $f(\beta)$  и той же зависимостью, определенной по экспериментальным данным, указывают на необходимость уточнения теоретических расчетов.

Авторы благодарны А.И.Шальникову за внимание к работе, И.М.Суслову за обсуждение результатов, Н.В.Личковой за любезное предоставление монокристаллов серебра.

#### Литература

1. Заварицкий Н.В. ЖЭТФ, 1978, 75, 1873.
2. Суслов И.М. ЖЭТФ, 1981, 80, 1868.
3. Заварицкий Н.В., Ветчинкин А.Н. ПТЭ, 1974, № 1, 247.
4. MarFarlene R.E., Rayne J.A. Phys. Rev., 1967, 162, 522.
5. Mason W.P., Rosenberg A. J. Acoust. Soc. Amer., 1969, 45, 470.
6. Steinberg M.S. Phys. Rev., 1958, 111, 425.