

ОСОБЕННОСТИ ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ СУРЬМЫ

Ю.А.Богод, В.Б.Красовицкий

Сообщаются результаты исследований гальваномагнитных свойств сурьмы в поперечных магнитных полях до 100 кэ при температурах 4,2, 20,4 и 77°К.

Образцы размерами $1 \times 1,5 \times 1 + 1,5 \times 10 + 12$ мм вырезались электроэрозионным методом из монокристаллических слитков сурьмы марки Су-0000 и затем отжигались при температуре 400°С в гелиевой атмосфере. Время отжига 24-30 час. Измерения проводились как в импульсных магнитных полях, так и в стационарных. Максимальное значение постоянного поля не превышало 20 кэ. Зависимость импульсного магнитного поля от времени носила аperiодический характер. Длительность переднего фронта импульса не превышала 5, заднего — 30 мсек и при неизменной амплитуде поля могла варьироваться с помощью плавного изменения параметров конденсаторной батареи, являющейся источником энергии.

При измерениях в импульсных магнитных полях чувствительность схемы [1] выбиралась таким образом, чтобы в отсутствие тока через образец сигнал на выходе, связанный с наводками, был равен нулю.

На образце Sb — 2а, ориентированном так, что $I \parallel C_2$, H в плоскости $C_1 C_3$, изучалась зависимость падения напряжения от величины магнитного поля $U_1(H)$ при различных значениях тока I , проходящего через образец. (C_1 , C_2 и C_3 — биссекторная, бинарная и тригональная оси, соответственно).

При $T = 20,4^\circ\text{K}$ для направлений H вблизи C_3 ($H \parallel C_3$ соответствует минимуму на диаграмме вращения [2]), обнаружено, что когда $I > 0,4$ а зависимость падения напряжения от магнитного поля на переднем и заднем фронте импульса неодинакова, т.е. имеет место гистерезис (рис.1, кривые 1,2). Форма "петли" гистерезиса существенно зависит от величины электрического тока, а при некоторых значениях тока "петля" превращается в "восьмерку". Сложная и запутанная картина, которая имеет место для набора кривых $U_1(H)$, после перестройки их в се-

мейство вольтамперных характеристик $U_H(I)$ становится совершенно отчетливой (рис.2, кривые $U_H(I)$ построены на переднем фронте импульса). При $H = 31$ кэ зависимость $U_H(I)$ линейна, если $I < 0,75$ а. Когда $I = 0,75$ а, производная dU/dI резко возрастает, затем обращается в нуль ($I = 0,8$ а) и при дальнейшем увеличении тока становится отрицательной. При возрастании магнитного поля вольтамперная характеристика преобразуется – появляется минимум ($H = 90$ кэ, $I \approx 0,87$ а), после которого производная dU/dI вновь становится положительной. Когда $H = 100$ кэ, зависимость $U_H(I)$ имеет S-образный вид (рис.2).

Для направлений магнитного поля, отстоящих от тригональной оси более чем на $\pm 20^\circ$, описанные выше аномалии не наблюдаются – хорошо

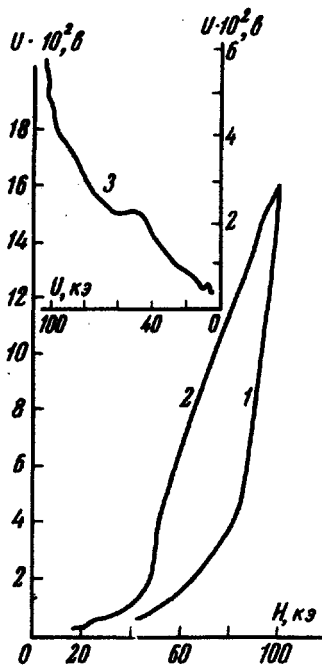


Рис.1. Зависимость падения напряжения от магнитного поля. 1 – Sb – 2 а, передний фронт; 2 – Sb – 2 а, задний фронт; 3 – Sb – 4 а, задний фронт; $T = 20,4^\circ \text{K}$; $I = 1,2$ а

выполняется закон Ома и зависимость сопротивления от магнитного поля близка к квадратичной [2].

Выполнение закона Ома и зависимость магнетосопротивления от поля, близкая к квадратичной, имеют место для всех без исключения направлений магнитного поля в плоскости C_1C_3 при $T = 4,2^\circ \text{K}$. Опыты, проводимые в парах гелия, показали, что аномалии начинают проявляться в районе 10°K .

При 77°K для направлений поля, близких к C_3 , также имеет место гистерезис для зависимости $U_1(H)$. Кроме того, на заднем фронте кривых обнаружены осцилляции (рис.3). Исследование этих осцилляций связано с большими трудностями, так как их амплитуда уменьшается от импульса к импульсу.

Внимательное изучение кривых падения напряжения на заднем фронте импульса при водородной температуре показывает, что в районе 20 кэ также имеются колебания $U_1(H)$ (рис.1, кривая 2). Изучение этих ко-

лебаний, естественно, нужно проводить, не меняя условий опыта, т.е. не снижая максимального значения магнитного поля. При этом, для увеличения разрешающей способности в малых полях, нужно увеличить чувствительность схемы, что приводит к большой погрешности из-за возрастания сигнала, связанного с наводками. Предполагая, что колебания при $T = 77$ и $20,4^\circ\text{K}$ имеют одну природу и учитывая экспериментальные трудности, указанные выше, мы попытались найти образец, на котором осцилляции $U_1(H)$ при $T = 20,4^\circ\text{K}$ проявлялись бы в районе 20-

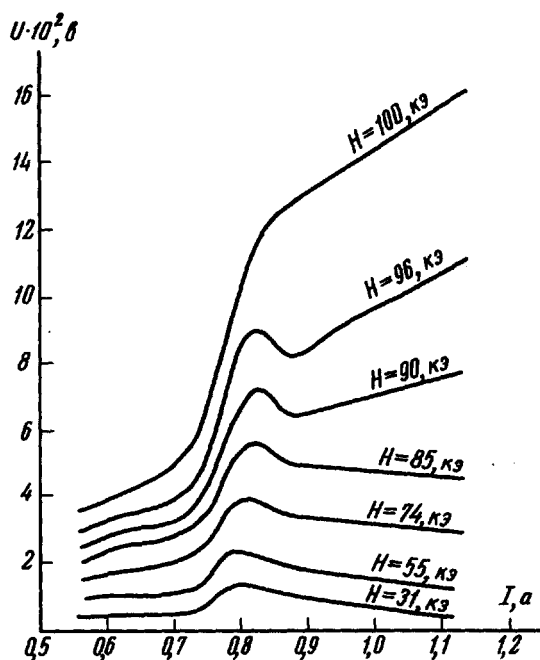


Рис.2. Семейство вольтамперных характеристик для образца $\text{Sb}-2a$ при $T = 20,4^\circ\text{K}$

80 кэ. Образец $\text{Sb}-4a$ ($111C_1$, H в плоскости C_2C_3) как раз отвечал этим требованиям (рис.1, кривая 3). Варьирование амплитуды и длительности импульса магнитного поля показывает, что колебания падения напряжения есть осцилляции во времени и их частота растет с увеличением максимального значения магнитного поля. Интересно отметить, что осцилляции также как и гистерезис, на образце $\text{Sb}-4a$ имеют место для направлений поля, близких к тригональной оси. Когда $T = 77^\circ\text{K}$, колебания, как и в случае $\text{Sb}-2a$, недолговечны. При $T = 4,2^\circ\text{K}$ аномалий падения напряжения не обнаружено.

Были проведены также измерения вольтамперных характеристик и зависимости $U_{1 < 10}(H)$ в стационарных полях, не превышающих 20 кэ. Максимальная величина тока через образец при измерениях вольтамперных характеристик составляла 7 а, а импульс тока длительностью

0,1 сек формировался с помощью RC-цепочки. Отклонения от закона Ома, гистерезис и осцилляции падения напряжения в этих опытах не наблюдались.

Обнаруженные аномалии падения напряжения не связаны с выделением в образце джоулева тепла. Об этом свидетельствуют следующие факты: 1. Анизотропия эффектов. (Гистерезис, отклонение от закона Ома и осцилляции проявляются в минимуме диаграммы вращения, в то время как в максимуме, где падение напряжения в несколько раз больше, указанные явления не наблюдаются); 2. Отсутствие аномалий при 4,2°K; 3. Линейный ход вольтамперных характеристик в стационарных магнитных полях. (Количество джоулева тепла, выделяемое при этом в образце, в несколько раз больше, чем в опытах с импульсными магнитными полями до 100 кэ).

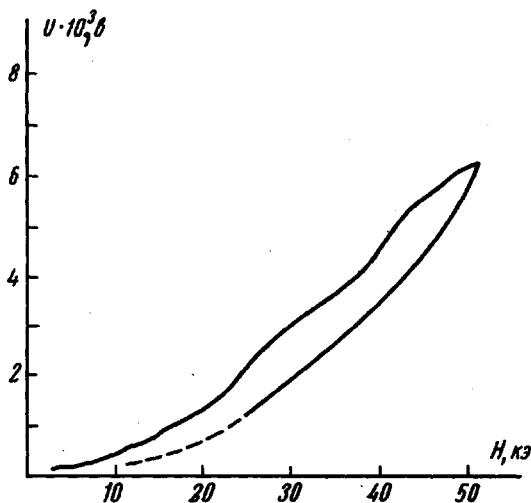


Рис.3. Зависимость падения напряжения от магнитного поля для образца Sb-2a, $T = 77^\circ\text{K}$, $l = 1 \text{ a}$

Прежде всего, можно предположить, что отклонение от закона Ома и осцилляции падения напряжения суть взаимосвязанные явления. Проведенные оценки позволяют утверждать, что они не относятся к эффекту Есаки — дрейфовая скорость носителей в условиях опытов на три порядка меньше скорости звука в сурьме.

Одной из возможных причин наблюдаемых явлений может явиться перегрев электронного газа в скрещенных электрическом и магнитном полях [3]. Однако соответствующие оценки в настоящее время не могут быть сделаны ввиду отсутствия теории нелинейных эффектов в полуметаллах в скрещенных полях и недостаточного количества экспериментальных данных.

С другой стороны, результаты настоящей работы до некоторой степени аналогичны эксперименту по обнаружению геликонов в натрии [4]. В обоих опытах частота колебаний увеличивается с ростом магнитного поля и затухание уменьшается при увеличении времени релаксации. (На

неотожженных образцах описанные в настоящей работе эффекты не наблюдались). Как известно, в металлах с равным числом электронов и дырок геликоидальные волны не распространяются (см., например, [5]). Тем не менее, в этих металлах возможно возбуждение плазменных волн других типов [6].

Опираясь на результаты опытов в стационарных полях, мы склонны считать, что перегрев электронного газа вряд ли может явиться причиной аномалий.

Для окончательного выяснения природы наблюдаемых эффектов в ближайшее время будут поставлены эксперименты, исключающие возможность перегрева электронного газа.

Авторы признательны В.В.Еременко за интерес к работе и полезные обсуждения.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук Украинской ССР

Поступило в редакцию
28 января 1968 г.

Литература

- [1] Ю.А.Богод, В.В.Еременко. ФММ, **21**, 362, 1966.
- [2] Ю.А.Богод, В.В.Еременко. ЖЭТФ, **63**, 473, 1967.
- [3] Ф.Г.Басс, ЖЭТФ, **48**, 275, 1965.
- [4] R. Bowers, C. Legendy, F. Rose. Phys. Rev. Lett., **7**, 27, 1961.
- [5] Ф.Г.Басс, А.Я.Бланк, М.И.Каганов. ЖЭТФ, **45**, 1081, 1963.
- [6] А.Чайнов, С.Бухсбаум. УФН, **90**, 190, 1966.