

Академик АН БССР Н. Н. СИРОТА, В. И. ГОСТИЦЕВ, А. А. ДРОЗД

ГИГАНТСКИЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ ТЕРМОЭЛЕКТРОДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ АЛЮМИНИЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В ранее проведенной работе (1) измерялась анизотропия термоэлектродвижущей силы (т.э.д.с.) монокристалла алюминия при низких температурах. При вращении образца в сильном поперечном магнитном поле было установлено наличие острых максимумов т.э.д.с. в плоскости (110), обусловленных явлением магнитного пробоя.

В настоящей работе для детального изучения магнитного пробоя в алюминии нами предпринята попытка одновременного исследования изменения т.э.д.с. и электропроводности в зависимости от ориентации образца в сильном поперечном магнитном поле.

Исследование проводили на двух монокристаллических образцах алюминия особой чистоты, изготовленных в виде цилиндров диаметром $\varnothing 0,5$ и длиной 6 см. Образцы были приготовлены из одного монокристалла, их оси с точностью $\pm 2^\circ$ совпадали с кристаллографическим направлением [001]. Отношение сопротивлений у обоих образцов $R_{2730\text{ К}}/R_{4,20\text{ К}}$ было около 19 000. Т.э.д.с. определялась по отношению к свинцу. Исследуемый образец монтировался в перевернутый стакан, при этом его верхний конец подогревался электронагревателем, а нижний находился в жидком гелии. В процессе измерения т.э.д.с. градиент температуры на рабочей части образца поддерживался постоянным и равным 0,23 град/см и контролировался золото + железо-медной дифференциальной терморпарой.

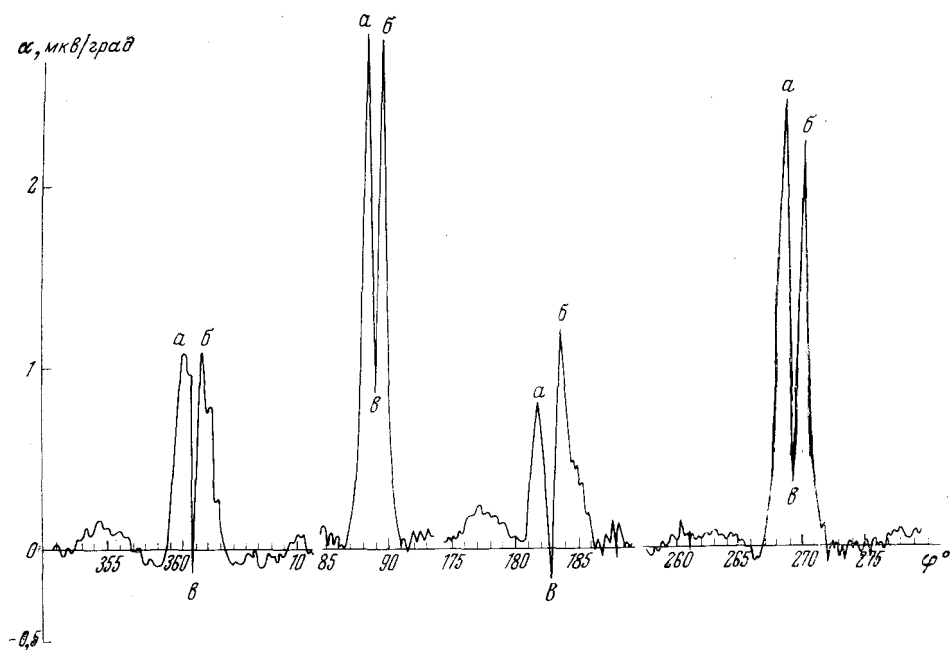


Рис. 1. Зависимость изменения т.э.д.с. монокристаллического образца алюминия от угла поворота в постоянном магнитном поле напряженностью $H=47$ кэ. Ось образца приблизительно совпадает с [001]

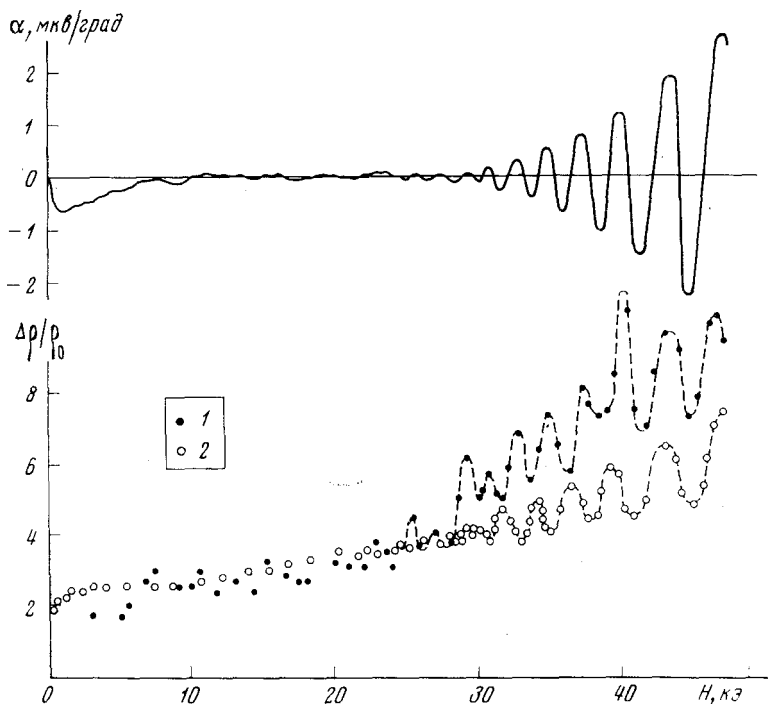


Рис. 2. Полевые зависимости термоэлектродвижущей силы и электропроводности $\Delta\rho/\rho_0$ алюминия при $H\parallel\varphi \approx 90^\circ$. 1 — результат настоящего исследования, 2 — данные из (3)

При измерении электропроводности в верхней части стакана проделывалось отверстие для отвода газообразного гелия. Термоэлектродвижущая сила и падение напряжения на рабочей части образца измерялись компенсационным методом с чувствительностью нуль-индикатора $2 \cdot 10^{-8}$ в. При исследовании т.э.д.с. сигнал после компенсатора выводился на двухкоординатный самописец. Точность измерения т.э.д.с. составила $\pm 2\%$, а электропроводности $\pm 10\%$. Все измерения проводились при температуре $4,2^\circ\text{K}$ в поперечном магнитном поле напряженностью до 47 кэ (2). Неоднородность магнитного поля на рабочей части образца не превышала $\pm 2\%$. При измерении вектор напряженности магнитного поля лежал в плоскости, перпендикулярной к оси образца.

В процессе исследования сняты полярные зависимости т.э.д.с. от угла поворота образца в постоянном магнитном поле $H=47$ кэ. На полученных диаграммах отмечается четыре узких области углов, лежащих в двух взаимно перпендикулярных кристаллографических направлениях $[100]$ и $[010]$, в которых наблюдались острые максимумы термоэлектродвижущей силы. На рис. 1 показаны эти четыре участка диаграммы одного из исследованных образцов. На остальных участках этой диаграммы вращения фиксировалась лишь мелкая рябь. Отсчет угловой координаты начат от условной точки на образце и велся в плоскости, нормальной к оси образца.

Как видно из рис. 1, структура групп максимумов т.э.д.с. на каждом из четырех участков практически одинакова. Каждая группа состоит из трех узких всплесков т.э.д.с., обозначенных буквами *a*, *b*, *c*. Высоты всплесков *a* и *b*, относящихся к какой-либо одной группе, приблизительно одинаковы, а угловые расстояния между ними в среднем составляют 2° .

Всплеск *в* расположен между всплесками *a* и *б*, и поскольку его полярность не тождественна с полярностью *a*, *б*, то при повороте образца от положения, соответствующего всплеску *a*, к положению *б*, наблюдается резкое изменение величины и даже знака т.э.д.с. Это придает всем группам максимумов т.э.д.с. острый, изрезанный вид.

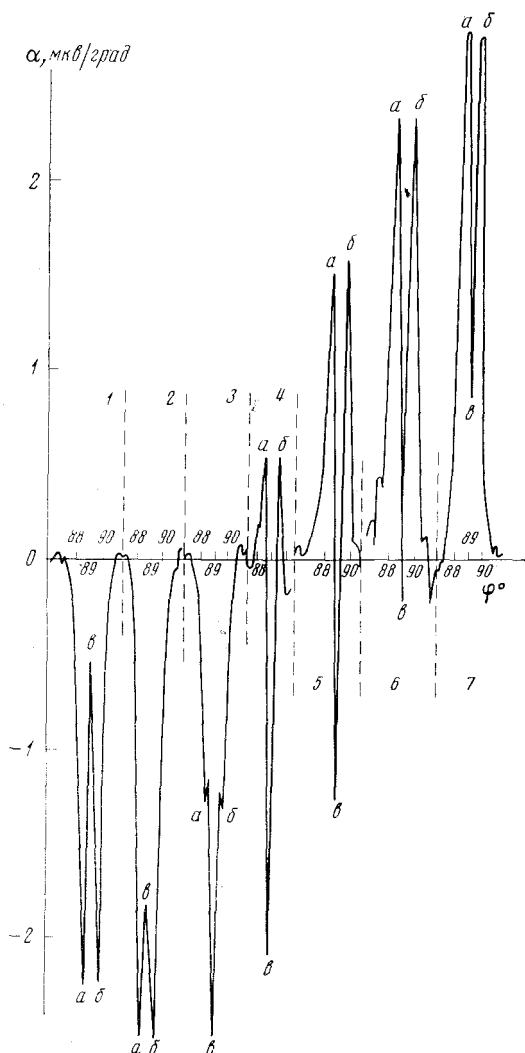


Рис. 3. Структура группы максимумов т.э.д.с. в магнитном поле различной напряженности (кэ). 1 - 45,95; 2 - 45,50; 3 - 45,90; 4 - 46,40; 5 - 46,50; 6 - 46,80; 7 - 47,00

При направлении вектора напряженности магнитного поля параллельно $\varphi \approx 90^\circ$, соответствующего одному из всплесков т.э.д.с., сняты полевые зависимости т.э.д.с. и электросопротивления (рис. 2). При этом обнаружено, что термоэлектродвижущая сила и электросопротивление синхронно и синфазно осциллируют с частотой $\Delta(1/H) = 1,887 \cdot 10^{-6} \text{ э}^{-1}$. Осцилляции термоэлектродвижущей силы в алюминии наблюдаются впервые, осцилляции электросопротивления алюминия в магнитном поле наблюдались ранее в (3). Для сравнения на рис. 2 нанесены экспериментальные данные из этой работы. Несмотря на неодинаковое отношение $R_{273^\circ \text{ К}}/R_{4,2^\circ \text{ К}}$ исследуемого нами и образца в (3), частоты их осцилляций практически совпадают. Различие отношений $R_{273^\circ \text{ К}}/R_{4,2^\circ \text{ К}}$ в ходе полевых зависимостей $\Delta\rho/\rho_0$ проявляется, начиная с $H=25$ кэ и выше, когда становятся хорошо различимы осцилляции т.э.д.с. При этом неосциллирующая составляющая электросопротивления у нашего образца, имеющего большее отношение $R_{273^\circ \text{ К}}/R_{4,2^\circ \text{ К}}$, проходит значительно выше. Осцилляции т.э.д.с. имеют вид синусоидальных колебаний, амплитуда которых возрастает в магнитном поле. Понижение температуры до 2° К на форму осцилляций практически не влияет.

Наблюдаемые нами осцилляции т.э.д.с., по-видимому, как и осцилляции электропроводности, обусловлены магнитным пробоем (4). Обнару-

женные нами квантовые осцилляции т.э.д.с. позволили, пользуясь формулой Лифшица — Онзагера, найти площадь экстремального сечения утолщения поверхности Ферми в месте соединения трубок электронных поверхностей в третьей зоне, оказавшегося равным $S_{\text{экстр}} = 0,21 \cdot 10^{-2} (2\pi/a^2)$.

Структура групп максимумов т.э.д.с. на диаграмме вращения зависит от напряженности магнитного поля (рис. 3). По мере роста напряженности поля всплески a , b и c осциллируют с одинаковой частотой, всплеск c осциллирует с отставанием по фазе от всплесков a и b на $54,5^\circ$. Амплитудные значения всплесков a , b и c в каждой группе максимумов приблизительно одинаковы.

Анализ структуры группы максимумов т.э.д.с. позволяет сделать заключение о некоторых деталях магнитного пробоя в алюминии. В результате магнитного пробоя в углах второй зоны возникает три узких слоя сильно протяженных траекторий, отстоящих один от другого на угловые расстояния, равные $0,6-0,8^\circ$. Утолщение в месте соединения электронных трубок в третьей зоне выполняет при этом роль переходного мостика. Ширина слоев протяженных траекторий не превышает нескольких угловых минут.

Все выявленные нами при исследовании термоэлектродвижущей силы особенности магнитного пробоя в алюминии существенно дополняют выводы работы (³).

Институт физики твердого тела и полупроводников
Академии наук БССР
Минск

Поступило
13 VIII 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Н. Сирота, В. И. Гостищев, А. А. Дрозд, Письма ЖЭТФ, т. 16, 11, 580 (1972).
² В. И. Гостищев, А. А. Дрозд, Докл. АН БССР, т. 17, 3, 218 (1973). ³ R. J. Balcombe, R. A. Parker, Phil. Mag., v. 21, 533 (1970). ⁴ И. М. Лифшиц, М. Я. Азбель, М. И. Каганов, Электронная теория металлов, «Наука», 1971.