

ЭФФЕКТ ХОЛЛА ПРИ СТАТИЧЕСКОМ СКИН-ЭФФЕКТЕ

Н.В.Волкенштейн, В.В.Марченков, В.Е.Старцев,
А.Н.Черепанов, М.Глиньский

При температуре 4,2К и в магнитных полях до 150 кЭ измерены эффект Холла и магнитосопротивление монокристаллов вольфрама с $\rho_{293\text{К}}/4,2\text{К} = 80000$. Впервые обнаружено, что статический скин-эффект приводит к аномально-сильному росту коэффициента Холла.

Вольфрам является компенсированным металлом с равным числом электронных и дырочных носителей тока ($n_e = n_h$) и имеет поверхность Ферми, все листы которой замкнуты. При экспериментальном исследовании эффекта Холла чистых монокристаллов вольфрама нами было обнаружено, что в магнитных полях до 150 кЭ коэффициент Холла $R_h = U_h c / JH$ (U_h – ЭДС Холла, c – толщина пластинки, J – ток образца, H – напряженность магнитного поля) линейно возрастает в десятки раз. Согласно электронной теории гальваномагнитных свойств металлов он не должен зависеть от магнитного поля. Мнение о том, что причиной полевой зависимости R_h вольфрама может служить некоторая раскомпенсация ($n_e \neq n_h$) из-за примесей и дефектов¹ не соответствует действительности, так как с ростом чистоты кристаллов и увеличением длины свободного пробега электронов l аномальный рост R_h не только не уменьшается, а становится сильнее.

Линейный рост $R_h(H)$ наблюдается при условии $r \ll d < l$ (d – поперечный размер образца, r – ларморовский радиус), поэтому можно предположить, что он связан с взаимодействием электронов проводимости с поверхностью компенсированного металла, т. е. со статическим скин-эффектом². Его сущность состоит в неоднородном распределении постоянного тока в объеме образца и в преимущественном его протекании в приповерхностном слое толщиной порядка r . Поведение магнитосопротивления в условиях статического скин-эффекта ($r < d \leq l$) экспериментально исследовалось в работах^{3, 4}, результаты которых свидетельствуют о справедливости предсказаний².

Можно ожидать, что значительная неоднородность электрического тока в образце приведет к неоднородности распределения в нем холловского поля. Эффект Холла в условиях статического скин-эффекта до сих пор экспериментально не исследовался. Поэтому при температурах 4,2 и 25К в магнитных полях 10 ÷ 150 кЭ были измерены¹⁾ анизотропия и полевые зависимости поперечного магнитосопротивления и коэффициента Холла монокристаллов вольфрама на трех группах образцов с одинаковой ориентацией тока $j \parallel < 100 >$, но отличающихся степенью чистоты, поперечными размерами и кристаллографической ориентацией граней.

Здесь мы приводим только результаты, полученные на образцах с "зеркальными" гранями (110): коэффициент зеркальности $q = 0,6$; $\rho_{293\text{К}} / \rho_{4,2\text{К}} = 80000$; $l = 3$ мм; размеры: 1) $1,389 \times 1,429 \times 12$ мм³; 2) $1,380 \times 0,335 \times 12$ мм³; 3) $0,330 \times 0,340 \times 12$ мм³. Измерения магнитосопротивления и коэффициента Холла выполнены с использованием общепринятой методики на постоянном токе (в режиме стабилизированного тока). Для исключения термоэдс и поперечного четного напряжения осуществлялась коммутация как электрического тока, так и магнитного поля.

Магнитосопротивление. На рис. 1 приведены полевые зависимости магнитосопротивления $\Delta R(H)/H^2$ ($\Delta R = R_H - R_0$) образцов с "зеркальными" гранями (110). Образцы с "диффузными" гранями (100) ($q = 0,15$) имеют подобный вид зависимостей $\Delta R(H)/H^2$, но в

1) Измерения выполнены в Международной лаборатории сильных магнитных полей и низких температур (ПНР, г. Вроцлав).

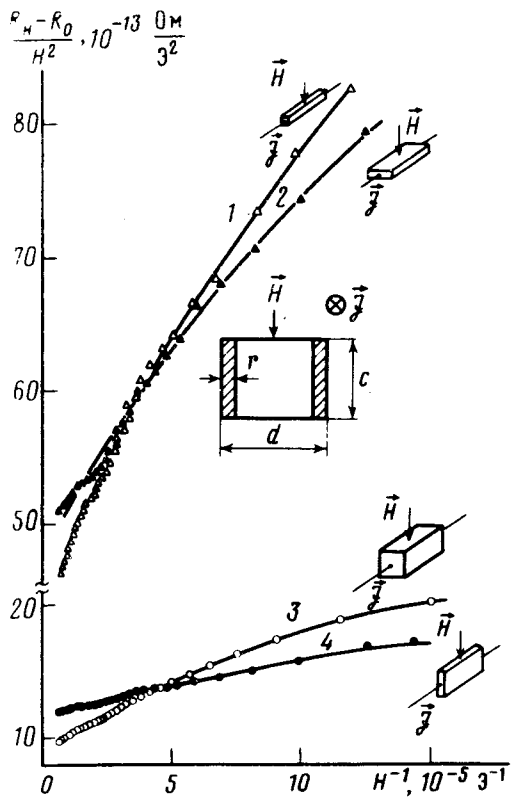


Рис. 1

Рис. 1. Полевые зависимости магнитосопротивления монокристаллов вольфрама разных размеров с гранями (110) в координатах $(R_H - R_0)/H^2 = f(H^{-1})$ при $T = 4,2$ К. Расстояние между потенциальными контактами у всех образцов равно 10 мм. На вставке – геометрия эксперимента. Кривые 1 и 2 соответствуют образцам с меньшими размерами C (0,330 и 0,335 мм), 3 и 4 – с большими C (1,389 и 1,380 мм)

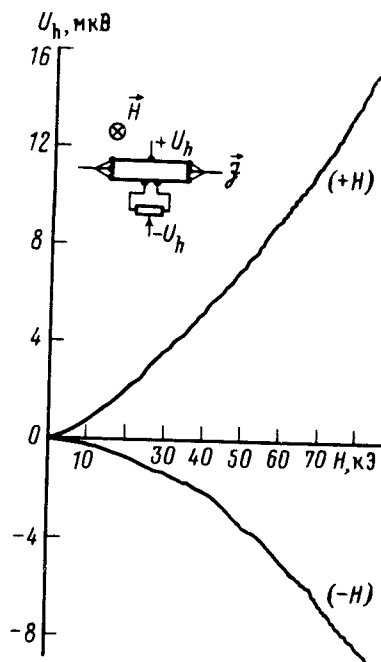


Рис. 2

Рис. 2. Полевая зависимость ЭДС Холла U_h пластинки вольфрама с гранями (110) записанная по трехточечной методике (см. вставку) при двух противоположных направлениях магнитного поля при $T = 4,2$ К. Ток в образце 0,385 А

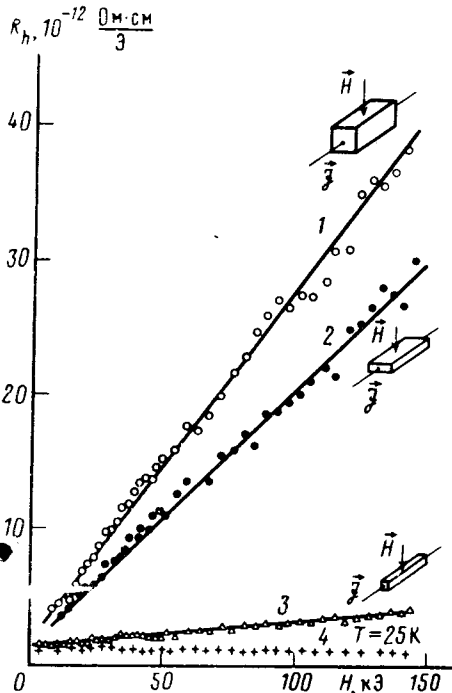


Рис. 3. Полевые зависимости коэффициента Холла $R_h(H)$ монокристаллов вольфрама разных размеров с гранями (110) при $T = 4,2$ К (кривые 1, 2 и 3) и $T = 25$ К (кривая 4). Зависимость 4 совпадает для всех образцов. Рисунки возле кривых поясняют геометрию эксперимента

два раза меньшую величину ΔR . Установлены следующие экспериментальные факты. 1. В сильных магнитных полях зависимости $\Delta R(H)$ не следуют лишь закону H^2 , а содержат дополнительный вклад, близкий к линейному. 2. Величина сопротивления в сильных магнитных полях определяется не площадью поперечного сечения образца, а площадью боковой грани, параллельной направлению H . 3. Используя процедуру разделения поверхностного и объемного сопротивлений, обнаружено, что удельное электросопротивление приповерхностного слоя толщиной порядка $r \approx \rho_{\parallel} (140 \text{ кЭ}) = 0,4 \times 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ на четыре порядка меньше, чем объемное сопротивление $\rho_{\text{об}} (140 \text{ кЭ}) = 3 \times 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{см}$. 4. Величина $\Delta \rho$ чувствительна к характеру отражения электронов от поверхности. Как в "грязных", так и в "чистых" образцах, но при $T = 25 \text{ К}$, т. е. при $l \ll d$, описанные выше особенности исчезают, а $\Delta \rho(H) \sim H^2$. Эти факты свидетельствуют о существовании в вольфраме в реализованных экспериментальных условиях ($r \ll d < l$) статического скин-эффекта.

Эффект Холла. Результаты измерений коэффициента Холла на тех же самых образцах показаны на рис. 2 и рис. 3. Из рис. 2 видно, что в сильных магнитных полях регистрируемая ЭДС U_h нечетна по магнитному полю и имеет квадратичный рост, а коэффициент Холла R_h (рис. 3) линейно возрастает с полем. При 4,2К $R_h (140 \text{ кЭ})$ в 40 раз превышает $R_h (140 \text{ кЭ})$ как "грязного" образца, так и "чистого", но при $T = 25 \text{ К}$. Аномальный рост $R_h(H)$ усиливается с увеличением поперечных размеров образцов, т. е. с ростом отношения d/r . Линейный рост R_h наблюдается и на образцах с "диффузными" гранями. В "грязных" образцах и в "чистых", но при $T = 25 \text{ К}$ аномального возрастания коэффициента Холла не наблюдается (см. рис. 2).

Таким образом, впервые экспериментально установлено, что величина коэффициента Холла при статическом скин-эффекте возрастает с ростом магнитного поля и поперечных размеров образцов. Этот факт может свидетельствовать о существовании скинирования электрического тока в металлических кристаллах с $n_e = n_h$ при любых размерах образцов.

Литература

1. Long J.R. Phys. Rev., B., 1971, 3, 1197.
2. Песчанский В.Г., Азбель М.Я. ЖЭТФ, 1968, 55, 1980.
3. Панченко О.А., Луцишин П.П. ЖЭТФ, 1969, 57, 1555.
4. Гайдуков Ю.П., Данилова Н.П. ФТТ, 1973, 15, 2801.

Институт физики металлов
Академии наук СССР УНЦ

Международная лаборатория сильных магнитных полей
и низких температур (ПНР, г. Вроцлав)

Поступила в редакцию
30 августа 1984 г.
После переработки
30 января 1985 г.