

МАГНЕТОСОПРОТИВЛЕНИЕ РУТЕНИЯ В БОЛЬШИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Н. Е. Алексеевский, К.-Х. Бертель¹⁾, А. В. Дубровин,
В. И. Нижанковский, Л. Урай²⁾

Исследовано магнетосопротивление монокристаллических образцов рутения различных ориентаций в поперечном магнитном поле до 155 кэ. На образцах, оси которых близки к направлению [0001], в полях ≥ 90 кэ обнаружен магнитный пробой.

В настоящем сообщении приводятся результаты измерений магнетосопротивления рутения, выполненных на образцах различных ориентаций в импульсных и стационарных полях до 155 кэ. Образцы вырезались искровой резкой из ориентированных рентгенографически монокристаллов рутения, имевших отношение сопротивлений $\rho_{300^\circ\text{К}} / \rho_{4,2^\circ\text{К}} \approx 150^3$). Поперечное сечение образцов $\approx 0,3 \times 0,3$ мм² и длина 4 ÷ 7 мм. Поверхность образцов электролитически полировалась, токовые и потенциальные концы припаивались чистым оловом. Монтаж приготовленных таким способом образцов в держатель и методика измерений в импульсных полях описаны в [1]; для измерений в стационарных полях использовалось устройство, описанное в [2]. Стационарные магнитные поля создавались двумя методами. В первом методе использовался сверхпроводящий магнит с пермендюрowymi концентраторами, максимальное поле составляло 92 кэ. Во втором методе использовался охлаждаемый водой медный соленоид

¹⁾ К.-Х. Бертель — сотрудник Международной лаборатории сильных магнитных полей и низких температур, Вроцлав, ПНР.

²⁾ Л. Урай — сотрудник Института техники, Будапешт, ВНР.

³⁾ Монокристаллы рутения были приготовлены в Ленинградском физико-техническом институте, в лаборатории, руководимой А. А. Фогелем.

(катушка биттеровского типа) с концентраторами из диспрозия, максимальное поле составляло 155 кэ^1 . Все измерения были выполнены при температуре образцов $4,2^\circ\text{К}$.

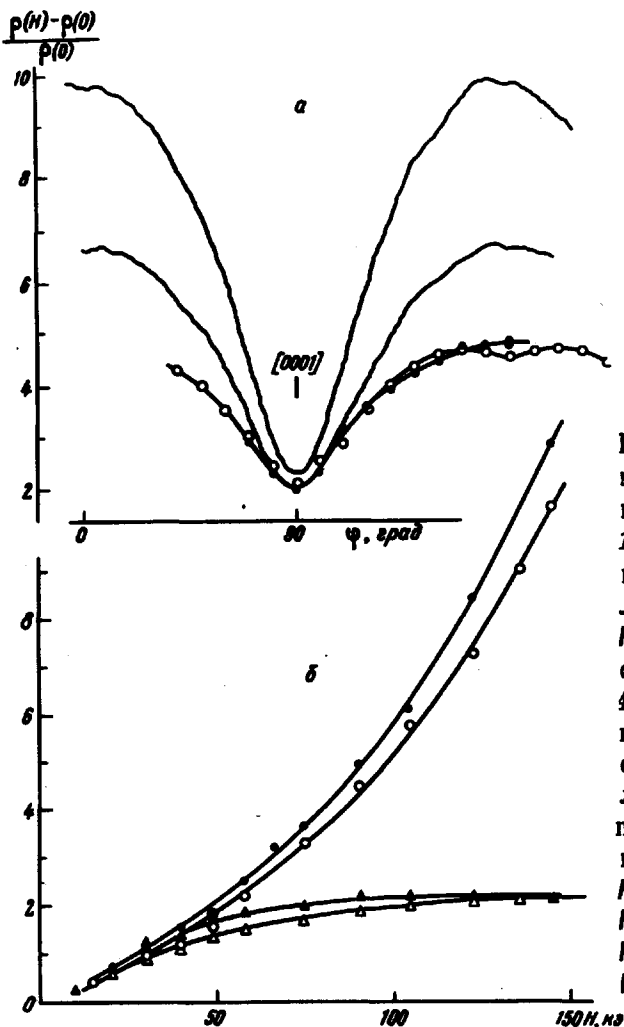


Рис. 1. а – Угловые зависимости магнетосопротивления бинарных образцов: 1. – (о) – $J \parallel [10\bar{1}0]$, импульсное поле $H = 91 \text{ кэ}$, 2. – (о) – $J \parallel [1\bar{2}10]$, импульсное поле $H = 91 \text{ кэ}$, 3. – $J \parallel [1\bar{2}10]$, стационарное поле $H = 115 \text{ кэ}$, 4. – $J \parallel [1\bar{2}10]$, стационарное поле $H = 145 \text{ кэ}$; б – зависимости магнетосопротивления бинарных образцов от поля, полученные в импульсных полях: ● – $J \parallel [1\bar{2}10]$, $H \parallel [10\bar{1}0]$, ○ – $J \parallel [10\bar{1}0]$, $H \parallel [1\bar{2}10]$, ▲ – $J \parallel [1\bar{2}10]$, $H \parallel [0001]$, △ – $J \parallel [10\bar{1}0]$, $H \parallel [0001]$

Экспериментальные результаты

На рис. 1, а приведены характерные угловые зависимости магнетосопротивления бинарных образцов, измеренные в импульсном поле 91 кэ . и полученные в стационарных полях. Основной особенностью кривых на рис. 1, а является глубокий минимум, когда поле параллельно гексагональной оси. Как видно из рис. 1, б в минимумах получилось почти полное насыщение магнетосопротивления с ростом поля, а в максимумах – квадратичный рост. Кроме глубокого минимума при $H \parallel [0001]$ на бинарном образце с осью вдоль $[10\bar{1}0]$ наблюдается небольшой минимум при

¹ Измерения по второй методике были выполнены в Международной лаборатории сильных магнитных полей и низких температур.

$H \parallel [1\bar{2}10]$, однако этот минимум не углубляется с ростом поля в полях до 155 кэ.

Угловая зависимость магнетосопротивления гексагонального образца, измеренная в стационарном поле 145 кэ, приведена на рис. 2, а. Анизотропия магнетосопротивления мала даже в таком большом поле. Минимумы соответствуют направлениям магнитного поля, перпендикулярным граням элементарной ячейки. Зависимость магнетосопротивления от поля были сняты при трех направлениях магнитного поля: $[10\bar{1}0]$, $[1\bar{2}10]$ и 30° от $[10\bar{1}0]$ к $[1\bar{2}10]$. Эти зависимости имеют примерно одинаковый вид, и на рис. 2, б приведена зависимость магнетосопротивления от поля при $H \parallel [1\bar{2}10]$, измеренная в стационарном поле. Характерной особенностью приведенной зависимости является резкий излом, происходящий в полях $\approx 80 + 90$ кэ. Зависимости магнетосопротивления от поля, полученные в импульсных полях, так же имеют излом в этой области полей.

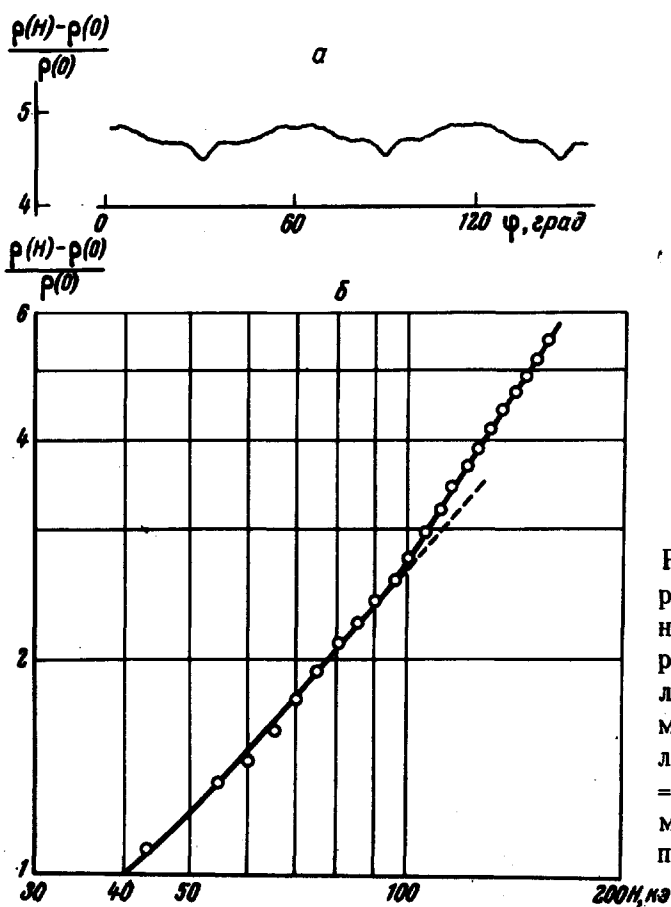


Рис. 2. Результаты измерений магнетосопротивления гексагонального образца в стационарных полях: а — угловая зависимость магнетосопротивления, полученная при $H = 145$ кэ, б — зависимость магнетосопротивления от поля при $H \parallel [1\bar{2}10]$

На рис. 3 приведены угловые зависимости магнетосопротивления образца рутения, ось которого отклонена на 15° от направления $[0001]$, полученные в стационарных полях до 145 кэ. С ростом поля происходит изменение характера анизотропии магнетосопротивления и в минимуме угловой зависимости возникает максимум.

Обсуждение

Из общего вида угловых зависимостей магнетосопротивления следует, что рутений является компенсированным металлом. Глубокий минимум магнетосопротивления бинарных образцов при $H \parallel [0001]$ свидетельствует о наличии открытых траекторий в базисной плоскости.

Полевую зависимость магнетосопротивления гексагонального образца (рис. 2, б) можно объяснить магнитным пробоем. В малых полях электрон движется по открытой траектории, в больших полях траектория становится замкнутой. С этой же точки зрения можно объяснить изменение анизотропии магнетосопротивления (рис. 3).

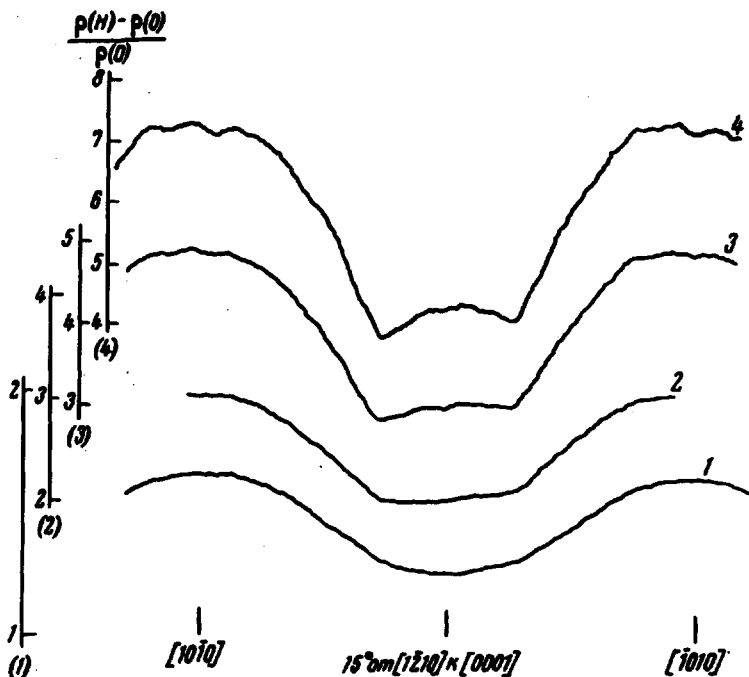


Рис. 3. Угловые зависимости магнетосопротивления образца рутения, ось которого отклонена на 15° от $[0001]$, полученные в стационарных полях: 1. — $H = 55$ кэ, 2. — $H = 85$ кэ, 3. — $H = 115$ кэ, 4. — $H = 145$ кэ

Ранее уже высказывалось предположение [3], что поверхность Ферми рутения должна быть похожа на поверхность Ферми рения, поскольку рутений является нерелятивистским аналогом рения. Гальваномагнитные свойства рения исследованы достаточно подробно и полученные в работах [4, 5] результаты для рения хорошо согласуются с приведенными в настоящей работе для рутения. Если считать, что поверхность Ферми рутения соответствует предложенной в работе [3], то магнитный пробой может происходить при $H \parallel [0001]$ между открытой дырочной поверхностью и дырочными эллипсоидами, окружающими точку L зоны Бриллюэна. Поскольку для образования замкнутой траектории электрон должен четыре раза перескочить с одной орбиты на другую, а излом полевой зависимости магнетосопротивления проис-

ходит при $H \approx 90$ кэ, то можно оценить поле пробоя $H_0 \approx 360$ кэ. Эта оценка, безусловно, является очень грубой, но полученное значение поля пробоя представляется вполне разумным, если принять во внимание оценки для H_0 , приводимые в [3].

На возможность возникновения магнитного пробоя указывалось также в недавно появившейся работе [6], в которой измерения гальваномагнитных свойств рутения были проведены в полях до 40 кэ на образцах с отношением сопротивлений $\rho_{300^\circ\text{К}} / \rho_{4,2^\circ\text{К}} = 100$. Поскольку в этих полях $\omega_c \tau \approx 1$, сделать однозначные выводы об изменении топологии открытых направлений из результатов, полученных в [6] затруднительно.

Авторы благодарны М. Глиньскому за помощь в измерениях и М. И. Каганову за обсуждение полученных результатов.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
5 июня 1973 г.

Литература

- [1] Н.Е.Алексеевский, В.С.Егоров. ЖЭТФ, 45, 448, 1963.
 - [2] Н.Е.Алексеевский, А.В.Дубровин, Г.Э.Карстенс, Н.Н.Михайлов. ЖЭТФ, 54, 350, 1968.
 - [3] P.T.Coleridge. J. Low Temp. Phys., 1, 577, 1969.
 - [4] Н.Е.Алексеевский, В.С.Егоров, Б.Н.Казак. ЖЭТФ, 44, 1116, 1963.
 - [5] W.A.Reed, E.Fawcett, R.R.Soden. Phys. Rev., 139, A1557, 1965.
 - [6] Г.А.Болотин, Н.В.Волкенштейн, В.А.Новоселов, В.Е.Старцев. ФММ, 33, 740, 1972.
-