

ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ НИОБИЯ

Н.Е.Алексеевский, К.-Х.Бертель, А.В.Дубровин, Г.Э.Карстенс

Ферми-поверхность многих переходных металлов и, в частности, ниобия, изучена пока еще очень плохо. Это связано, главным образом, с трудностью получения из этих металлов чистых и достаточно совершенных монокристаллов. Нами были проведены измерения гальваномагнитных свойств на образцах ниобия, имевших значения отношения сопро-

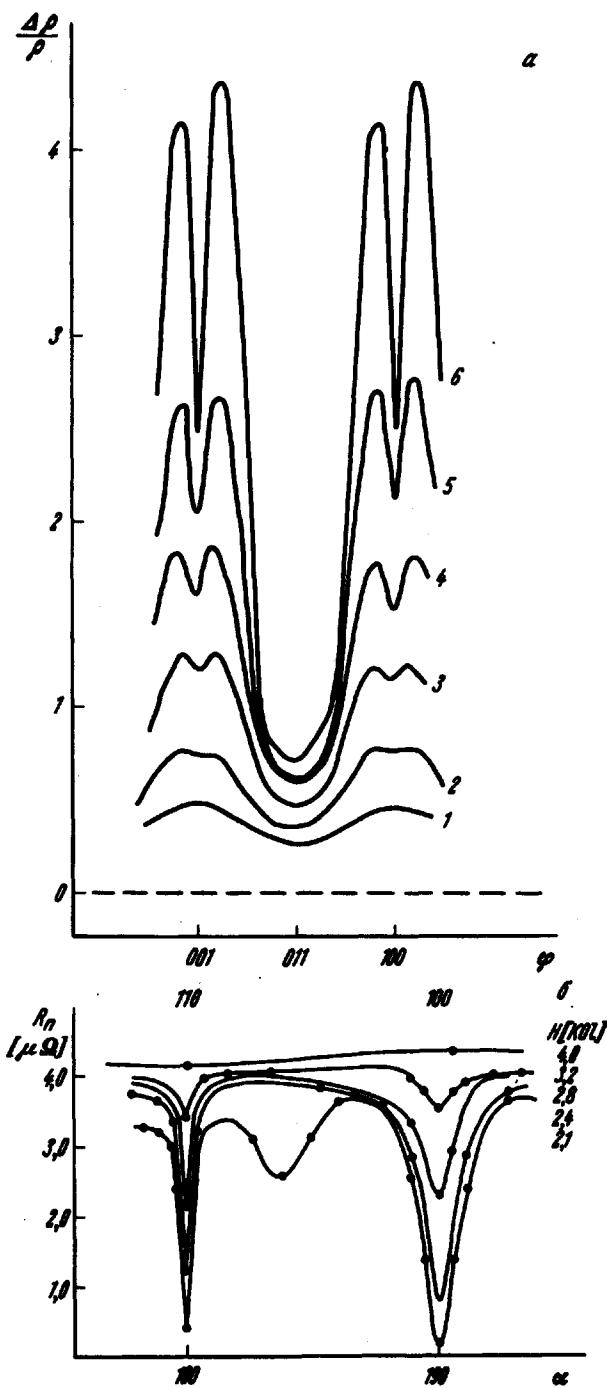


Рис.1. а – зависимости $\rho_H(\phi)$: кривая 6 для образца № 1, $\theta = 45^\circ$, $\phi = 0^\circ$, $a = \rho_{300^\circ}/\rho_{42^\circ} = 1000$, $H = 78$ кэ; кривые 1-5 для образца № 11, $\theta = 45^\circ$, $\phi = 0^\circ$, $a = 450$, в полях: 1 = 22,3 кэ, 2 = 32 кэ, 3 = 46 кэ, 4 = 60 кэ, 5 = 73 кэ. б – зависимость $\rho_H(\phi)$ в малых полях для образца № 1

тивлений $a = \rho_{300^\circ\text{K}} / \rho_{4,2^\circ\text{K}}$ от 400 до 1000. В качестве исходного материала использовались монокристаллы ниобия, полученные зонной плавкой в электронно-лучевой печи. После плавки такие монокристаллы прокаливались при температуре 2200°C в атмосфере кислорода при давлении 10^{-4} мм рт.ст. Затем они отжигались в течение восьми часов при 2200°C в вакууме $10^{-9} - 10^{-10}$ мм рт.ст. Масс-спектрометрический анализ приготовленных таким образом монокристаллов показал

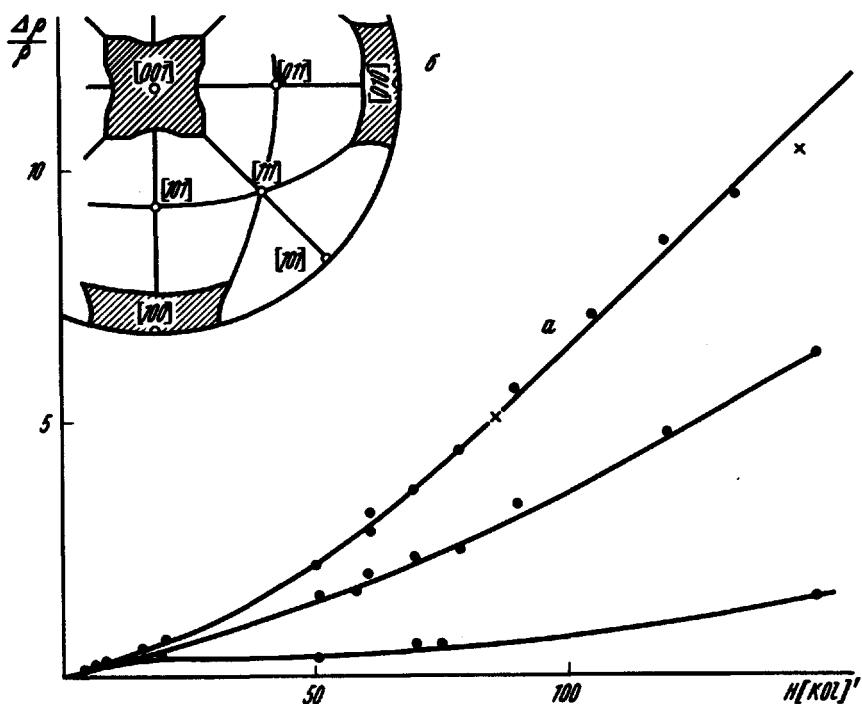


Рис.2. *a* – зависимость $\rho_\phi(H)$ для образца № 11 по данным, полученным в стационарных и импульсных полях; *б* – стереографическая проекция Nb

примеси, приведенные в таблице . Для приготовления образцов монокристаллы ниобия, ориентация которых определялась рентгеновским методом, разрезались на электроискровой установке. Полученные образцы обычно имели размеры $0,3 \times 0,3 \times 5$ мм. Образцы травились в смеси плавиковой и азотной кислот, после чего к ним приваривались токовые и потенциальные медные провода, на концы которых были наварены маленькие капли никеля. Для предотвращения возможного загрязнения образца при подварке потенциальных проводов обра́зы вырезались вместе с небольшими потенциальными выступами, расположенными на расстоянии 1 мм от края образца. К этим выступам затем приваривались потенциальные провода. Приготовленные таким образом образцы монтировались либо во вращающийся держатель, расположенный между по-

люсами пермандюровых концентрических катушек [1], либо в держатель импульсного соленоида с медной обмоткой [2].

В первом случае измерения проводились в стационарных магнитных полях до 80 кэ, и зависимости $\rho_H(\phi)$ и $\rho_\phi(h)$ регистрировались на самопищущих потенциометрах (ЭППО9 и ПДС 021), а во втором случае – в импульсных магнитных полях до 250 кэ при осциллографической регистрации. Для измерения э.д.с. Холла образцы снабжались двумя парами взаимно перпендикулярных потенциальных выводов.

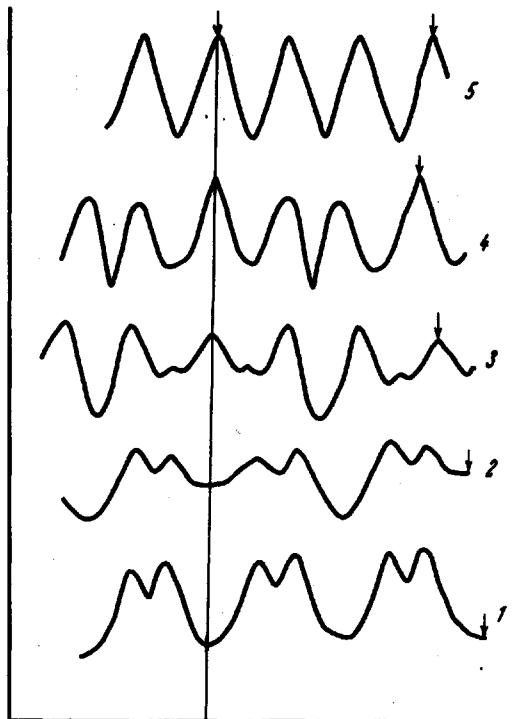


Рис.3. Зависимость $\rho_H(\phi)$, полученная при изменении ориентации от [001] и [111]: 1 – $\theta = 0^\circ$, $\phi = 0^\circ$; 2 – $\theta = 10^\circ$, $\phi = 35^\circ$; 3 – $\theta = 20^\circ$, $\phi = 35^\circ$; 4 – $\theta = 30^\circ$, $\phi = 35^\circ$; 5 – $\theta = 55^\circ$, $\phi = 35^\circ$

В измерениях было использовано 16 образцов, имевших различную ориентацию осей кристалла относительно оси образца. На рис.1,*a* показаны зависимости $\rho_H(\phi)$ для образцов № 1 и № 11, а на рис.2,*a* – зависимости $\rho_\phi(h)$ при различных ϕ . Полученные зависимости $\rho_\phi(h)$, как видно из приведенных кривых, имеют отклонение от теоретической, например, в минимуме не наблюдается полного насыщения, а в максимуме – показатель степени < 2 , что может быть связано с относительно небольшим превышением (в два – три раза) используемых полей над H_0 .

Следует отметить, что при измерениях в малых полях, величина которых варьировалась от 2 до 4 кэ (проводившихся в электромагните),

наблюдалась значительная анизотропия сопротивления при переходе в сверхпроводящее состояние (см. рис.1,б). При этом измерения проводились на образцах как квадратного, так и круглого сечения. Такая анизотропия может быть вызвана, например, анизотропией распределения примесей или дефектов в образце, либо быть следствием проявления анизотропии энергетической щели.

Таблица

Масс-спектральный анализ ниобия

	Ta	Zr	W	Mo	Hf	Ti	Fe	Ni	Cu
C(10^{-4} at.%)	330	80	3	9	3	1	0,1	0,1	0,2

Исходя из полученных данных и зависимостей $\rho_H(\phi)$ при изменении ориентации образцов относительно кристаллографических осей (рис.3), была построена стереографическая проекция особых направлений. На этой проекции двумерные области особых направлений расположены лишь в окрестностях осей четвертого порядка (рис.2, б). На основании стереографической проекции можно заключить, что Nb имеет открытую поверхность Ферми типа сетки гофрированных цилиндров, оси которых расположены параллельно осям четвертого порядка. По величине двумерной области можно оценить средний диаметр таких цилиндров: он равен 0,27 \AA . Минимальный диаметр цилиндров d_{\min} можно оценить из данных по измерениям э.д.с. Холла в рациональных направлениях. Поскольку Nb – металл некомпенсированный, то для определения d_{\min} надо знать величину $V_e - V_h$, которая в свою очередь может быть определена из измерений э.д.с. Холла в направлении минимума зависимости $\rho_H(\phi)$. Используя значение константы Холла для направлений [001] и [110], можно получить, что $d_{\min} = 0,15 \text{ \AA}$. Если учесть, что гофрированные цилиндры открытой части поверхности Ферми ниобия не являются круглыми, то можно считать, что согласие между d средним и d_{\min} достаточно удовлетворительное.

Как известно, поверхность Ферми металлов V группы была рассчитана в работе Матхайса [3]. Полученные нами данные достаточно хорошо с ней согласуются, если считать, что такая поверхность имеет открытые направления лишь вдоль осей четвертого порядка.

К моменту окончания настоящей работы мы получили сообщение от Фоссетта, Рида и Зодена, исследовавших гальваномагнитные свойства четырех образцов тантала и одного образца ниобия. Полученные нами данные вполне удовлетворительно согласуются с их данными по ниобию.

Выражаем благодарность В.Марченко за помощь в эксперименте.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Институт металло-физики и
чистых металлов
Академии наук ГДР
г.Дрезден

Поступило в редакцию
22 июня 1967 г.

Литература

- [1] Н.Е.Алексеевский, А.В.Дубровин, Н.Н.Михайлов, В.И.Соколов,
Л.Н.Федотов. ДАН СССР, 171, 566, 1966.
- [2] Н.Е.Алексеевский, В.С.Егоров. ЖЭТФ, 45, 448, 1963.
- [3] L.F.Mattheiss. Phys. Rev., 151, 450, 1966.