

Е. С. БОРОВИК и Б. Г. ЛАЗАРЕВ

О ВЛИЯНИИ ФОРМЫ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ ВИСМУТА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 16 VIII 1948)

Известные до сих пор работы по определению длины свободного пробега электронов в металле ($1-3$) могут встречать возражения, так как наблюдаемые явления могли быть приписаны побочным обстоятельствам (загрязнение, деформации). Поэтому весьма желательна разработка новых методов экспериментального определения длины свободного пробега.

Принцип примененного в настоящей работе метода заключается в обнаружении влияния формы образца на вид диаграммы вращения при измерении сопротивления в поперечном магнитном поле. Представим себе пластинку из исследуемого металла. Если металл изотропен и все размеры пластинки много больше длины свободного пробега, то сопротивление пластинки не будет зависеть от угла между плоскостью пластинки и магнитным полем (ось вращения совпадает с направлением тока и перпендикулярна магнитному полю).

Не исследуя детально механизма явления, нельзя заранее сказать, изменится ли что-нибудь, если толщина пластинки станет сравнимой с длиной свободного пробега. Однако, если мы при таком опыте обнаружим изменение сопротивления пластинки при ее вращении, то, и не зная механизма явления, можно утверждать, что длина свободного пробега электронов сравнима с ее толщиной. В реальном металле дело осложняется его анизотропией. Для исключения кристаллографической анизотропии можно сделать монокристаллический образец в форме толстого стержня, соединенного с пластинкой. Тогда, сравнивая диаграммы вращения толстой части образца и пластинки, можно выяснить наличие влияния формы образца. Такие измерения и были проделаны. В качестве первого объекта исследования был выбран висмут, так как у него можно ожидать сравнительно большой длины свободного пробега электронов.

Были исследованы три образца, имевшие следующие размеры в миллиметрах: № 1 — стержневая часть $1 \times 1,5 \times 12$, пластинка $0,1 \times 1,5 \times 8$; № 2 — стержневая часть $1 \times 2 \times 11$, пластинка $0,1 \times 2 \times 10$; № 3 — стержневая часть $3 \times 6 \times 17$, пластинка $0,5 \times 6 \times 18$. Чистота переходного висмута (Хилгер) была 99,998%, для образца № 3 производилась дополнительная очистка пятикратной кристаллизацией. Кристаллографическая ориентация образцов не задавалась. Судя по симметрии диаграмм вращения в магнитном поле, у образца № 2 ось образца близка к оси третьего порядка, а для образцов № 1 и 3 почти перпендикулярна ей.

Эффект влияния формы был обнаружен на всех трех образцах.

На рис. 1 показан вид диаграмм вращения для образца № 2. Кривые для стержневой части, по мере понижения температуры и вступления в область остаточного сопротивления, вырождаются в прямую линию в соответствии с изотропией остаточного сопротивления. На кривых для пластинки уже при температуре 63° К заметно некоторое понижение центрального максимума, а при водородной температуре на фоне минимума при угле $\varphi = 0^\circ$ заметны лишь следы кристаллографической

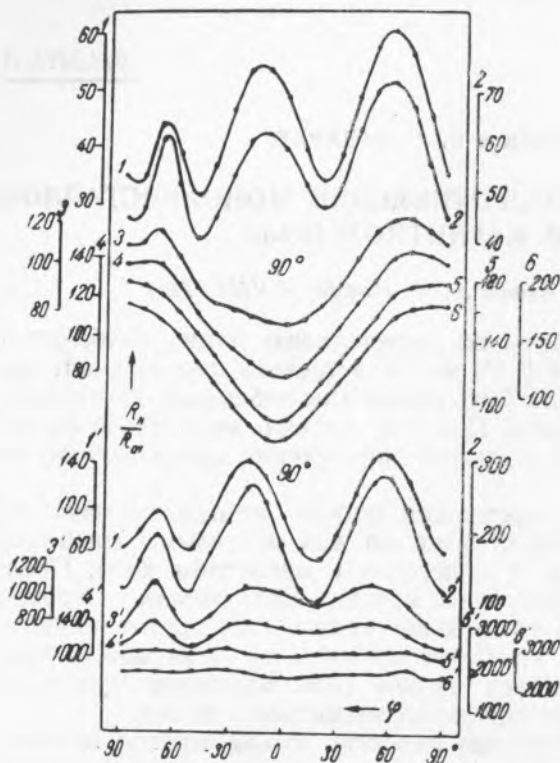


Рис. 1. Зависимость увеличения сопротивления в магнитном поле от угла поворота. Образец № 2, $H = 12680$ гаусс. Кривые 1, 2, 3, 4, 5, 6 относятся к пластинке; кривые 1', 2', 3', 4', 5', 6' — к толстой части образца. Для кривых: 1, 1' — $T = 78^\circ \text{ К}$; 2, 2' — $T = 63,4^\circ \text{ К}$; 3, 3' — $T = 20,4^\circ \text{ К}$; 4, 4' — $T = 14,1^\circ \text{ К}$; 5, 5' — $T = 4,22^\circ \text{ К}$; 6, 6' — $T = 2,31^\circ \text{ К}$

То, что толщина пластинок действительно порядка длины свободного пробега, подтверждается рассмотрением зависимости сопротивления образцов от температуры в отсутствие магнитного поля. Тонкая и толстая части образцов имели различную чистоту, но кривые сопротивления пластинки и толстой части образцов не идут параллельно, а для образца № 3, у которого пластинка была чище, чем стержневая часть, даже пересекаются, как это видно из табл. 1.

В третьей и четвертой колонках табл. 1 приведены относительные значения сопротивлений стержневых частей образцов и пластинок. В последней колонке приведена величина $(R'_T / R'_0 \cdot c)^*$, соответствующая таким значениям сопротивления пластинки, при которых соблюдалось бы правило Матиссена. Для получения этой величины к относительному сопротивлению стержня прибавлена разность относительных сопротивлений пластинки и стержня при температуре 78° К (20,4° К для образца № 3), при которой правило Матиссена еще удовлетворяется и не заметно влияния формы.

анизотропии. Угол $\varphi = 0^\circ$ соответствует ориентации плоскости пластинки параллельно магнитному полю.

Подобный же характер носит изменение форм диаграмм вращения для образцов № № 1 и 3, причем для них искомый эффект появляется при более низкой температуре — для образца № 3 из-за большой толщины пластинки, а для образца № 1, повидимому, вследствие большего остаточного сопротивления пластинки. Эффект уменьшается с уменьшением магнитного поля, при 800 гаусс становится неизмеримо малым и имеет тенденцию к стабилизации при больших полях.

Так как мы наблюдаем одно и то же явление на образцах различной ориентации и степени чистоты, то можно утверждать, что действительно обнаружено влияющие формы образца на вид диаграммы вращения.

Таблица 1

№ образца	T, °K	Стержень $R_T/R_0^{\circ C}$	Пластинка	
			$R''_T/R''_0^{\circ C}$	$(R''_T/R''_0^{\circ C})^*$
1	78	0,319	0,372	0,372
	20,4	0,072	0,151	0,125
	2,35	0,018	0,100	0,071
2	78	0,289	0,319	0,319
	20,4	0,070	0,134	0,100
	2,31	0,023	0,087	0,053
3	20,4	0,0585	0,0551	0,0551
	14,3	0,0332	0,0310	0,0298
	4,22	0,0058	0,0061	0,0024
	2,06	0,0048	0,0052	0,0014

Если приписать все отклонение от правила Матиссена добавочному сопротивлению, возникающему из-за столкновения электронов со стенками, то можно рассматривать величину $(R_T/R_0^{\circ C})^*$ как характеристику материала пластинки при безграничных размерах образца (массивный металл).

Следует заметить, что, повидимому, в ряде случаев большую величину остаточного сопротивления тонких образцов у ряда авторов можно объяснить явлениями, связанными с длиной свободного пробега.

Наблюдавшееся появление минимума на диаграмме вращения развивается сравнительно быстро с понижением температуры. Это видно на рис. 2. На рисунке глубина минимума характеризуется величиной отношения α''/α' , где α'' и α' представляют собой отношения сопротивления в магнитном поле при угле $\varphi = 0^\circ$ к сопротивлению при $\varphi = 90^\circ - \alpha''$ у пластинки, α' — у толстой части образца. Если бы обе части имели одинаковую чистоту, то при высоких температурах (при малой длине пробега электронов) это отношение было бы равно единице. Так как их чистота неодинакова, то оно лишь приближается к 1.

Из полученных результатов величина длины свободного пробега электронов определяется следующим образом. Принимается, что она становится равной толщине пластинки при такой температуре, когда глубина минимума перестает быстро меняться. Так, для трех образцов длина пробега получается равной: у № 1—0,1 мм при $4,2^\circ K$; у № 2—0,1 мм при $20,4^\circ K$; у № 3—0,5 мм при $\sim 8^\circ K$. Пересчитанная на $0^\circ C$ (по отношению сопротивлений массивного металла), эта величина составляет для образцов № № 1 и 2 $\sim 10^{-3}$ см и для образца № 3 $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ см. Углы $\varphi = 0^\circ$ на диаграмме для стержневой части образцов № № 1, 2 соответствуют точки, близкие к максимуму, а для образца № 3 $\varphi = 0^\circ$ лежит вблизи минимума. Поэтому отличие зна-

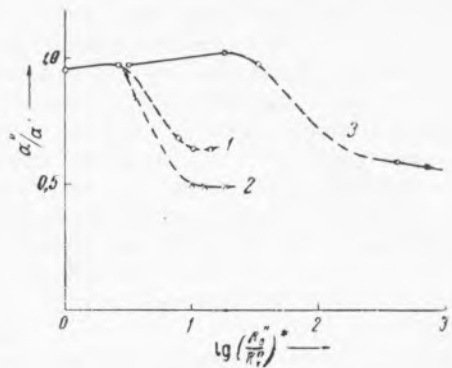


Рис. 2. Зависимость глубины минимума на ротационной диаграмме от проводимости материала пластинки. 1 — образец № 1, $H = 12\ 680$ гаусс; 2 — образец № 2, $H = 12\ 680$ гаусс; 3 — образец № 3, $H = 13\ 400$ гаусс

чения, полученного для образца № 3, возможно, указывает на анизотропию в величинах длины свободного пробега в кристалле висмута. Судя по предварительным подсчетам, подобное явление, вероятно, можно будет обнаружить у цинка и кадмия. Для обнаружения его у металлов, подобных меди и серебру, вероятно, потребуется или существенно большее поле, или чрезвычайно тщательная очистка.

Более точное определение длины пробега требует подробного рассмотрения механизма обнаруженного явления. Однако уже по виду кривых рис. 2 порядок приведенных величин определен правильно.

Физико-технический институт
Академии Наук УССР
Харьков

Поступило
29 VII 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ A. Eucken u. F. Förster, *Nachr. v. d. Gesellsch. d. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl., Fachgruppe II*, 1, 43 (1934). ² L. Riedel, *Ann. d. Phys.*, 28, 603 (1937).
³ A. B. Phipps, *Proc. Roy. Soc., A*, 191, 385 (1947).