

Н. В. ЗАВАРИЦКИЙ

К ВОПРОСУ О СВЕРХПРОВОДИМОСТИ ВИСМУТА

(Представлено академиком Л. А. Ландау 31 VII 1952)

Как известно, у ряда сверхпроводящих металлов конденсация при низких температурах приводит к возникновению особого состояния с новыми свойствами (1-3). Представляло интерес исследовать также изменения, происходящие в свойствах металлов, не являющихся сверхпроводниками, в результате их конденсации при низкой температуре. Мы исследовали пленки Ag, Cu, Mg, Sb, Bi, сконденсированные при 2° К на поверхности стекла. У первых четырех металлов конденсация при низкой температуре привела лишь к возрастанию удельного сопротивления, сурьма, например, приобрела почти свойства полупроводника. Пленки висмута оказались сверхпроводящими, что согласуется с появившимся в последнее время (4) сообщением об обнаружении сверхпроводимости у этого металла, сконденсированного при 4,2° К. Это обстоятельство тем более интересно, что исследования, проведенные до последнего времени, показывали на отсутствие сверхпроводящего перехода у висмута до температур в 0,05° К (5, 6). Здесь мы приводим результаты исследования свойств ряда образцов из висмута толщиной от 10^{-6} до $1,75 \cdot 10^{-5}$ см. Для приготовления пленок применялся висмут с примесями, составлявшими менее 0,002%.

Образцы изготовлялись в виде узкой полоски с двумя ответвлениями для измерения падения потенциала (рис. 1 а). Форма образцов определялась вырезами в экране, стоявшем на пути молекулярного пучка при конденсации пленок (1). У всех образцов было обнаружено наличие сверхпроводимости во всем интервале измерений от 2 до 4,2° К. При этом исследование зависимости от температуры величины тока через образец, вызывавшей разрушение его сверхпроводимости, показало, что критическая температура образца висмута по видимому, превосходит 5° К (рис. 1 б).

Для непосредственного определения критической температуры образцов был применен газовый термометр, во внутренней полости которого помещался прибор для изготовления пленок * (рис. 2). Газообразный гелий, заполнявший полость термометра, осуществлял достаточно хороший теп-

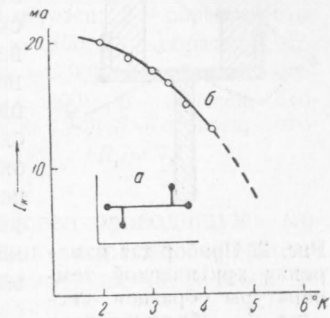


Рис. 1. а — образец для измерения критического тока, ширина образца 0,5 мм; б — зависимость критического тока от температуры для образца висмута толщиной $4,35 \cdot 10^{-6}$ см

* Аналогичным прибором пользовались Шальников и Туманов для получения пленок молекулярных смесей ртути и кислорода.

ловой контакт между исследуемым образцом и термометром, при помощи которого температура пленки измерялась с точностью до $0,03^{\circ}\text{K}$. Интервал температур, в котором происходило изменение сопротивления образцов от значения в нормальном состоянии R_0 до нуля, составлял $0,1-0,2^{\circ}$.

Было обнаружено, что критическая температура образцов висмута лежала в интервале от $5,6$ до 6°K .

Было замечено резкое изменение свойств образцов при температурах, близких к 20°K , при которых наблюдалось существенное возрастание удельного сопротивления висмута (рис. 3 а) и изменение его сверхпроводящих свойств (рис. 3 б). Отогрев образцов до $30-35^{\circ}\text{K}$ приводил уже к полному исчезновению свойств сверхпроводимости во всем интервале измерений (до $1,5^{\circ}\text{K}$). Одновременно с возрастанием величины удельного сопротивления было обнаружено изменение его температурной зависимости. Тогда как у неотожженных образцов не наблюдалось изменения сопротивления в интервале от $6,5$ до 15°K , у отогретых образцов имело место небольшое, порядка нескольких процентов, возрастание удельного сопротивления при уменьшении температуры от 15 до $6,5^{\circ}\text{K}$.

В отдельных опытах во время конденсации образцов наблюдалось внезапное изменение окраски пленки, конденсировавшейся на боковой поверхности прибора вблизи испарителя. Образец нейтрального серого цвета приобретал в проходящем свете зеленоватую окраску. Изменение окраски происходило мгновенно, область зеленой окраски имела всегда резко очерченную границу, перемещение которой при дальнейшем процессе конденсации образца происходило резкими скачками. Одновременное исследование оптических и электрических свойств пленок показало наличие сверхпроводимости как в области серой, так и зеленой окраски. При этом в области зеленой окраски удельное сопротивление оказалось в несколько раз больше, чем в области серой окраски. Обнаружено, что зеленая окраска пленки появляется также при повышении температуры образца и сопровождается одновременным увеличением его удельного сопротивления. Результаты спектрального исследования коэффициента пропускания образца как в области серой, так и зеленой окраски (при $4,2^{\circ}\text{K}$) приведены на рис. 4.

На основании проведенных экспериментов могут быть сделаны следующие заключения о свойствах висмута, сконденсированного при гелиевых температурах. Особые условия образования кристаллической решетки металла во время его конденсации при низкой температуре приводят к возникновению модификации, в которой висмут является сверхпроводником с критической температурой, лежащей вблизи 6°K . Для «сверхпроводящей» модификации висмута характерно удельное сопротивление примерно до 10 раз меньшее, чем для «несверхпроводящей» модификации, и отсутствие поглощения в длинноволновой части видимого спектра. «Сверхпроводящая» модификация висмута яв-

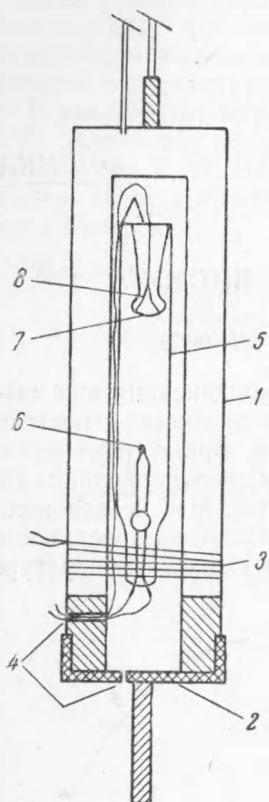


Рис. 2. Прибор для измерения критической температуры образцов висмута. 1 — объем газового термометра; 2 — крышка прибора с холодоподводом; 3 — нагреватель на термометре; 4 — отверстия в стенках прибора для вывода проводов и заполнения внутренней полости жидким гелием; 5 — прибор для изготовления пленок; 6 — испаритель; 7 — поверхность стекла, на которое конденсируется образец; 8 — провода для измерения сопротивления пленки

сталлической решетки металла во время его конденсации при низкой температуре приводят к возникновению модификации, в которой висмут является сверхпроводником с критической температурой, лежащей вблизи 6°K . Для «сверхпроводящей» модификации висмута характерно удельное сопротивление примерно до 10 раз меньшее, чем для «несверхпроводящей» модификации, и отсутствие поглощения в длинноволновой части видимого спектра. «Сверхпроводящая» модификация висмута яв-

ляется устойчивой лишь при температурах ниже 20° К. При 20° К начинается ее переход в «несверхпроводящую» модификацию, о чем свидетельствуют изменения электрических, сверхпроводящих (рис. 3) и оптических свойств образцов висмута. Переход происходит постепенно, в относительно широком интервале температур. Он начинается, повидимому, уже при 17° К, о чем свидетельствует возрастание сопротивления образца во время отжига при этой температуре (для образца толщиной $3,4 \cdot 10^{-6}$ см на 5% за 40 мин.), и еще не заканчивается полностью при длительном отжиге образца до 29° К (рис. 3 б). Отсутствие резкого перехода из одной модификации в другую, повидимому, связано с мелкокристаллической структурой образцов. Такая структура может создавать благоприятные условия к устойчивости отдельных участков «сверхпроводящей» модификации в перегретом состоянии. Этими участками обусловлено наличие сверхпроводимости у висмута, частично уже перешедшего в «несверхпроводящую» модификацию (рис. 3). Возможно, резкое изменение окраски образцов, происходящее во время конденсации, также связано с их частичным переходом в «несверхпроводящую» модификацию.

Явление скачкообразного «взрывного» изменения свойств сконденсированных пленок было впервые обнаружено Н. Н. Семеновым и А. И. Шальниковым при исследовании химических реакций, происходящих при низких температурах (7). В дальнейшем аналогичные явления наблюдали Шальников и Туманов во время конденсации при гелевых температурах молекулярных смесей ртути и кислорода. Такое скачкообразное изменение свойств пленок, связанное, видимо, с особой структурой вещества, осажденного при низких температурах, до сих пор не нашло еще удовлетворительного объяснения. Причиной, вызывавшей эти взрывные изменения, может быть, например, возникновение местных перегревов пленок в процессе их конденсации



Рис. 4. Коэффициент пропускания (при 4,2° К) образца висмута, осажденного при 2° К (1) и затем отогретого до 45° К (2); *a* — ошибка в измерении

Автор выражает благодарность А. И. Шальникову за постоянный интерес к работе и ценные замечания.

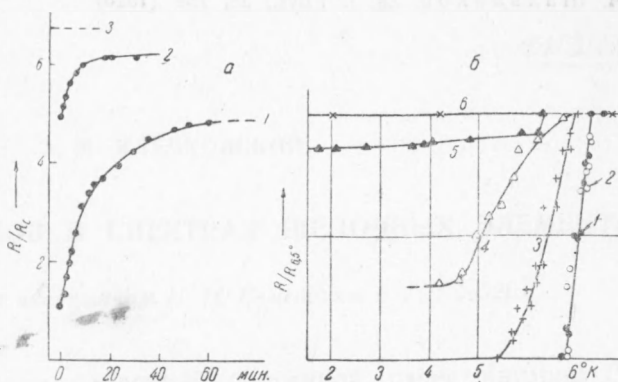


Рис. 3. Влияние отжига на свойства образца висмута толщиной $3,4 \cdot 10^{-6}$ см. *a* — изменение со временем сопротивления висмута в результате отжига: 1 — до 20,5° К; 2 — до 23,3° К; 3 — до 29° К (R_c — сопротивление неотожженного образца в нормальном состоянии). *б* — влияние отжига на сверхпроводящие свойства висмута: 1 — свежесозданный образец; 2 — образец, отогретый до 17° К ($R_{6,5^\circ} / R_c = 1,05$); 3 — образец, отогретый до 20,5° К ($R_{6,5^\circ} / R_c = 4,90$); 4 — образец, отогретый до 23,3° К ($R_{6,5^\circ} / R_c = 6,00$); 5 — образец, отогретый до 29° К ($R_{6,5^\circ} / R_c = 6,72$); 6 — образец, отогретый до 40° К ($R_{6,5^\circ} / R_c = 7,7$)

Поступило
26 VII 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. И. Шальников, ЖЭТФ, **10**, 630 (1940). ² Н. Е. Алексеевский, ЖЭТФ, **10**, 1392 (1940). ³ Н. В. Заварицкий, ДАН, **86**, № 3 (1952).
⁴ R. Hilsch, Proc. Intern. Conference of Low Temperature Physics, Oxford, 1951, 119.
⁵ Н. Е. Алексеевский, Диссертация, Ин-т физ. проблем, М., 1946.
⁶ N. Kúrti, F. Simon, Proc. Roy. Soc., **151**, 473 (1935). ⁷ Н. Семенов, А. Шальников, Zs. f. Phys., **38**, 738 (1926).