

Н. В. ЗАВАРИЦКИЙ

СВОЙСТВА ТОНКИХ СЛОЕВ ИЗ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МЕТАЛЛОВ

(Представлено академиком Л. Д. Ландау 12 XI 1951)

Известно, что пленки из олова и свинца толщиной до 15 атомов остаются сверхпроводящими (¹). В настоящей работе исследовались свойства еще более тонких пленок из олова и таллия.

Исследуемые пленки наносились посредством конденсации металла в вакууме на наружное плоско-полированное дно стеклянного стаканчика, через которое были пропаяны четыре платиновых вывода, служивших для измерения сопротивления пленки. Для осуществления электрического контакта между пленкой и выводами на последние наносились платиновые контакты посредством катодного распыления. Одновременно готовились два образца на стаканчиках, расположенных по обе стороны от испарителя. Толщина пленки рассчитывалась по весу испаренного металла и расстоянию от испарителя до подложки.

1. При исследовании пленки из олова и таллия, сконденсированных при комнатной температуре, нами было обнаружено у слоев гоньше $3 \cdot 10^{-8}$ мм уменьшение проводимости с течением времени. Это происходит, повидимому, вследствие «ползания» атомов, приводящего к образованию отдельных, не связанных между собой кристаллических агрегатов. Для устранения этого «ползания», мешающего получению тонких проводящих слоев, в настоящей работе изготовление образцов производилось при температуре 2°K .

Вследствие малой подвижности атомов металл, сконденсированный при низкой температуре, обладает, повидимому, чрезвычайно мелкокристаллической, приближающейся к аморфной, структурой. Одновременно изменяются и сверхпроводящие свойства металла. Так, критическая температура олова и таллия, сконденсированных при гелиевых температурах, равна, соответственно, $4,6$ и $2,9^\circ \text{K}$ вместо обычной $3,7$ и $2,4^\circ \text{K}$. Значение критической температуры существенно не меняется при изменении толщины образца от 1 до $0,01-0,02 \mu$ (см. рис. 1 и 2).

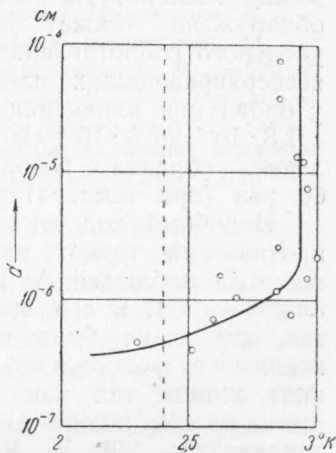


Рис. 1. Критическая температура сверхпроводящих пленок из таллия, сконденсированных в жидком гелии. Пунктиром отмечено значение критической температуры таллия

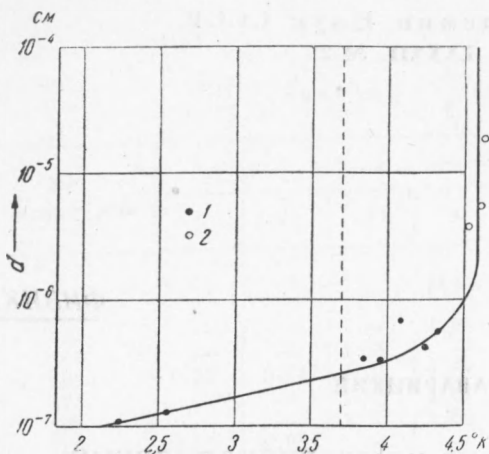


Рис. 2. Критическая температура сверхпроводящих пленок из олова, сконденсированных в жидком гелии. 1 — наши измерения, 2 — измерения Шальникова (1). Пунктиром отмечено значение критической температуры олова

характер зависимости сопротивления пленок от температуры. Тогда как у сверхпроводящих пленок сопротивление в нормальном состоянии практически не зависит от температуры в области гелиевых температур, у несверхпроводящих пленок сопротивление при понижении температуры растет. Было обнаружено также увеличение удельного сопротивления у таких несверхпроводящих пленок. Так, у олова при изменении толщины с $1,3 \cdot 10^{-7}$ до $8 \cdot 10^{-8}$ см сопротивление образца возрастало в 60 раз (при температуре 4°K).

Подобный ход удельного сопротивления тонких пленок ранее был наблюден А. И. Шальниковым (2). В его экспериментах, однако, не была полностью исключена возможность «ползания» атомов, так как конденсация образцов производилась при температуре 90°K . Вследствие этого и появление проводимости наблюдалось лишь у значительно более толстых слоев.

4. Для более подробного изучения изменения свойств пленок с толщиной был проведен ряд экспериментов с многократ-

2. При дальнейшем уменьшении толщины пленки одновременно с некоторым расширением интервала перехода в сверхпроводящее состояние наблюдается смещение критической температуры в сторону низких температур (рис. 1 и 2). Минимальная толщина, при которой нами еще наблюдалась сверхпроводимость для олова, составляет $1,1 \cdot 10^{-7}$ см, что соответствует средней толщине пленки в 4 атома. Для таллия сверхпроводимость наблюдается у пленок с толщиной до $4 \cdot 10^{-7}$ см*.

3. У пленок еще меньшей толщины (в исследованном интервале температур) сверхпроводимости уже не наблюдается. Одновременно меняется и

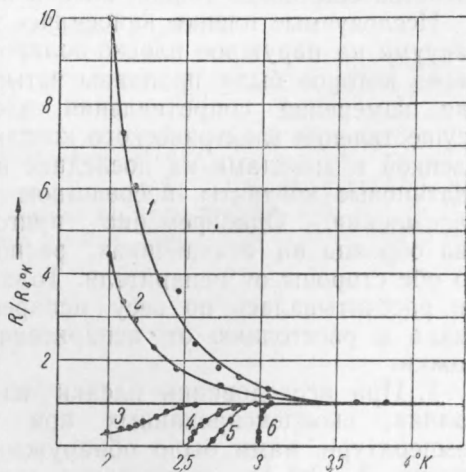


Рис. 3. Изменение свойств пленок таллия с толщиной. Опыты с многократной конденсацией одновременно двух пленок. Первая пленка: 1 — первая конденсация, $R_{4,2^\circ} = 400\,000$ ом; 2 — вторая конденсация, $R_{4,2^\circ} = 160\,000$ ом; 3 — третья конденсация, $R_{4,2^\circ} = 14\,000$ ом; 4 — четвертая конденсация, $R_{4,2^\circ} = 780$ ом. Вторая пленка: 5 — первая конденсация, $R_{4,2^\circ} = 750$ ом; 6 — четвертая конденсация, $R_{4,2^\circ} = 110$ ом

* Необходимо отметить, что в определениях толщины пленок таллия возникала ошибка, связанная со следующим обстоятельством. При подготовке к опыту прибор откачивался в течение 6—8 час. с одновременным нагреванием в печи до температуры 350 — 400° . Во время этой операции часть таллия перегонялась из прибора. Эта неучитываемая часть таллия вызывала существенную систематическую ошибку при определении толщины пленок тоньше $2 \cdot 10^{-6}$ см.

ным изменением толщины пленок в одном опыте. За время опыта испарение металла производилось несколькими порциями. После каждого испарения определялось сопротивление образца в зависимости от температуры. Эти опыты показали (см. рис. 3 и 4) постепенное уменьшение аномальной температурной зависимости сопротивления несверхпроводящих пленок по мере увеличения их толщин. Подтвердилось также явление возрастания критической температуры перехода при увеличении толщины пленки.

5. Свойства столь тонких пленок должны уже существенно зависеть от неоднородности их толщины. Так, у пленок со средней толщиной в 3 атома около 6% общей площади вообще не занято сконденсированным металлом. Дальнейшее уменьшение толщины приводит к еще большей неоднородности пленок и возрастанию роли атомов подложки в свойствах поверхностного слоя. Это обстоятельство и вызывает, повидимому, аномальные изменения удельного сопротивления и температурного хода сопротивления несверхпроводящих пленок.

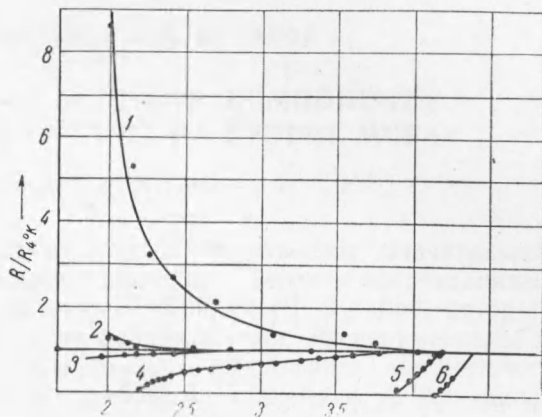


Рис. 4. Изменение свойств пленок олова с толщиной. Опыты с многократной конденсацией пленок. Первый опыт: 1 — первая конденсация, $R_{4,2^\circ} = 30\,000$ ом; 2 — вторая конденсация, $R_{4,2^\circ} = 22\,000$ ом; 3 — третья конденсация, $R_{4,2^\circ} = 990$ ом; 4 — четвертая конденсация, $R_{4,2^\circ} = 500$ ом; конечная толщина $1,3 \cdot 10^{-7}$ см. Второй опыт: 5 — первая конденсация, $R_{II} = 300$ ом; 6 — вторая конденсация, $R_{II} = 120$ ом; конечная толщина $4,2 \cdot 10^{-7}$ см

Статистический характер распределения атомов металла в тонких пленках сказывается и на их сверхпроводящих свойствах. Этим может быть объяснено расширение температурного интервала перехода из нормального в сверхпроводящее состояние для пленок толщиной меньше 20 атомов. Так, у пленки в 10 атомов наивероятнейшее отклонение толщины от средней составляет 30%. В этой области толщин пленок такое изменение должно привести к смещению критической температуры на $0,3^\circ$ и может вызвать соответственное расширение интервала перехода пленки в сверхпроводящее состояние примерно на $0,6^\circ$. Подобное расширение интервала перехода и наблюдается у пленок толщиной $3,3 \cdot 10^{-7}$ и $3,4 \cdot 10^{-7}$ см.

6. Для пленки из олова толщиной $3,3 \cdot 10^{-7}$ см было определено изменение перехода в сверхпроводящее состояние под действием магнитного поля. Обнаружено резкое различие между влиянием поля параллельного и перпендикулярного к плоскости образца. Так, смещение критической температуры в $0,01^\circ$ вызывается параллельным полем в 6000 эрст. и перпендикулярным в 25 эрст.

Автор выражает глубокую благодарность А. И. Шальникову за руководство работой и В. Д. Юрасову за выполнение сложной стеклодувной работы.

Институт физических проблем
им. С. И. Вавилова
Академии наук СССР

Поступило
29 X 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. И. Шальников, ЖЭТФ, 10, 630 (1940). ² А. И. Шальников, ЖЭТФ, 9, 255 (1939).