

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕХОДА В СВЕРХПРОВОДЯЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОДНОВРЕМЕННО ИНДУКТИВНЫМ И РЕЗИСТИВНЫМ МЕТОДАМИ

А. И. Головашкин, В. М. Онучкин

При исследовании свойств сверхпроводящих сплавов, которые могут содержать несколько фаз, а также слоистых систем ("сэндвичей") часто необходимо знать не только максимальную температуру перехода в сверхпроводящее состояние образца, но и сверхпроводящие свойства отдельных компонент системы при меньших температурах; для однородных систем желательно иметь представление о том, определяется ли критическая температура T_c основной массой образца или отдельными нитями, слоями и т.д. Такие задачи возникли, в частности, при изучении напыленных пленок сплавов V-Ga /1/, Nb-Sn /2/, а также чистых металлов типа ванадия /3/.

Для решения таких задач была создана установка, в которой измерение критической температуры пленки проводилось одновременно резистивным и индуктивным методами. При этом простота резистивного метода определения T_c сочетается с преимуществами магнитного метода /4,5/.

При использовании индуктивного метода измерялось изменение самоиндукции катушки при переходе образца в сверхпроводящее состояние. Измерительная катушка L_1 , содержащая образец, включалась в одно из плеч моста переменного тока. В качестве остальных плеч моста использовались катушка L_2 , индук-

тивность которой подбиралась равной индуктивности L_1 , и два магазина сопротивлений. Для точного уравнивания моста служили также магазины сопротивлений в плечах L_1 и L_2 /8/. Минимальное изменение сопротивления использованных магазинов - 0,01 ома. Мост питался переменным напряжением с частотой 1 кгц*) от ЗГ-12М. Сигнал с выхода моста после усилителя 28ИМ подавался на милливольтметр ВЗ-3, выход которого был переделан, чтобы обеспечивать запись измеряемого сигнала.

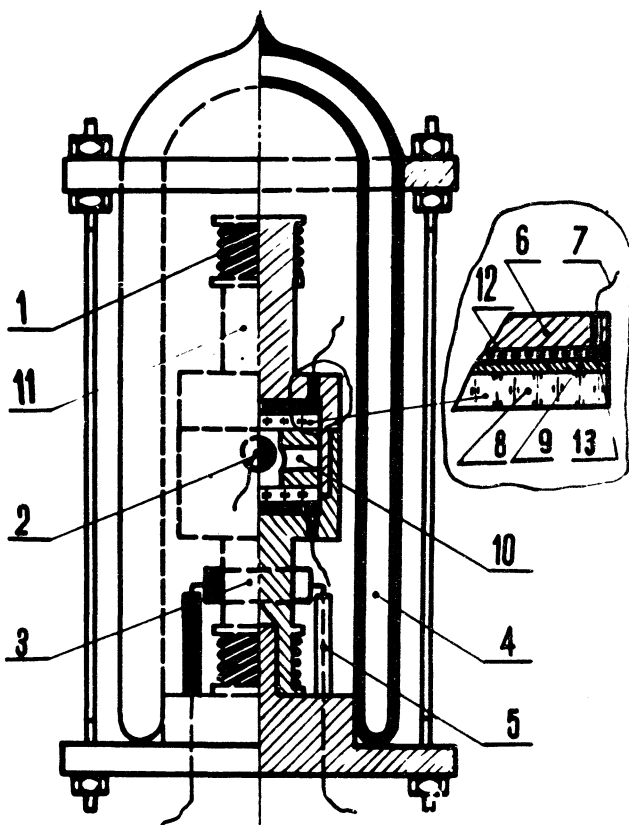
Измерительная катушка L_1 представляла собой плоскую спиральную катушку, содержащую несколько десятков витков провода ПЭЛ-0,1, уложенных в спиральные канавки эбонитового каркаса. Максимальный диаметр катушки 25 мм. Для повышения чувствительности схемы катушка плотно прилегалась к образцу, нанесенному на плоскую подложку.

Одновременно с измерением изменения магнитной проницаемости образца измерялось его электрическое сопротивление. Для этого на каркасе катушки L_1 крепились медные проволочки, служившие прижимными токовыми и потенциальными контактами исследуемой пленки. Сопротивление измерялось на обычной потенциометрической схеме.

Запись сигнала с выхода индуктивного моста, сопротивления образца, а также температуры проводилась на трехточечном самописце ЭПП-09МЗ.

Образцы с измерительными катушками L_1 помещались в специальном держателе из тефлона, показанном на рис. 1. В одном держателе располагались два образца. Катушка L_2 крепилась на том же держателе вблизи катушек L_1 . Таким образом, обе катушки индуктивного моста находились при одной температуре, что исключало паразитное изменение сигнала с температурой. Между образцами в непосредственной бли-

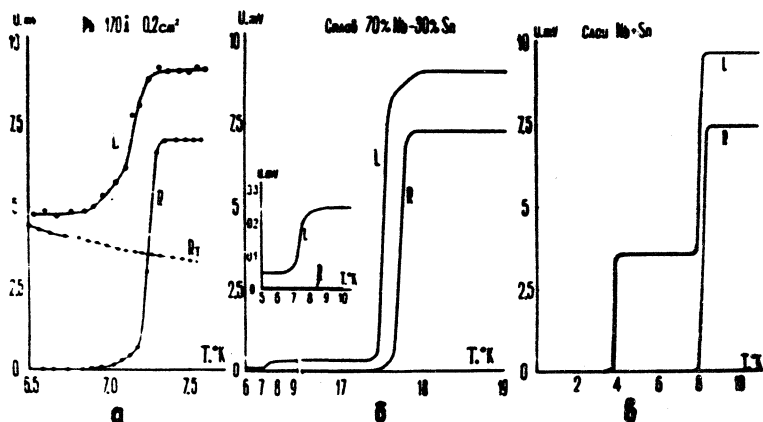
*) Проводились измерения также на частоте около 10 кгц.



Р и с.1. Держатель образцов. 1 - катушка L_2 ; 2 - термометр; 3 - нагреватель; 4 - дюар; 5 - изолятор нагревателя; 6 - каркас измерительной катушки L_1 ; 7 - токовые и потенциальные выводы образца; 8 - диэлектрическая подложка; 9 - исследуемая пленка; 10 - уплотнительная шайба; 11 - корпус держателя (тефлон); 12 - измерительная катушка L_1 ; 13 - токовые и потенциальные контакты для измерения сопротивления исследуемой пленки.

зости к ним помещался угольный термометр Аллен-Бредли.

Держатель с образцами находился в дьюарчике (рис. 1), погруженном в жидкий гелий. В нижней части дьюарчика располагался нагреватель.



Р и с. 2. Записи переходов в сверхпроводящее состояние для ряда образцов. а) Pb, толщина $170 \pm 50 \text{ \AA}$, площадь $0,2 \text{ см}^2$; б) сплав $70\% \text{Nb} - 30\% \text{Sn}$; в) слоистая система Nb + Sn на сапфировой подложке. Обозначения: L - изменение индуктивности катушки; R - изменение сопротивления образца; R_T - изменение сопротивления термометра; U - величина сигнала на самописце; T - температура.

Описанная схема была использована для измерения критических температур пленок сплавов, слоистых структур и чистых металлов. Специально проверялось отсутствие влияния на T_C мощности, подводимой к катушке, и рабочего тока, используемого для питания образца.

На рис. 2 приведены записи переходов в сверхпроводящее состояние ряда образцов. На рис. 2а дана запись перехода пленки свинца толщиной $170 \pm 50 \text{ \AA}$ и площадью $0,2 \text{ см}^2$, изготовленной с помощью испаре-

ния в вакууме 10^{-6} тор при комнатной температуре. Объем вещества, для которого фиксировался переход, в этом случае был $3 \cdot 10^{-7}$ см³. (При полной площади катушки это эквивалентно толщине пленки 7 Å). Из рисунка отчетливо видно, что использованным индуктивным методом могут быть измерены T_c образцов и меньшего объема.

На рис. 2б показана запись перехода в сверхпроводящее состояние для пленки сплава 70% Nb - 30% Sn, изготовленного испарением в вакууме*) /2/. Толщина этого образца составляла около 0,3 мк. Резкость перехода ($\sim 0,2^\circ\text{K}$), измеренного индуктивным методом, свидетельствует о хорошей однородности пленок сплава. Следует отметить, что переходы в пленках сплавов фиксировались индуктивным методом очень четко. Усиление схемы было относительно небольшим (10^{-2} - 10^{-3} от полного).

Высокая чувствительность схемы позволила проверить наличие других сверхпроводящих фаз в приготовленных образцах. Из рис. 2б видно, что в области 7-8°K у образца сплава 70%Nb - 30%Sn имеется дополнительный переход, наблюдаемый только индуктивным методом. Указанный переход связан с переходом гонкой ниобиевой пленки, наносимой на подложку перед приготовлением образца сплава. Толщина такой пленки составляет 2-3% от полной толщины образца.

На рис. 2в показана запись перехода для двухслойной пленки, состоящей из слоя Nb и слоя Sn. Толщина слоя Nb, нанесенного на сапфировую подложку, около 0,2 мк, толщина слоя олова 0,1 мк. Соотношение весовых количеств Nb и Sn в образце было измерено независимым образом и составляло $P_{\text{Nb}}:P_{\text{Sn}} = 1,7:1$. Отношение измеренных индуктивным методом величин скачков сигнала при переходе в сверхпроводящее состояние равно $U_{\text{Nb}}:U_{\text{Sn}} = 1,8:1$. Аналогичные измерения выполнены на слоистой системе Sn-Pb.

*) Состав сплава в весовых процентах.

Полученные результаты показывают, что индуктивный метод может служить для количественных оценок процентного состава сверхпроводящих слоистых систем пленок, многофазных сплавов и т.д. Установка может быть полезной также при измерении небольших изменений магнитной проницаемости пленок магнитных материалов.

В заключение выражаем благодарность Г. П. Мотулевич за внимание и интерес к работе.

Поступила в редакцию
15 февраля 1971 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. И. Головашкин, И. С. Левченко, Г. П. Мотулевич. ЖЭТФ, 57, 74 (1969); Преприят ФИАН № 44, № 166, 1969 г.
2. А. И. Головашкин, Е. Д. Доннер, И. С. Левченко, Г. П. Мотулевич. ЖЭТФ 59, 1967 (1970).
3. А. И. Головашкин, И. Д. Маш, Г. П. Мотулевич. КСФ № 9, 51 (1970).
4. Н. Д. Козлова, Ю. В. Ефимов, В. В. Барок, Е. М. Савицкий. Сб. "Металловедение, физико-химия и металлофизика сверхпроводников". "Наука", 1967 г., стр. 166.
5. Н. Е. Алексеевский, В. И. Цебро. Письма в ЖЭТФ, 10, 181 (1969).
6. К. Б. Карандеев. Методы электрических измерений. Госэнергоиздат, 1952 г.