

05.4; 07; 12

© 1991

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ПЛЕНОК
МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СЧИТЫВАНИЯ.ВТСП-ПЛЕНКА $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ В ИНТЕРВАЛЕ
ТЕМПЕРАТУР 90–300 КА.А. У й м и н, В.Е. З и н о в ь е в,
И.Г. К о р ш у н о в, А.В. К а р п ы ш е в

Существующие традиционные стационарные и нестационарные методы измерения теплофизических свойств веществ в ряде случаев не соответствуют задачам современного материаловедения. В частности, они не позволяют бесконтактным способом получать экспериментальные данные на образцах размером меньше 0.01 мм^2 , измерять теплофизические свойства контактных зон многослойных структур, определять качество теплового контакта пленки с подложкой и неоднородность теплофизических свойств пленок с указанной локальностью, а также в ходе единого эксперимента выполнять измерения теплофизических свойств в широком интервале как низких, так и высоких температур.

Нами разработан способ измерения амплитуды и фазы температурных колебаний, распространяющихся по поверхности образца, позволяющий не только определять его теплофизические свойства, но и решать перечисленные выше задачи [1–3]. Особенностью этого способа является то, что параметры температурных колебаний в разных точках образца определяются по колебаниям плоскости поляризации считывающего лазерного излучения, возникающим вследствие фототермического эффекта.

Блок-схема установки, предназначенной для измерения теплопроводности веществ методом лазерного считывания параметров температурных волн, распространяющихся по поверхности образца, представлена на рис. 1. С помощью оптического квантового генератора 1, модулятора 2 и зеркала 3 на поверхности образца 7, помещенного в вакуумную камеру 8, создаются температурные волны. Модулированное излучение оптического квантового генератора поступает на образец через оптический ввод, имеющийся в вакуумной камере и изготовленный из монокристалла KCl . Для указанных целей использован оптический квантовый генератор ЛН-701, создающий инфракрасное излучение с длиной волны 10.6 мкм . Модуляция радиационного теплового потока осуществляется механическим способом с помощью металлического диска с отверстиями. Частота модуляции может изменяться от 1 до 2000 Гц. Область тепловыделения на поверхности образца диаметром $150\text{--}200 \text{ мкм}$ можно перемещать с помощью микрометрического винта, сочлененного с зеркалом 3.

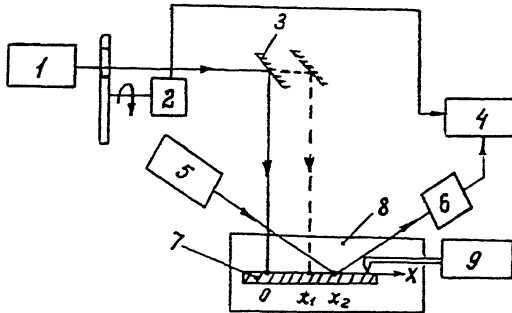


Рис. 1. Блок-схема установки, предназначенной для измерения температуропроводности веществ методом лазерного считывания параметров температурных волн, распространяющихся по поверхности образца.

1 - оптический квантовый генератор, являющийся источником температурных волн; 2 - модулятор; 3 - зеркало; 4 - измеритель; 5 - оптический квантовый генератор, являющийся источником считывающего лазерного излучения; 6 - фотоприемник; 7 - образец; 8 - вакуумная камера; 9 - цифровой вольтметр.

Линейно поляризованное излучение оптического квантового генератора 5 (ЛГ-72, диаметр луча 50 мкм, длина волны 0.63 мкм), являющегося источником считывающего лазерного излучения, после отражения от поверхности образца становится эллиптически поляризованным. Вследствие фототермического эффекта тепловые колебания на поверхности образца в точке падения считывающего лазерного излучения изменяют плоскость поляризации и интенсивность отраженного луча. Отраженное излучение оптического квантового генератора 5 поступает на фотоприемник 6 (ФЭУ-84). С помощью измерителя 4 методом синхронного детектирования определяется амплитуда и фаза электрического сигнала с ФЭУ, соответствующие амплитудно-фазовым характеристикам колебаний температуры в точке падения считывающего лазерного луча. Эти данные для нескольких точек облучаемой поверхности позволяют определить температуропроводность образца a [4]:

$$a = (\Delta x)^2 \pi \nu / [I_{\theta_1}(\theta_1/\theta_2)]^2,$$

где ν - частота температурной волны; θ_1 и θ_2 - амплитуды колебаний температуры в двух точках образца, отстоящих одна от другой на расстоянии Δx . Блоки 4-6, изображенные на рис. 1, являются составными частями эллипсометра с оптоэлектронным устройством регистрации марки ЛЭФ-3.

Вакуумная камера 8 устанавливалась непосредственно на двухкоординатный столик прибора ЛЭФ-3. Она была изготовлена из низкотеплопроводной нержавеющей стали в форме полусферы. Для ввода и вывода считывающего лазерного излучения в вакуумной

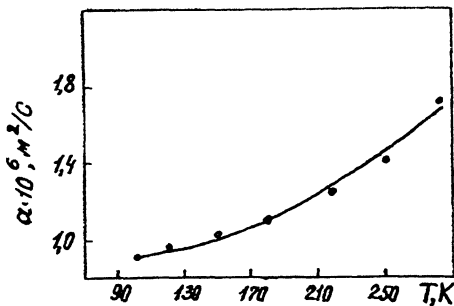


Рис. 2. Температуропроводность ВТСП-пленки $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ в интервале температур 90–300 К.

камере имеются окна, изготовленные из оптического стекла. Образец располагался в вакуумной камере на медном стержне, противоположный конец которого находился вне камеры и помещался в сосуд с жидким азотом. Для изменения температуры образца на стержне имеется нагреватель. Температура образца измерялась с помощью медь-константановой термопары и цифрового вольтметра 9 (Щ68000).

Серия калибровочных измерений, выполненных для Fe , Ni , W , Mo и монокристаллического Si , показала, что погрешность измерения температуропроводности веществ методом лазерного считывания в диапазоне температур 90–600 К не превышает 8%.

На рис. 2 представлены результаты измерения температуропроводности ВТСП-пленки $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, нанесенной обычным способом на подложку из стабилизированного диоксида циркония. Образец представлял собой пластинку площадью $1.5 \times 5 \text{ мм}^2$. В нашем случае частота модуляции теплового потока составляла 120 Гц и выбиралась таким образом, чтобы толщина пленки была больше длины температурной волны. При этом условии исключается влияние подложки на результаты измерения температуропроводности пленки [5]. Измерения параметров температурных волн, распространяющихся по поверхности ВТСП-пленки, производились в двух точках, отстоящих друг от друга на расстоянии 200 мкм. При этом центр тепловыделения находился на расстоянии 200–300 мкм от ближайшей из указанных точек.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в диапазоне температур 95–300 К температуропроводность изученной ВТСП-пленки характеризуется положительным температурным коэффициентом. Причем повышение температуры пленки от 95 до 300 К сопровождается почти двухкратным возрастанием ее температуропроводности.

Выполненные исследования позволили установить важное, на наш взгляд, явление, заключающееся в том, что вблизи температуры перехода ВТСП-пленки в сверхпроводящее состояние на выходе ФЭУ возникали очень большие неустойчивые сигналы. Это, по-видимому,

свидетельствует о том, что за счет нестабильности физических свойств сверхпроводников вблизи критической температуры наблюдаются сильные флуктуации угла поворота плоскости поляризации отраженного лазерного луча. Этот эффект можно использовать для определения температуры перехода пленки в сверхпроводящее состояние, а также для контроля распределения включений сверхпроводящей фазы в разных областях пленочного образца.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Z i n o v ' e v V.E., K o r s h u n o v I.G., U y m i n A.A. / Proc. of the 12th European Conference on Thermophysical Properties, Vienna, Austria, 1990. p. 309.
- [2] У й м и н А.А., З и н о в ' е в В.Е., К о р ш у - н о в И.Г. // Тез. докл. У1 Всес. конф. „Оптика лазеров“. Л., 1990. 230 с.
- [3] В.Е. Зиновьев, И.Г. Коршунов, В.В. Докучаев, Ю.А. Шихов. А.с. 1627949 СССР, G01 № 25/18. БИ, 1991. № 6.
- [4] Л ы к о в А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 600 с.
- [5] П о з д е е в А.Н. // Физические свойства металлов и сплавов. Свердловск: Уральский политехнический ин-т. 1983. В. 4. С. 130-134.

Поступило в Редакцию
4 августа 1991 г.