

УДК 563.5:621.315.5

Устройство для измерения критической температуры высокотемпературных сверхпроводников

З. Стевич, М. Райчић-Вуясинович, З. Д. Станкович
Белградский университет, Технический факультет, г. Бор, Югославия

Рассмотрен основной элемент нового устройства — сенсор, измеряющий критическую температуру высокотемпературных сверхпроводников, работа которого основана на законах индукции и эффекте Майснера. Точность измерения и устойчивость к помехам достигается благодаря использованию дифференциального метода, а надежность сенсора объясняется тем, что нет необходимости в непосредственном электрическом контакте с образцом. Достоинства устройства: образец при данном методе исследования не повреждается; конструкция сенсора достаточно проста; используемая измерительная техника — стандартная, ее можно найти в большинстве лабораторий.

Важнейшей характеристикой всякого сверхпроводимого материала является критическая температура, т. е. температура, при которой материал переходит в состояние сверхпроводимости. Поэтому для определения характеристик

сверхпроводимых материалов и дальнейшего развития сверхпроводимых технологий очень важно более точно измерять его критическую температуру. Переход в состояние сверхпроводимости характеризуется исчезновением электрического сопротивления материала, а также эффектом вытеснения магнитного поля (эффект Майснера) [1]. Переход материала в состояние сверхпроводимости традиционным методом обычно определяется путем непосредственного измерения электрического сопротивления на четырех контактах. Поскольку процесс измерения протекает при очень низких температурах, возникает ряд проблем, связанных с надежностью электрических контактов при этих температурах, с величиной образца и его устойчивости к деформации. Образцы, кстати, должны быть довольно большими и соответствующей формы, чтобы было возможно осуществить четыре надежных контакта на достаточном расстоянии друг от друга. Измеряемое напряжение при этом методе — порядка микровольтов, это обстоятельство вынуждает применять дорогостоящее оборудование [2].

В нашем случае основным элементом измерительного устройства является бесконтактный сенсор (т. е. сенсор, работающий без прямого электрического контакта с образцом). Бесконтактный способ допускает использование образца малых размеров или даже порошкообразный. Благодаря применению дифференциального метода была достигнута высокая чувствительность прибора при его относительно простой конструкции. Используемый принцип основан на эффекте Майснера, который заключается в вытеснении из сверхпроводящего образца магнитного поля [1, 3]. Вследствие этого магнитное поле в непосредственной близости материала деформируется. Измерения показали [3], что деформация поля регистрируется на расстоянии, равном величине радиуса образца. Эти изменения могут быть зафиксированы с помощью индуцированного напряжения на катушке, которая находится в этом поле. Напряжение на измерительной катушке сравнивается с напряжением на такой же катушке (базовой), только вне зоны деформации поля. Возникшее на сенсоре напряжение — порядка нескольких десятков милливольт.

В данной работе предложено одно из возможных решений конструкции оборудования для измерения критической температуры сверхпроводника. Бесконтактные методы измерения T_c были разработаны также и другими авторами [4, 6]. Так, в работе [4] предлагается свой вариант устройства, основанный на методе "modified forme of an inductance bridge method". В этом случае измеряемое напряжение — в пределах от 50 до 100 мВ, но сам сенсор — намного сложнее, чем предлагаемый в данной работе.

Описание устройства

Конструкция сенсора, составляющего основной элемент устройства для измерения критической температуры сверхпроводника, показана на рис. 1. Сенсор состоит из первичной катушки 4, внутри которой находятся две вторичные 1, 2, имеющие общее тело и противоположно подключенные. Первичная катушка подсоединяется к источнику переменного напряжения средней частоты и образует переменное магнитное поле. Образец 5 помещается на серебряную пластину 6, которая находится внутри одной из вторичных катушек 3 (удобнее, если он будет в катушке 1), в то время как катушка 2 выполняет роль базовой. Таким образом достигается повышенная чувствительность сенсора с высокой степенью отклонения помех. В уравновешенной

системе (когда образец не является сверхпроводником) результирующее напряжение на клеммах вторичных катушек приблизительно равно нулю, так как напряжения на них равны по модулю. В случае, если сенсор вместе с образцом будет находиться при температуре ниже критической для данного образца, тогда этот образец перейдет в состояние сверхпроводимости, вызывая в катушке 1 деформацию магнитного поля. Учитывая, что в базовой катушке не произошло никаких изменений, дифференциальное напряжение на ее выходах достаточно, чтобы его могли измерить стандартной измерительной аппаратурой. Температуру образца измеряют термопарой 7, подсоединенной к серебряной пластине 6. Выходы катушек 1, 2 и 4 и термопары 7 выведены через несущий элемент катушек и через алюминиевую трубку 8 к коннектору 9, связывающему с измерительной системой.

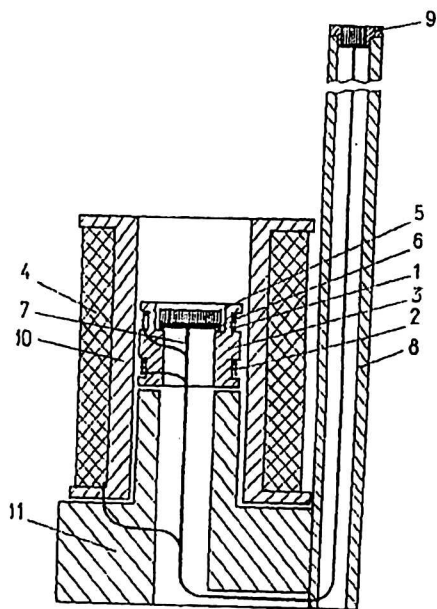


Рис. 1. Сенсор для измерения критической температуры в высокотемпературных проводниках:

- 1 — измерительная катушка;
- 2 — базовая катушка; 3 — тело вторичных катушек; 4 — первичная катушка;
- 5 — образец; 6 — серебряная пластина;
- 7 — термопара; 8 — алюминиевая трубка;
- 9 — коннектор; 10 — тело первичной катушки;
- 11 — несущий элемент катушек

Образец 5 может быть малых размеров (всего несколько миллиметров) и не обязательно компактный. Сам сенсор также может быть небольшим (в нашем случае размеры прототипа — 40x60 мм).

Во время эксперимента сенсор целиком подвергается действию низких температур, а также резким скачкам температуры, что значительно влияет на особенности его конструкции. Тело катушек должно быть из тефлона, а покрытая лаком проволока и другие проводники также должны быть предусмотрены для работы при низких температурах.

На рис. 2 показан один из возможных вариантов устройства для измерения T_k высокотемпературных сверхпроводников. Концепция измерительной системы такова, что позволяет запоминать результаты, а затем их подвергать обработке. Первичная катушка 2 сенсора подключена к источнику напряжения 1 средней частоты. Выходы вторичных катушек 3 соединены с входной клеммой измерительного усилителя 7, при этом сигнал поступает на один из входов А/Д конвертера 8. На другой вход А/Д конвертера с термопары 5 поступает сигнал, усиленный усилителем 6. Это позволяет измерять температуру образца 4, причем коррекция нелинейности характеристики термопары выполняется с помощью программы, специально составленной нами с этой целью, на компьютере 9, который подключен к выходу А/Д конвертера 8.

Компьютерская часть состоит из центральной единицы, хард-диска, куда вносятся данные измерений, экрана и принтера, на которых изображаются графики зависимости и данные. Программой предусмотрены изображение графиков зависимости магнитной проницаемости от температуры, а также их запоминание, распечатка и дальнейшая обработка результатов (считка значений T_k , определение наклона кривой, увеличение изображения графика, компарирование и т. д.).

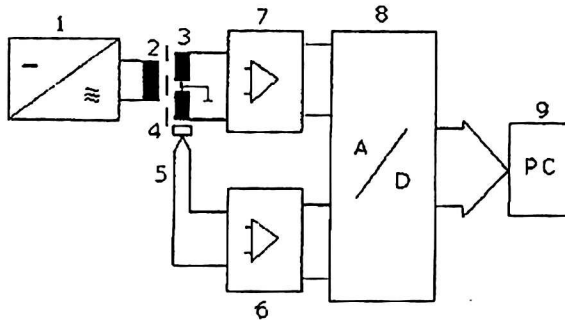


Рис. 2. Блок-схема системы для измерения T_k :

- 1 — генератор средней частоты; 2 — первичная катушка;
3 — вторичная катушка; 4 — образец; 5 — термопара; 6 — усилитель;
7 — измерительный усилитель; 8 — АД коннектор; 9 — компьютер

На рис. 3 показан внешний вид основных элементов устройства до сборки: образец в виде таблетки, выполненный из высокотемпературного сверхпроводящего материала; вторичные катушки с общей тефлоновой основой, внутри которой помещена серебряная пластина, к пластине припаян край термопары: первичная катушка и среднечастотный источник питания. Первичная катушка состоит из 210 витков дважды покрытой лаком медной проволоки диаметром 0,5 мм, которая намотана в три слоя длиной 40 мм на тефлоновой основе с внешним диаметром 19 мм. Вторичные катушки состоят из 50 витков медной проволоки диаметром 0,05 мм, длина витка — 15 мм, внутренний диаметр катушки 11 мм, а внешний — 15 мм. Расстояние между вторичными катушками 7 мм. Катушки собраны так, что представляют собой измерительный зонд, который с помощью коннектора соединен с остальными частями устройства. Провода между зондом и коннектором помещены в длинную алюминиевую трубку, чтобы сам коннектор не попадал в зону действия низких температур.

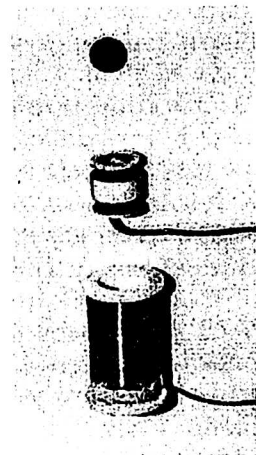


Рис. 3. Фотография сенсора в разборном виде

Процесс измерения протекает следующим образом: зонд с образцом вводят в жидкий азот, после некоторого времени температура образца стабилизируется, затем зонд вынимают из азота и оставляют при комнатной температуре. Сенсор с образцом постепенно нагревается, при этом мы отслеживаем зависимость дифференциального напряжения с изменением температуры. Дифференциальное напряжение пересчитываем в магнитную проницаемость. На нашем графике появляется зависимость проницаемости от абсолютной температуры.

На рис. 4 верхняя кривая отображает результат описанного выше эксперимента на базе сверхпроводящего образца $Y_1Ba_2Cu_3O_x$. Нижняя кривая показывает эксперимент при измерении электрического сопротивления методом четырех точек на базе того же образца. Составление кривых указывает на достоверность описанного нами метода и на надежность сенсора.

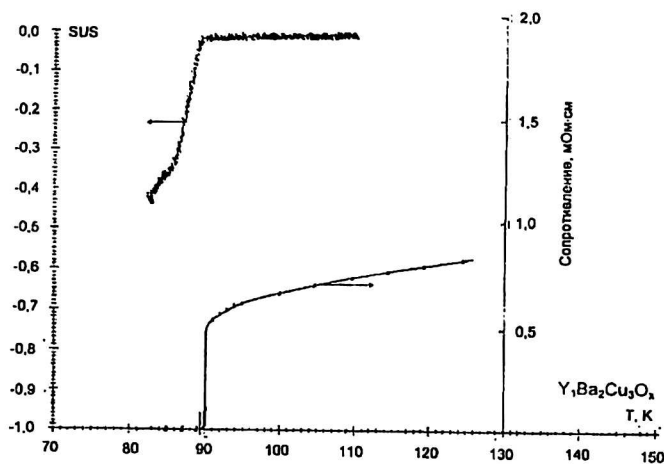


Рис. 4. График перехода в состояние сверхпроводимости для $Y_1Ba_2Cu_3O_x$, зарегистрированный с помощью описанной измерительной системы (верхняя кривая), и график, полученный измерением сопротивления методом четырех точек (нижняя кривая)

Л и т е р а т у р а

1. Mendelsohn K. The quest for absolute zero. The meaning of low temperature physics. Taylor and Francis Ltd., 1977.
2. Таранин Д. А., Филипов В. С., Козаков А. Т., Фесенко Е. Г. Некоторые результаты измерений токовых характеристик высокоплотной ВТСП керамики//Проблемы ВТСП. — Ростов. Ростовский госуниверситет. 1990. Вып. 1. С. 122—127.
3. Эдельман В. С. Вблизи абсолютного нуля. — М.: Наука. 1983. С. 143—146.
4. Nikolic P. M., Miletic M., Maricic Z. B., Rakovic D. A modified noncontact method for critical temperature measurements of high temperature superconductors. Science of sintering. — New York, 1990. P. 599—604.
5. Таранин Д. А., Филипов В. С. Об измерениях электрических характеристик ВТСП материала//Проблемы ВТСП. — Ростов. Ростовский госуниверситет. 1990. Вып. 1. С. 128—134.
6. Soulen Jr. R. J., Schooley J. F., Evans Jr. G. A.//Rev. Sci. Instrum. 1973. V. 44. № 10. P. 1537—1538.

The device for measuring the critical temperature of high-temperature superconductors

Z. Stevich, M. Raichich-Vuyasinovich, Z. D. Stankovich
University of Belgrad, Technical faculty, Bor, Yugoslavia

The main element of the device for critical temperature measurement of high- T_c superconductors described in this paper, is the sensor based on the laws of magnetic induction and Meissner effect and it is of an original construction. The reliability and insensitivity on disturbances is achieved applying the difference method, and accuracy using principles which don't need any galvanic contact with the sample. Measurement doesn't provoke any damage of samples, the sensor is of relatively simple construction and it's response can be easily detected by standard laboratory equipment.