

05

Определение абсолютных термоэлектродвижущих сил проводников с помощью стержней $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$

© С.А. Чурин

Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород
E-mail: churin@ipm.sci-nnov.ru

Поступило в Редакцию 14 апреля 2009 г.

Выращен стержень $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ длиной 110 мм, диаметром 7 мм. Приведена зависимость падения напряжения на стержне от температуры при токе через стержень 1 А. Показано, что стержень может быть использован для определения абсолютной термоэлектродвижущей силы проводников в области температур до начала выхода стержня из сверхпроводящего состояния. Измерена термоэлектродвижущая сила проводников из Ni, Cu, W.

PACS: 74.81.Bd, 72.15.Jf

Высокотемпературные сверхпроводящие (ВТСП) стержни находят применение в качестве элементов токовводов к низкотемпературным сверхпроводящим соленоидам [1]. В том случае, если величина тока, заводимого в соленоид, меньше, чем критический ток материала стержня, то резистивные потери в таких стержнях равны нулю. Теплопроводность ВТСП-материалов [2] заметно меньше, чем традиционно используемых для этих целей металлов. Поэтому и тепловые потери ВТСП-токовводов меньше, чем в аналогичных изделиях из металла. Необходимо добавить, что собственная термоэлектродвижущая сила сверхпроводников равна нулю [2–4].

Указанные свойства ВТСП-стержня (низкая теплопроводность, равенство нулю термоэлектродвижущей силы, падения напряжения на нем) могут быть использованы для определения абсолютных термоэлектродвижущих сил проводников. Ранее [4] для определения абсолютной термоэлектродвижущей силы свинца были использованы низкотемпературные сверхпроводники. Обычно абсолютную термоэлектродвижущую силу проводников находят после определения зависимости от температуры для коэффициента Томсона [5]. Однако это не

прямой метод определения термоэлектродвижущей силы проводников. Стержни из ВТСП-материалов позволяют существенно расширить диапазон температур измерения абсолютной термоэлектродвижущей силы проводников прямым методом. В настоящей работе предложен метод выращивания стержней $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$, измерены температура и ширина перехода стержня в сверхпроводящее состояние. Определена с помощью стержня $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ в сверхпроводящем состоянии абсолютная термоэлектродвижущая сила проводников из Cu, Ni, W от 77 до 90 К.

Методами порошковой технологии изготавливались стержни $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ длиной 180–200 мм и диаметром 9 мм. Кристаллизация стержней проводилась в вертикальной трубчатой печи с поперечным и аксиальным градиентами температуры. Поперечный градиент температуры не менялся по длине стержня и был равен $15^\circ\text{C}/\text{cm}$. В зоне частичного плавления и кристаллизации аксиальный градиент температуры менялся от $0-1^\circ\text{C}/\text{cm}$ (наиболее горячая часть зоны) до $15-20^\circ\text{C}/\text{cm}$ в зоне кристаллизации. После частичного плавления стержня в течение 10 min при температуре 980°C (в месте кристаллизации стержня) температура в печи снижалась на 30°C и начиналось снижение температуры со скоростью $1^\circ\text{C}/\text{h}$ до 820°C . Предполагалось, что во всех точках рабочего объема печи температура снижается с одной скоростью. Скорость вывода стержня из зоны кристаллизации в процессе его охлаждения составляла $2.7\text{ mm}/\text{h}$. После вывода стержня из зоны кристаллизации он вместе с печью охлаждался до комнатной температуры. Закристаллизовавшаяся часть стержня (длиной 110 мм) отрезалась. С целью измерения температуры перехода стержня в сверхпроводящее состояние четырехзондовым методом на стержень наносились токовые и потенциальные контакты из серебряной пасты. Длина токовых контактов была равной 20 мм, потенциальных — 3 мм. Расстояние между потенциальными контактами 40 мм, между потенциальным и токовым контактом — 10 мм. Далее стержни отжигались в муфельной печи при температуре 830°C в течение 5 h. Для придания стержню сверхпроводящих свойств он отжигался в токе кислорода в течение 5 h при температуре 500°C с последующим медленным остыванием ($1-3^\circ\text{C}/\text{min}$) до комнатной температуры.

Температура и ширина перехода стержня в сверхпроводящее состояние измерялись четырехзондовым методом при токе через стержень 1 А.

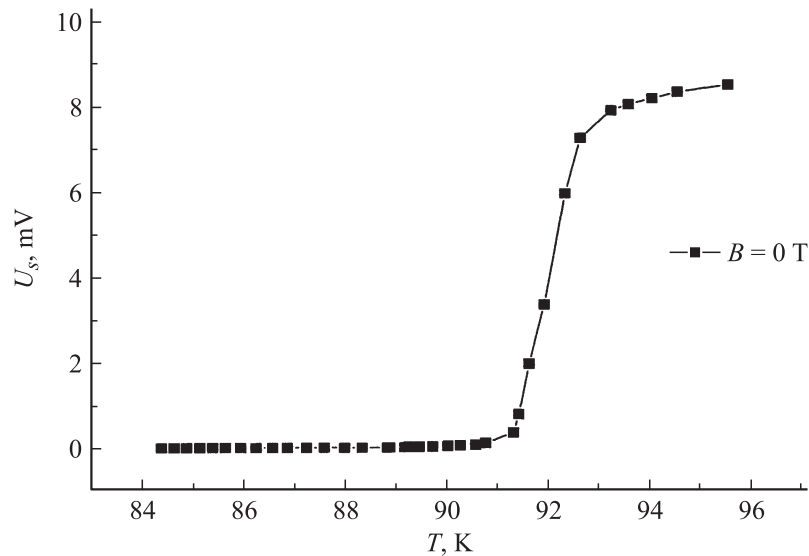


Рис. 1. Падение напряжения на потенциальных контактах стержня $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ в зависимости от температуры. Ток через стержень — 1 А.

Абсолютная термоэлектродвижущая сила определялась для проводников из Cu, Ni, W. Отрезки проводников одного элемента длиной 75 см припаивались к концам стержня. К одному из концов стержня крепилось термосопротивление. Стержень вертикально помещался в ванну таким образом, что термосопротивление находилось вверху, после чего в ванну заливался жидкий азот. Провода от термосопротивления и провода, термоэлектродвижущая сила которых определялась, выводились к измерительным приборам через жидкий азот. В процессе испарения жидкого азота верхний конец стержня с термосопротивлением нагревался. Нижний конец стержня оставался при температуре кипения жидкого азота. Регистрировались разность потенциалов, снимаемая с верхнего и нижнего концов стержня, температура более теплого конца стержня.

Температура перехода стержня в сверхпроводящее состояние — 89 К, ширина перехода — менее 2 К (рис. 1). Разность потенциалов

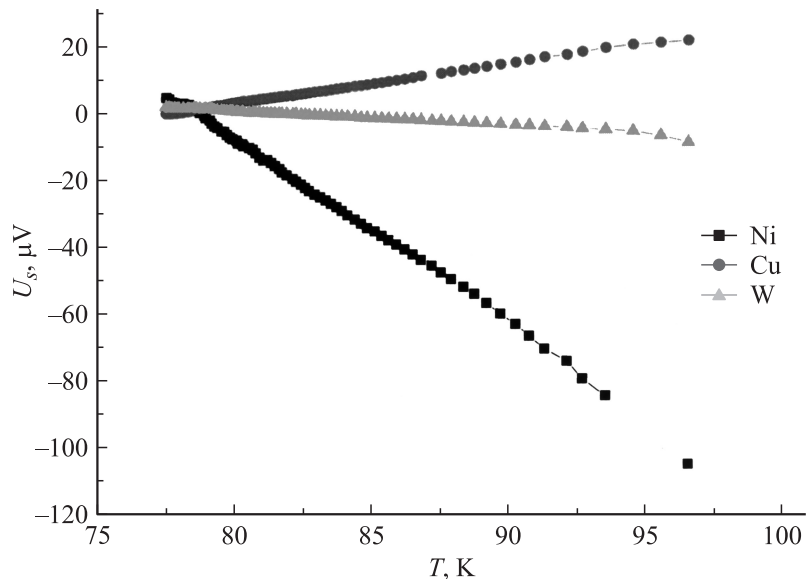


Рис. 2. Разность потенциалов между „теплым“ и „холодным“ концами стержня в зависимости от температуры „теплого“ конца стержня $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ для проводников из Cu, Ni, W.

между верхним (теплым) и нижним (холодным) концом стержня для проводников из Cu, Ni, W в зависимости от температуры приведена на рис. 2. Из данных, приведенных на рис. 2, найдено, что коэффициент термоэлектродвижущей силы ($T = 82.5 \text{ K}$) для меди равен $1.15 \mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1}$, для никеля $-5.38 \mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1}$, для вольфрама $-0.4 \mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1}$. Результаты настоящей работы находятся в хорошем согласии с данными, приведенными в справочнике [5]. Температурный диапазон измерения термоэлектродвижущей силы проводников может быть заметно расширен, если в качестве охладителя использовать жидкий гелий и стержень из материала с более высокой температурой перехода в сверхпроводящее состояние. Таким образом, в настоящей работе показано, что ВТСП-материалы могут быть успешно использованы для нахождения абсолютной термоэлектродвижущей силы проводников в области температур до выхода ВТСП-материалов из сверхпроводящего состояния.

Автор считает своим долгом поблагодарить Министерство промышленности и инноваций Нижегородской области за поддержку настоящей работы.

Список литературы

- [1] *Hiroyuki Fujishiro, Manabu Ikebe, Hidekazu Teshima, Hosei Hirano* // IEEE Transaction on Applied Superconductivity. 2006. V. 16. N 2. P. 1007–1010.
- [2] *Hiroyuki Fujishiro, Shinya Nariki, Masato Mutakami* // Supercond. Sci. Technol. 2006. V. 19. P. S447–S450.
- [3] *Шмидт В.В.* // Введение в физику сверхпроводников. М.: Наука, 1982. Гл. 7. С. 219.
- [4] *Roberts R.B.* // Phil. Mag. 1977. V. 36. N 1. P. 91–107.
- [5] *Бабичев А.П., Бабушкина Н.А., Братковский А.М.* и др. // Физические величины. Справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. Гл. 24. С. 560, 561.