

ISSN 1993-8780 (print)

4/2020

КОМПЕТЕНТНОСТЬ/ COMPETENCY (Russia)

Государственные контракты:
инвестиционное обеспечение
организации
производства

с.19



4 / REACH. БЕЗОПАСНОЕ ОБРАЩЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ
ПРОИЗВОДСТВ 8 / ВОЗВРАЩЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ В ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ОБОРОТ
35 / ФАРМАЦИЯ, ФАРМАЦЕВТИКА И НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

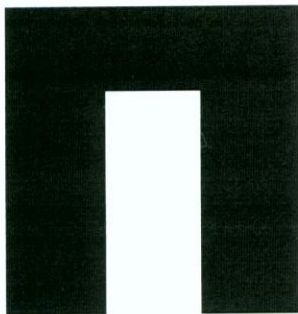
ISSN 1993-8780



9 771993 878778

Установка для измерений вольт-амперных характеристик сверхпроводников

Рассматриваются измерительная установка и метод определения действительных значений критического тока в сверхпроводниках (при гелиевых температурах), поступающих на рынок от отечественных и зарубежных производителей композиционной проволоки круглого или прямоугольного сечения на основе сплава Nb-Ti. Приводятся результаты исследования, подтверждающие работоспособность измерительной установки. УДК 53.083.94



А.Ф. Бродников¹
Институт ядерной физики
им. Г.И. Будкера СО РАН (ИЯФ),
канд. техн. наук, доцент,
A.F.Brodnikov@inp.nsk.su

Н.А. Вихарева²
Новосибирский филиал ФГАОУ
ДПО «Академия стандартизации,
метрологии и сертификации
(учебная)», канд. техн. наук,
доцент, mainbox@asmsnsk.ru

ри проектировании сверхпроводящих магнитов и других объектов криогенной техники особую роль уделяют характеристикам, указанным производителями сверхпроводящих проводов. В связи с этим в Институте ядерной физики было решено создать измерительную установку, предназначенную для определения действительных значений критического тока в сверхпроводниках, поступающих на рынок от отечественных и зарубежных производителей композиционной проволоки на основе сплава Nb-Ti. В настоящее время федеральные законы «О техническом регулировании» и «О стандартизации» имеют статус «добровольного применения» [1], поэтому отечественные предприятия, а также зарубежные, поставляющие на рынок различные материалы, не имеют обязательств и возможностей осуществлять выходной контроль по колоссальному числу существующих свойств, да еще и в диапазоне криогенных температур.

Измерительная установка изготовлена на базе криостата КГ-60/300-1, во внутренней полости которого, в среде жидкого гелия, располагается соленоид, а в его центральной части — вставка-держатель с образцом. Питание соленоида и исследуемого образца по токовводам, расположенным в верхней крышке криостата, осуществляется источниками питания фирмы Danfysik — system 8800 при помощи ПК и управляющей программы, разработанной в ИЯФ. Внешний вид криостата и соленоида представлен на фото.

Для опробования установки по определению вольт-амперных характеристик (ВАХ) в сверхпроводниках при гелиевых температурах были проведены

испытательные измерения по методике МВИс 400-423/8-2018, разработанной АО «ВНИИНМ» [2]. Измерения проводили на образцах композиционной проволоки на основе сплава Nb-Ti длиной 0,08 м и диаметрами 0,5 и 0,85 мм, отрезанных от проводов штатных партий, при этом ВАХ были указаны производителями данных сверхпроводников. Каждый образец припаивался к оправке из меди сечением 4×2 мм индий-оловянным низкотемпературным припоем. Оправка с образцом монтируется к токовводам криостата. В центре измеряемого провода припаивали потенциальные провода, на расстоянии 1 см друг от друга, которые подключаются к универсальному прецизионному измерителю В7-99. Весь процесс измерений регистрируется при помощи программного обеспечения, поставляемого с измерителем.

Все технологические канавки заливаются высокотемпературным силиконовым герметиком-прокладкой. После окончательной сборки вставки-держателя в его центральной части устанавливается датчик Холла для измерения магнитного поля, производства компании Lake Shore Cryotronics Inc. (Sensor Model: HGCT-3020, Mean Loaded Sensitivity: 0,773mV/kG), непосредственно вблизи измеряемого сверхпроводника. Перед проведением испытаний все средства измерений данной установки должны быть откалиброваны.

После проведения всех организационных операций при заливке в криостат жидкого гелия осуществлялся контроль уровня газа в криостате и его температуры $4,2 \pm 1$ К (датчиками температуры DT-670 Silicon Diodes, компании Lake Shore Cryotronics Inc.), а также температуры токовводов. Да-

¹ научный сотрудник, г. Новосибирск, Россия

² г. Новосибирск, Россия

Для цитирования: Бродников А.Ф., Вихарева Н.А. Установка для измерений вольт-амперных характеристик сверхпроводников // Компетентность / Competency (Russia). — 2020. — № 4. DOI: 10.24411/1993-8780-2020-10403

ключевые слова

измерительная установка, сверхпроводящий провод, криогенная температура, критический ток

лее магнитное поле в соленоиде поднялось до уровня 7 Тл согласно показаниям датчика Холла ($54,11 \pm 0,01$ мВ) в качестве опорной точки, указанной производителем сверхпроводника.

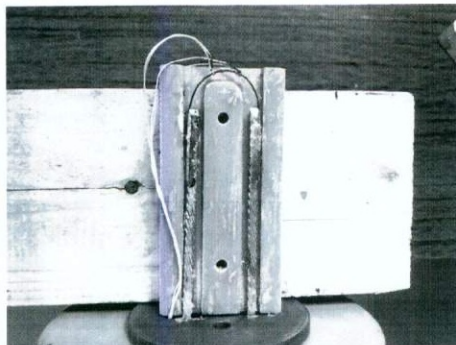
Запись ВАХ в образцах проводится при увеличении силы тока со скоростью до 0,1 А/с вплоть до появления величины напряженности электрического поля E , равной 0,8–1,0 мкВ/см [3]. За критический ток (I_c) принимается значение тока, соответствующее электрическому полю в образце 0,8–1,0 мкВ/см как наклон графика $\log E - \log I$ в указанном диапазоне электрических полей. Результат измерения критического тока в проводнике в зависимости от индукции магнитного поля представлен на графике ВАХ образца диаметром 0,5 мм при 7 Тл на графике.

Расчетное значение критического тока, указанного изготовителем измеряемых сверхпроводящих проводов, при 7 Тл должно составлять 200 А и 372 А. Полученное нами значение — 212 А и 382 А, что составляет менее 10 % [4], и это соответствует пределу допускаемой основной абсолютной погрешности измерителя В7-99, равной $\pm(1,5 \cdot 10^{-3} + 4,5 \cdot 10^{-5}|U|)$ мВ (U — измеренное напряжение, мВ).

Как видно, работоспособность измерительной установки для определения действительных значений критического тока подтверждена, а более точный результат измерений можно получить с помощью современной прецизионной цифровой измерительной аппаратуры с допускаемой основной абсолютной погрешностью $\pm 0,0025\% + 0,02$ нВ. ■

Список литературы

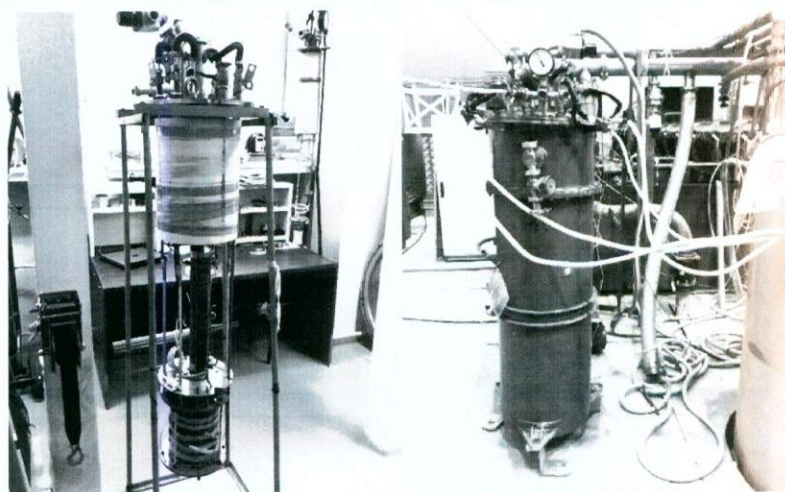
1. Рыбак Н.И., Черепанов В.Я., Шейнин Э.М., Ямшанов В.А. Правовой статус национальных стандартов единства измерений // Стандарты и качество. — 2015. — № 12.
2. МВИс 400-423/8–2018. Методика измерения критического тока и определения показателей кривизны вольт-амперной характеристики сверхпроводящих проводов на основе сплава Nb-Ti / АО «ВНИИНМ», 2018.
3. Быковский Н.В., Высоцкий В.С., Носов А.А., Фетисов С.С. Установка для исследования температурной зависимости критического тока сверхпроводников на основе дигборида магния // Кабели и провода. — 2016. — № 5.
4. Сотников Д.В. Исследование токонесущих свойств перспективных высокотемпературных сверхпроводящих материалов для электротехнических устройств / ОАО «Всероссийский научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности», 2016.



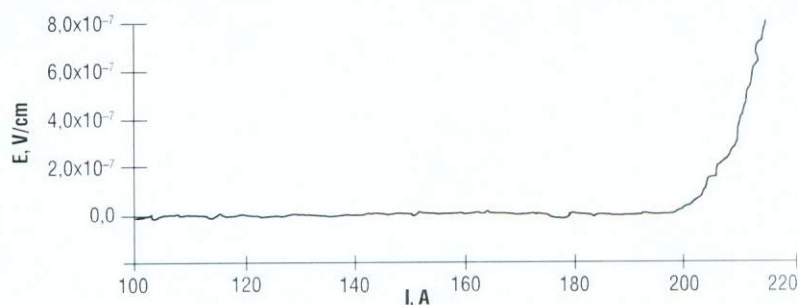
Образец провода на оправке
[Mandrel wire sample]



Вставка-держатель
[Insert-holder]



Соленоид и криостат КГ-60/300-1 [Solenoid and cryostat KG-60/300-1]



ВАХ образца провода
в поле 6,94 Тл
[CVC of a wire sample
in a field of 6.94 T]

Статья поступила
в редакцию 26.12.2019