

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕКЦИЯ

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВЕРПРОВОДЯЩИХ КАБЕЛЕЙ ИЗ ВТСП

*Национальный технический университет
"Харьковский политехнический институт"*

Ст.: Е.Ю. Лобода, С.А. Григорчук

Рук. проф. А.А. Мамалуй

Сверхпроводимость – это единственное физическое бездиссипационное явление, которое имеет макроскопическую квантовую природу[1].

В последние 30 лет к наиболее распространенным сверхпроводящим материалам можно отнести сплав Nb (основа) с 46,5 % Ti (по массе). Этот сплав отличается высокой технологичностью, из него обычными методами плавки, обработки давлением и термической обработки можно изготавливать проволоку, кабели, шины.

При изготовлении сверхпроводящего кабеля в бруске меди просверливают множество отверстий и в них вводят тонкие Nb – Ti стержни. Брусочек протягивают в тонкую проволоку и получают кабель с большим числом сверхпроводящих жил, из которого делают катушки для электромагнитов (диаметр кабеля 0.2 мм, рис. 1). Если в какой-либо жиле сверхпроводимость случайно нарушится, то высокая электро- и теплопроводность медной матрицы дает возможность осуществить термическую стабилизацию сверхпроводника в докритическом режиме.

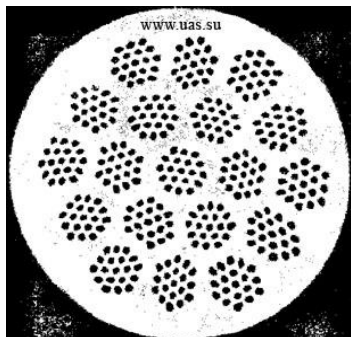


Рисунок 1 – Поперечное сечение многожильного сверхпроводящего композита с 361 ниобий-титановой жилой в медной матрице.

Интерметаллиды, хотя и обладают более высокими критическими параметрами, имеют высокую хрупкость, что затрудняет изготовление из них длинномерных проводов традиционными методами металлургической технологии.

Применение хрупких интерметаллидов ($T_c = 18$ К для Nb_3Sn) целесообразно, но технологически сложно. Для получения проводов из сверхпроводящего соединения Nb_3Sn применяют «бронзовую технологию», основанную на селективной твердофазной диффузии[2]. Тонкие нити пластичного ниобия запрессовывают в матрицу из бронзы, содержащую 10 – 13 % Sn. В результате многократного волочения с промежуточными отжигами и последующей термической обработки происходит диффузия олова в ниобий и на его поверхности образуется тонкая пленка Nb_3Sn . Из-за ничтожной растворимости медь в ниобий практически не диффундирует.

Для получения сверхпроводящих лент из соединений интерметаллидов кроме того применяют метод химического осаждения из газовой фазы. Его использование позволяет синтезировать соединение Nb_3Ge , имеющее наиболее высокую критическую температуру перехода в сверхпроводящее состояние среди низкотемпературных интерметаллических сверхпроводников ($T_c = 23$ К).

Простота изготовления, благоприятное сочетание электрических и механических свойств и сравнительно низкая стоимость позволяют рекомендовать сверхпроводники на основе твердого раствора Nb – Ti в качестве основных материалов до $J_c = 8$ Тл при $T = 4,2$ К. В более сильных полях, когда плотность тока существенно падает, целесообразно использовать интерметаллические соединения типа Nb_3Sn .

В конце 1980-х годов была открыта высокотемпературная сверхпроводимость в окисных системах .

В 1986 г. впервые были получены сверхпроводящие керамические образцы системы La – Ba – Cu – O, с $T_c = 35$ К. Позднее на системе Y – Ba – Cu – O была достигнута $T_c = 91$ К, дающая возможность использовать дешевый и доступный жидкий азот в качестве хладагента. Керамика на основе соединений оксида меди с оксидом стронция, висмута и щелочноземельных элементов, например состава $2SrO \cdot CaO \cdot Bi_2O_3 \cdot 2CuO$, имеет еще более высокую T_c – до 100 – 120 К. В настоящее время исследователями ряда стран разработано

большое число керамических материалов с переходом при несколько более высоких температурах. Значительная часть разработанных материалов характеризуется нестабильностью и большой хрупкостью. Это вызывает значительные технологические трудности.

Существует аналог бронзовой технологии, согласно которому создают кабели из ВТСП-систем.

Она состоит из последовательных процедур формования жил ВТСП в серебряной матрице и отжига с частичным их плавлением и последующей кристаллизацией. Все стадии процесса являются весьма технологичными, в них находят применение хорошо разработанные в промышленности подходы. При типичном сечении провода 0.22 мм^2 рабочая плотность тока составляет около 25 кА/см^2 . Если учесть, что ВТСП жилы занимают в проводе первого поколения не более трети сечения, значение криттока в таком сверхпроводнике приближается к 100 кА/см^2 . Это очень хороший результат, но считают, что улучшение равномерности свойств провода при существующем уровне разориентации зерен и примесных фаз может повысить критический ток до 300 кА/см^2 , а уменьшение средней разориентации кристаллитов в перспективе приведет даже к достижению уровня 1 кА на сечение провода [3,4].

В основе технологии ВТСП-проводников второго поколения лежат методы получения эпитаксиальных пленок оксидных слоев, состоящих из монокристаллических зёрен заданной ориентации. Эпитаксиальные слои необходимо получать на очень большой площади.

Разработка ВТСП имеет очень большое значение для человечества и ученые всего мира прикладывают большие усилия для усовершенствования уже существующих технологий создания ВТСП и разработки новых.

Литература:

1. Д.Тилли, Д.Тилли, Сверхтекучесть и сверхпроводимость, Москва, Мир, 1977, с. 301.
2. Д.Сан-жам, Г.Сарма, Е.Томас, Сверхпроводимость второго рода, Москва, Мир, 1970, с. 360.
3. Высокотемпературные сверхпроводящие провода и кабели второго поколения, разработки в ВНИИ НМ, gusnanonet, 2014.
4. purple.iptm.ru, Высокотемпературная сверхпроводимость, 2014.