

СВЕРХПРОВОДНИКИ

для электроэнергетики

Том 3 выпуск 3
август 2006

Исследовательские центры
Провода Кабели
Трансформаторы

Фирмы
Генераторы
Токоограничители

Инвесторы
Накопители

СЕГОДНЯШНИЙ РЕКОРД

SuperPower, Inc (США) заявила о новом рекордном критическом токе, достигнутом в 2G проводах: 219 А/см ширины в проводах длиной 322 м, или 70520 А-м (прежний рекорд – 52087 А-м). В коротких образцах SuperPower достигла критического тока 577 А/см ширины, поделив рекорд с японскими разработчиками.

<http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=88261&p=irol-newsArticle&ID=860295&highlight>

ВТСП ПРОВОДА И КАБЕЛИ

2G. Последние новости 2006

Похоже, пленочные ВТСП проводники (принятая аббревиатура – СС от coated conductor) – это тот кончик, ухватившись за который удастся раскрутить клубок прототипов ВТСП устройств в длинную полосу реальных применений. Процесс раскрутки особенно ускорился с выходом в коммерческую продажу ВТСП пленочных проводников 2-го поколения (2G СС).

3-5 июля с.г. в Германии прошла организованная SCENET специальная конференция, посвященная разработке ВТСП лент второго поколения, пригодных для применения - International Workshop on Coated Conductors for Applications (<http://www.cca2006.com/>). На ней собрались многие активные участники разработок 2G ВТСП из США, Юго-Восточной Азии и Европы. С обзорными докладами выступили Dean Peterson (LANL), Amit Goyal (ORNL), Teruo Izumi (SRL ISTECH), Sang-Soo Oh (KERI, Корея) и Xavier Obradors из Барселоны (ICMAB). Настоящая заметка написана на основе этих презентаций, дающих представление о развитии 2G-технологии в мире.

Как известно, в США наибольшее распространение получили технологии производства 2G ВТСП лент, разработанные в национальных лабораториях LANL и ORNL (рис. 1). Они «взяты на вооружение» крупнейшими фирмами, SuperPower и American Superconductor, уже успешно начавшими коммерческую реализацию первых партий лент. Обращает на себя внимание сложность буферных слоёв в этих архитектурах: на хастеллое используют пять различных покрытий, на текстурированном никелевом сплаве – три. Почти все слои получают различными методами (IBAD, sputtering, MOCVD, MOD). С использованием структуры на хастеллое с MOCVD YBCO SuperPower уже не в первый раз ставит рекорд по параметру «длина-ток»: 219 А/см на ленте длиной 322 м (май 2006). Улучшается также равномерность свойств 2G-лент: SuperPower сообщает о вариации криттока лишь 5% величины на длине более 300 м и 3% на длине 200 м. Для метровой длины получен ток 470 А на см ширины ленты, а на лентах шириной 4 см, очень равномерных по ширине, достигнута интегральная величина 962 А. Для «стандартного» 4 мм проводника взят рубеж в 100 А на длине 270 м, что в пересчёте на инженерную плотность тока (26000 А/см²) превышает характеристики проводов первого поколения почти в 2 раза.

И далее...

Круглый ВТСП провод. Первые попытки 4

ПОЗИЦИЯ

Зачем нужны 3G? 5

Сравнительная стоимость ВТСП и НТСП проводников 6

ЗАРУБЕЖНЫЕ ФИРМЫ

HTS-110 (H-T-S- one-ten), Новая Зеландия 7

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Верхний предел линии необратимости в Y-123 8

ВТСП УСТРОЙСТВА

Сегодняшние проекты НТСП и ВТСП электромашин 9

ПОЛИТИКА И ИННОВАЦИИ

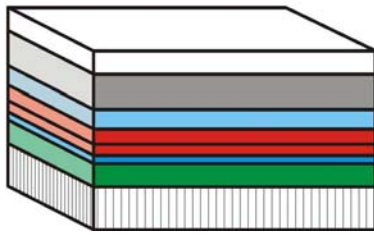
Сверхпроводники включены в национальные приоритеты Японии 10

Создана ассоциация IV SUPRA для рекламы и лоббирования ВТСП технологий 10

LANL, SuperPower

Шунт

ВТСП
30 нм SrTiO₃
20-30 нм MgO
10 нм IBAD-MgO
7 нм Y₂O₃
80 нм Al₂O₃
Хастеллой С-276



ORNL, AMSC

Шунт (Ag)

ВТСП
75 нм CeO₂
75 нм YSZ
75 нм Y₂O₃
Ni-5%W

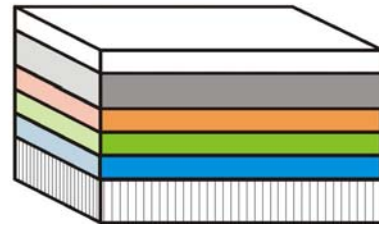


Рис. 1. Структура 2G СС в LANL и ORNL.

В LANL и ORNL продолжаются разработки по повышению критического тока в YBCO посредством внедрения в эпитаксиальную матрицу сверхпроводника центров пиннинга – нановключений BaZrO₃ и путём использования многослойных покрытий (YBCO/CeO₂/YBCO...). Первый подход позволяет улучшить критток в 1,5-5 раз в поле 1 Т, особенно хороший результат получен при Н//с (рис. 2). Заметим, что такое поведение неоднократно наблюдали еще в 90-х годах для включений Y₂O₃, которые также имели наноразмеры. Этот эффект сей-

час, похоже, «переоткрывают» в применении к 2G-технологии (рис. 3). Второй подход позволяет преодолеть падение токонесущей способности YBCO при увеличении толщины покрытия и достичь в многослойном проводнике фантастическую величину криттока: 1400 А на см ширины (см. 5 выпуск этого бюллетеня за 2005 г.). Похоже, в ближайшем будущем нас ждёт увлекательная погоня за высокими характеристиками слоя YBCO, в которой нановключения в матрице плёнки будут играть очень важную роль.

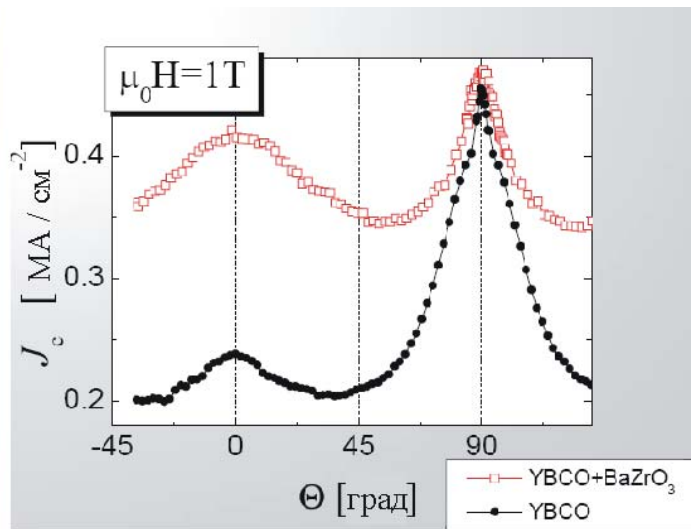
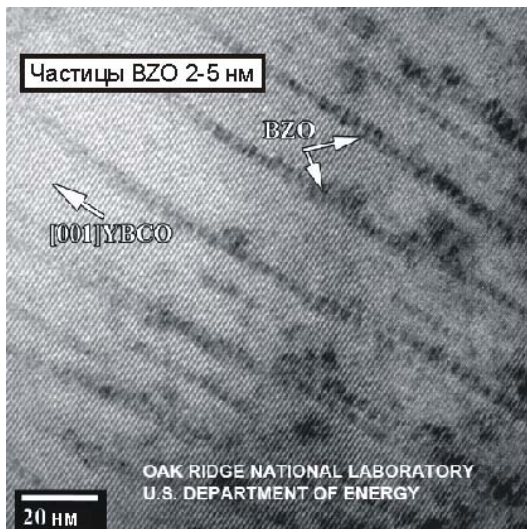


Рис. 2. Влияние нановключений BaZrO₃ в пленке YBCO на поведение критического тока в магнитном поле..

Усилиями ORNL и AMSC продолжается интенсивное развитие химического метода MOD в применении к производству 2G-ленты. Созданы проходные печи двухметровой длины, на которых продемонстрирована скорость процесса в 2 м/мин и больше. Следует отметить, однако, что за один „проход“ методом MOD можно нанести только относительно тонкое покрытие порядка 100 нм толщиной. Нерешённой проблемой до сих пор остаётся качество слоя CeO₂ (для коммерческого провода в AMSC наносят оксид церия физическим методом) и получение высококачественного MOD YBCO с толщиной более 0,1-0,3 мкм. Помимо этого, производственный процесс включает образование малоприятного побочного продукта (HF) и основан на использовании текстурированных подложек из сплавов никеля с 5 или 3 ат. % вольфрама, которые, как из-

вестно, являются ферромагнитными при 77 К. Тем не менее, вот уже несколько месяцев AMSC и SuperPower продают первые километры 2G-ленты собственного производства, и они первые в мире.

В Японии Sumitomo развивает собственную 2G технологию на структуре Ag (3-5 мкм)/HoBCO(1-4 мкм)/CeO₂(0.1 мкм)/YSZ(0.8 мкм)/CeO₂(0.15 мкм)/Ni-сплав. Используются методы rf-, dc-sputtering и PLD. Для уменьшения потерь на переменном токе в SRL разработана технология лазерного «разрезания» ВТСП на отдельные жилы шириной в 1 мм (в США для этого применяется фотолитографический способ). Показано, что потери при амплитуде переменного поля 1 Т сокращаются на треть величины. Дайджест остальных достижений японских исследователей можно найти в выпуске 2 этого бюллетеня за 2006 г.

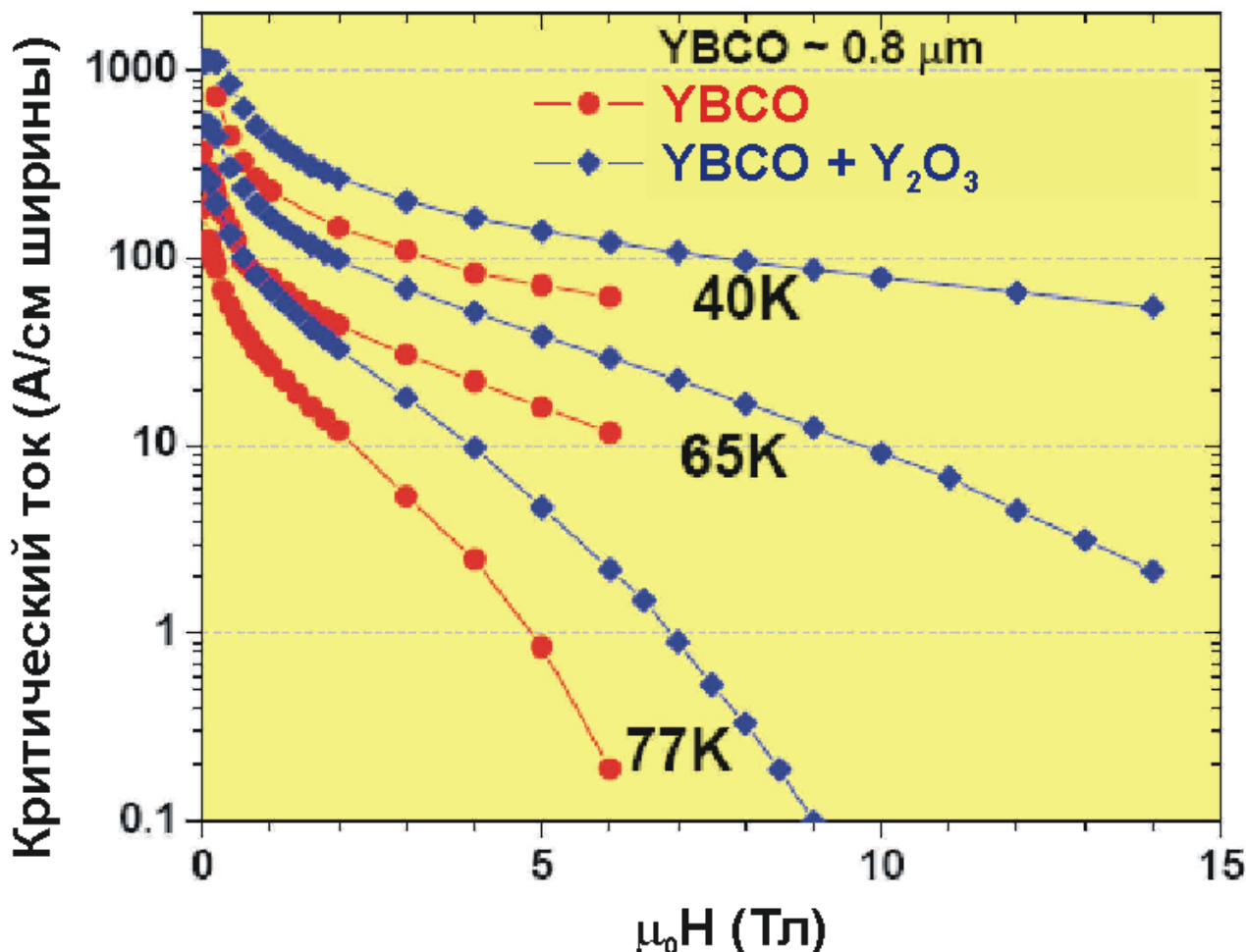


Рис. 3. Влияние нановключений Y_2O_3 в пленке YBCO на поведение критического тока в магнитном поле.

В Корее с 2004 года действует программа DAPAS (Dream of Applied Power Systems by Applied Superconductivity Technology), ставящая целью создание ВТСП кабеля, мотора, токоограничителя и трансформатора к 2011 году. Главным исполнителем является KERI (Korea Electrotechnology Research Institute), а объем финансирования проекта в текущем году только для KERI составляет 4,2 млн. долл. Для производства ленты используются технологии IBAD, PLD, sputtering, e-beam evaporation и другие. Как и в японском проекте, развитие более доступных технологий ведётся при этом параллельно другими организациями. Архитектура корейских буферных слоёв вплоть до деталей повторяет американские разработки, представленные на рис. 1. В качестве сверхпроводящего слоя у корейцев выступает SmBCO. Для лент на IBAD-подслое получены величины криттока более 200 А (на образцах сантиметровой длины). Конечной целью этого года является достижение 250 А на ленте стометровой длины. Удастся ли корейцам выполнить столь амбициозный план?

Представленные европейские усилия, как всегда, весьма разнородны и включают в себя по большей части уже известные разработки EHTS, Theva, Nexans и ряда университетских центров. Фактически, высокие токовые характеристики на европейских

лентах достигнуты лишь на «дорогих» лентах, полученных с применением высоковакуумных методов. Theva демонстрирует ленты длиной 10 м с криттоком 200 А на см ширины (ISD+evaporation). EHTS (European High Temperature Superconductors GmbH, Геттинген) в 2005 году продемонстрировала критток 235 А на см для лент сорокаметровой длины (IBAD+PLD), всего получено 4 таких образца. EHTS также продемонстрировала свои способности в приготовлении широких лент (5 см шириной и длиной 1 метр, критток 212 А на см ширины) и получила текстурированный подслоя на ленте длиной 106 м. Интересные результаты по увеличению критического тока были представлены группой из дрезденского Inst. Festkörper Werkstofforschung (IFW). Специальные условия прокатки и термообработки ленты из никеля, микролегированного серебром (0,01-0,05 ат. %) позволяют получить текстурированные ленты с удлиненным в направлении прокатки зерном, при этом отношение длины зерна к ширине достигает 3-6. Таким образом, количество малоугловых границ в сверхпроводнике вдоль ленты, т.е. в направлении протекания тока, уменьшается в 3-6 раз. Это приводит к значительному росту криттока в магнитном поле от 0 до 2 Тл (рис. 4).

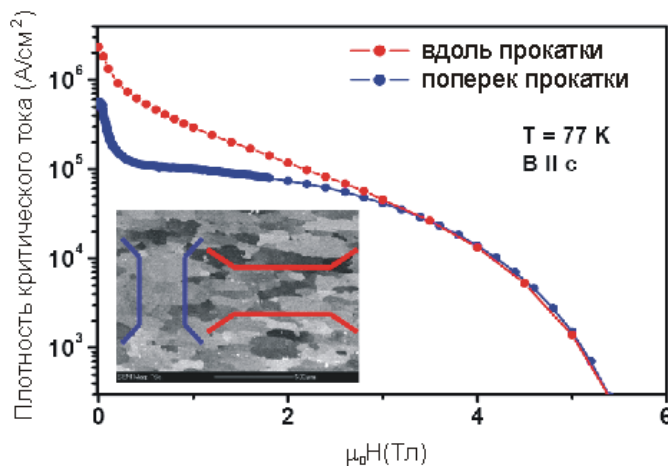
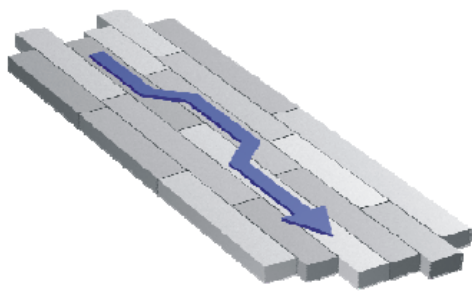


Рис. 4

Дополнительная информация в виде двухстраничных презентаций доступна на сайте конференции <http://www.cca2006.com/> (см. раздел Program).

С.Самойленков

Круглый ВТСП провод. Первые попытки

Для ряда применений весьма желательны ВТСП провода круглого сечения. Во-первых, они обеспечивают значительно более низкие потери на переменном токе, что важно для таких применений как высокопольные магниты, электродвигатели и генераторы. В настоящее время производятся ВТСП пленочные (2G CC) провода с сечением в виде тонкой пластины (thin-slab): традиционно толщина металлической ленты-подложки 72 мкм, буферного слоя - 1 мкм, сверхпроводящего слоя – менее 5 мкм, защитного покрытия – несколько десятков мкм. При ширине ленты 3-10 мм аспектное отношение (отношение ширины ленты к толщине) > 100 с учетом общей толщины ленты и > 1000, если учитывать только толщину сверхпроводящего слоя. Это приводит к высоким потерям на переменном токе. Круглые провода, имеющие аспектное отношение 1, решают эту проблему.

Во-вторых, круглые провода позволяют обойти и другое препятствие, связанное с проводами ленточного типа, - анизотропию, т.е. сильную зависимость критического тока от направления приложенного магнитного поля (ток максимален в поле, направленном вдоль поверхности ленты, и резко падает в поле, перпендикулярном поверхности ленты.). Круглые провода изотропны в радиальном направлении и потому перспективны для применений, в которых будут использоваться высокие магнитные поля.

Широко используемые в настоящее время технологии формирования пленочных ВТСП лент не позволяют изготавливать круглый провод. В RABiTS технологии для текстурирования используют операции прокатки. В IBAD (Ion Beam Assisted Deposition)

технологии для формирования хорошо текстурированного подслоя ионный пучок должен отклоняться на 5 градусов от угла каналирования, что достижимо только для плоских поверхностей. ISD (Inclined Substrate Deposition) технология имеет очевидные преимущества перед RABiTS и IBAD для создания ВТСП покрытий на цилиндрических поверхностях: не требует деформации подложки, сложных процессов отжига, относительно не зависит от качества поверхности и допускает использование искривленных поверхностей.

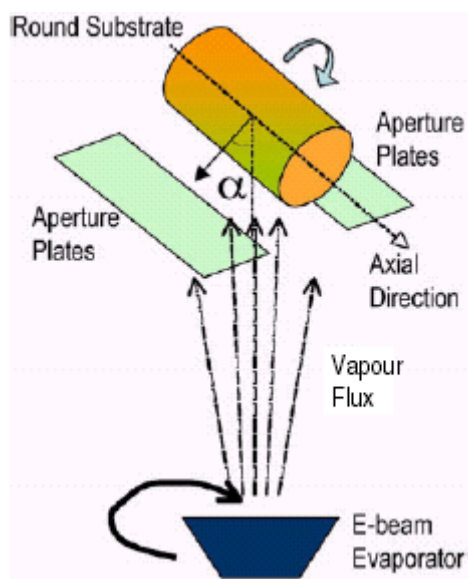


Рис. 1. Схема установки для осаждения буферного слоя на цилиндрическую подложку.

Попытки создать ВТСП провода круглого сечения предприняты в США в Argonne Nat. Lab. [1] и Oxford Instruments [2]. В Argonne Nat. Lab. использовали цилиндрическую подложку (диаметр 2,5 мм) из сплава хастеллоя, на которую электронно-лучевым методом осаждали хорошо текстурированный буферный слой MgO при вращении подложки, как показано на рис. 1. В контрольном образце на аналогичную, но плоскую подложку осаждали ВТСП

YBCO слой методом импульсного лазерного испарения (PLD), в котором получены токи $J_c = 1,62 \times 10^6$ А/см² и $I_c = 110$ А/см при 77 К в собственном поле.

В работе сотрудников Oxford Instruments изучали поведение Bi2212 проводов (1G) прямоугольного сечения с различным аспектным соотношением 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0 (см. рис. 2).

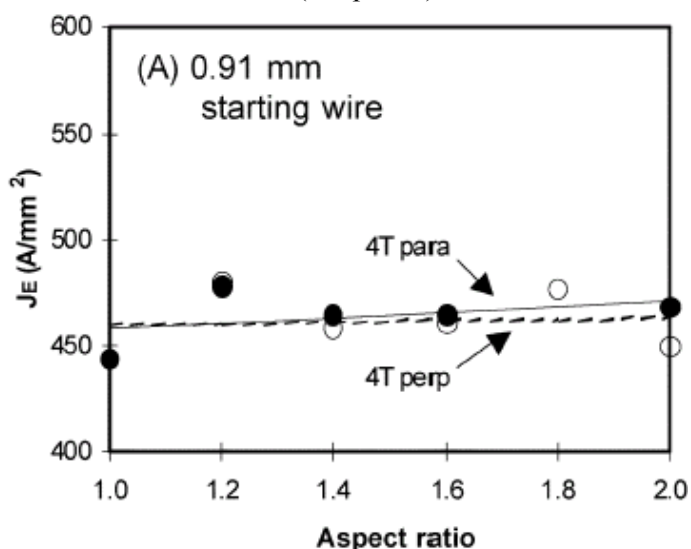


Рис. 2. Зависимость инженерного тока для проводов с начальным диаметром 0,91 мм от аспектного отношения для магнитного поля, параллельного и перпендикулярного оси провода.

1. *Supercond. Sci. Techn.* 2006, **19**, 407
2. *IEEE Tr. Appl. Supercond.* 2006, **16**, 992

ПОЗИЦИЯ

Зачем нужны 3G?

Проф. В.Е. Кейлин, известный разработчик сверхпроводниковых магнитных систем, в своих выступлениях неоднократно заявлял о необходимости приступить к разработке ВТСП проводников «3-го поколения» (в уже принятой терминологии, 3G), имея в виду проводники круглого сечения. Ниже Виктор Ефимович комментирует это предложение.

Почему разработчиков ВТСП устройств не вполне устраивают проводники ленточного типа?

КВЕ. Возьмем для примера магниты и устройства на их основе (электродвигатели, генераторы, трансформаторы, накопители). Магниты делают самые разные - маленькие, большие и очень большие. Не вдаваясь в физическое обоснование, скажу, что, чем больше магнит, тем большего сечения проводник требуется для его изготовления. Если в качестве образца для сопоставления взять низкотемпературные сверхпроводники, то они выпускаются с очень большим разнообразием конфигураций, основой которых является единичный провод. Это, как правило, круглая проволока диаметром около 1 мм, из которой затем и делается большое многообразие конфигураций, которое мы называем токнесущий элемент – ТНЭ, или сверхпроводящий кабель (также английский термин –

composite conductor). Примеры разного рода используемых токнесущих элементов представлены на рисунке.



Слева на рисунке - проводник NbTi, из которого сделан токамак T-7 (реально самого сверхпроводника здесь всего несколько процентов), третий слева проводник – на основе Nb₃Sn для токамака T-15 (он состоит из скрутки 11 проводов диаметром 1,5 мм). Возможны и другие варианты скрутки прямоугольного (почти ленточного) сечения, известные под названием резерфордовского кабеля (к слову, он так назван не в честь ученого, а в честь лаборатории его имени, где эта конструкция была предложена). Все поворотные магниты Большого адронного коллайдера (LHC), строительство которого завершается, сделаны из резерфордовского кабеля. На основе такого же резерфордовского кабеля, заключенного внутри массивной алюминиевой матрицы, сделаны магниты детекторов ATLAS на том же адронном коллайдере. Другая широко распространенная разновидность проводников, кабель-в-оболочке (английский термин CIC – cable-in-conduit), служит, например, для изготовления магнитов для токамаков – китайского (EAST), корейского (KSTAR), индийского (SST-1) и международного термоядерного реактора по проекту ITER.

Перечисленные примеры не исчерпывают все разновидности НТСП проводников, используемых для создания магнитов различного назначения (в том числе и для накопителей). Если внимательно посмотреть, то во всех этих ТНЭ соблюден принцип полной транспозиции, т.е. повторяемости рисунка скрутки с определенным периодом, что необходимо для снижения потерь и повышения стабильности магнитов на основе НТСП. Принципиально все это нужно и для ВТСП магнитов, хотя в ВТСП магнитах острота проблемы потерь и стабильности заметно меньше, в частности, потому, что при азотных температурах теплоемкость всех материалов на несколько порядков больше, чем при гелиевых, и поэтому возможность поглощения тепла, связанного с потерями, и устойчивость гораздо выше. Это – в пользу ВТСП. Но все равно для больших магнитов нужны проводники большого поперечного сечения, которые понятно, как делать из проводников круглого сечения и совершенно не понятно, как делать из ленточных проводников.

А не спасут ли положение многослойки – «ВСП-буфер-ВТСП-буфер...»?

КВЕ. Нет. В многослойке нет того, что называется транспонированием, нет трансляционной симметрии. Поэтому многослойка – не идеальна, особенно с точки зрения потерь, так важных в электротехнических устройствах, например, в трансформаторах. В трансформаторах важны, с одной стороны, низкие потери, а, с другой стороны, равномерное распределение тока по отдельным элементам проводника, по отдельным проволочкам или лентам. Многослойка не выдерживает критики с обеих точек зрения.

Пока не ясно, как перейти от ленточек даже к самому простому композитному транспонированному проводнику. Возьмем трансформатор. Если он понижающий или повышающий, то ток в одной обмотке должен быть в несколько раз большим, чем в другой. Поэтому нужно использовать n -лент, где n – коэффициент трансформации. Для того, чтобы потери были разумными, эти ленты должны быть транспонированы, но как их транспонировать, сие не ясно (пока это слабое место ВТСП). Оговорюсь, что в имеющихся прототипах трансформаторов все же используют некие методы транспозиции нескольких ВТСП лент, соединенных параллельно.

В электромашинах тоже нужны приличные поля, конечно, не 10 Тл. В обычных (не сверхпроводниковых) электродвигателях и генераторах достигается максимальное поле 1,5 Тл, которое обеспечивает сталь. Использование ВТСП проводов может при-

Но во ВНИИКП делают скрутку, не разрушающую сверхпроводящих свойств (см. фото)?



Да, это так. И это – большой успех российских разработчиков, с которым готов их искренне поздравить. Но все, что мы говорили выше, относится к ВТСП проводникам для устройств, требующих работы в магнитном поле. Другое дело – силовые ВТСП кабели – это, пожалуй, единственное исключение, к которому не относится все вышесказанное. Для применений в силовых ВТСП кабелях скрутка делается на большом радиусе и несколько параллельных ВТСП проводов можно в эту спираль завить. Кроме того, в таких кабелях чрезвычайно благоприятная конфигурация собственного магнитного поля – параллельно поверхности ВТСП лент. Влияние поля на токонесущую способность при этом гораздо меньше. Правда, здесь есть другие трудности, не относящиеся к сверхпроводникам, но еще требующие решения. Они относятся к охлаждению весьма протяженных объектов (до

вести к уменьшению количества электротехнической стали и, как следствие, увеличению магнитных полей (до 2,5-3 Тл и выше). Но при азотной температуре в поле 1Тл ток в ВТСП падает втрое.

В публикациях подчеркивается также исключение в круглых проводниках проблем, связанных с анизотропией тока в магнитном поле?

КВЕ. Само собой ясно, что в круглых проводниках анизотропии вообще не может быть. Но в сегодняшней ситуации, когда ВТСП проводники даже 2-го поколения можно использовать в высоких магнитных полях пока только при пониженных температурах (скажем, 35 К), проблема анизотропии не существенна. Как показали ученые American Superconductor, при 35 К величина анизотропии вполне приемлема для большинства применений.

Таким образом ВТСП ленты 1-го и 2-го поколения должны пройти еще очень длинный путь, прежде чем они станут похожими на ТНЭ, из которых мы привыкли изготавливать электротехнические устройства действительно высокого уровня. Во всяком случае, нужно будет решить проблемы изготовления скрутки, деформирующей ВТСП провод и вносящий вредные для сверхпроводящих свойств дефекты. Нужно решить технологические проблемы предварительного изготовления ТНЭ необходимой конфигурации и лишь последующего формирования ВТСП слоя. Нет сомнения, что разработчики ВТСП лент 1-го и 2-го поколения осознают эти проблемы и найдут их решение.

Но во ВНИИКП делают скрутку, не разрушающую сверхпроводящих свойств (см. фото)?

десятков км). То, что делается сейчас, это куски линии протяженностью до 600м.

Сравнительная стоимость ВТСП и НТСП проводников

ВТСП проводники

Действующая цена, Bi-2223

200 долл./кА·м для 0 Тл, 77 К

150 долл./кА·м для 25 Тл, 4 К

MgB₂ - 10 долл./кА·м для 2 Тл, 20 К

Цель, Bi-2223 - 30-50 долл./кА·м для 0 Тл, 77 К

НТСП проводники

NbTi - 4-6 долл./кА·м для 8 Тл, 4 К

Nb₃Sn - 15-30 долл./кА·м для 12 Тл, 4 К

> 50 долл./кА·м для 21 Тл, 2 К

http://orchidea.imem.cnr.it/SchoolHarjattula/lectures/Martini_lecture2.pdf

ЗАРУБЕЖНЫЕ ФИРМЫ

HTS-110 (H-T-S- one-ten), Новая Зеландия

HTS-110 Ltd

69 Gracefield Road, PO Box 31-310

Lower Hutt, New Zealand

Компания учреждена в апреле 2004 г. тремя основными пайщиками:

- Industrial Research Ltd – Государственный исследовательский институт Новой Зеландии, проводящий исследования и разработки по перспективным технологиям (www.irl.cri.nz);
- Endeavour Capital Ltd – лидирующая новозеландская инвестиционная компания, финансирующая научные исследования и новые технологии (www.ecap.co.nz);
- American Superconductor Corporation (AMSC) – компания США, известный в мире производитель и поставщик ВТСП проводников (www.amsuper.com).

Основой для создания компании послужили результаты исследований и разработок, полученные в рамках 15-летней новозеландской государственной ВТСП программы.

HTS-110 производит магниты, токовводы и катушки на основе ВТСП проводников 1-го и 2-го поколения и поставляет их потребителям в США, Японии, Германии и Ю.Корее.

ВТСП изделия компании HTS-110

1. ВТСП магнит 1Тл при температуре жидкого гелия

Заказчик - Quantum Design, США

Сроки поставки – 2 месяца от размещения заказа до отгрузки потребителю

Спецификация:

- Вес – 55 кг
- Скорость выхода на режим (Rapid ramping) - 1Тл за 30 секунд
- Температура – 77 К
- Длина используемой ВТСП ленты - 500 м

Магнит будет использован в измерительной установке для исследования поведения материалов в магнитных полях.

2. Токовводы, торговая марка CryoSaver™ (производство)



HTS-110 выпускает семейство токовводов на диапазон токов от 100 до 10000 А на основе многожильных ВТСП проводов компании American

Superconductor. Токовводы поставляются в стеклопластиковой упаковке, прочны, стабильны, выдерживают многократные термоциклирования и длительное хранение при комнатной температуре.

3. ВТСП катушки (производство)



- Галетного типа («racsake»), одинарные и двойные с внешним диаметром 600 мм
- Рейстрекового («racetrack») типа, одинарные и двойные длиной 600 мм
- Соленоиды из упаковки галетного типа с внешним диаметром 600 мм
- Соленоиды, намотанные из лент длиной 600 мм

- ВТСП катушки (в разработке): большие катушки с внешним диаметром до 2 м; катушки седлообразного типа («saddle») 300 мм x 300 мм в седле

Катушки изготавливаются как из BSCCO 2223, так и из лент второго поколения (2G) – YBaCuO.

4. Магнитные системы компании HTS-110: соленоиды на поля до 8 Тл; соленоиды в комплекте с криокулерами; гибридные ВТСП–железо магнитные системы.

В настоящее время HTS-110 изготавливает ВТСП электромагнит для магнитометра вибрационного типа, в котором

- минимизированы паразитные магнитные поля;
- магнитное поле свыше 3,5 Тл в зазоре 50 мм;
- охлаждение криокулером.



ВТСП магнит на 3,5 Тл

5. Текущие проекты компании HTS-110 (включают моделирование и проектирование, изготовление, установку и сервисное обслуживание):

- ВТСП магнит для электромагнитного траления морских мин.;
- ВТСП высокоскоростной генератор (компактный, легкий с высокой выходной мощностью, связанный непосредственно с газовой турбиной без использования редуктора);
- ВТСП компактный магнит для исследований материалов в магнитном поле методом рентгеновской дифракции;

- ВТСП 5 Тл магниты (рабочая температура 20 К) для оптических и нейтронных экспериментов.



Компактный генератор, разработанный HTS-110 в партнерстве с Long Electromagnetics Inc. (США)

HTS-110 участвует в качестве партнера в следующих разработках:

- магнитная сепарация промышленных отходов в различных промышленных секторах;
- ВТСП ЯМР томография.

«Хотя HTS-110 - малоизвестная компания, мы планируем получить доход до 100 млн. долл. в ближайшие 5 лет, а с 2011 года – до 50 млн. долл. ежегодно», - заявил исполнительный директор HTS-110 Dr. Sohail Choudhry. Он видит будущую продукцию компании в энергетическом, медицинском и исследовательском секторах.

Для стартовой поддержки молодой инновационной компании, ведущей рискованные разработки в области новейших технологий, правительство Новой Зеландии выделило 60 млн. долл. через свой инвестиционный фонд Venture Investment Fund (VIF), управляемый компанией Endeavour Capital. Компания получила 2 млн. долл. и получит еще 1 млн. долл. в течение следующих 2-х лет в качестве гранта как наиболее успешная стартовая компания 2005 года.

За 2 года работы компания HTS-110 разработала и поставила продукцию потребителям из США, Японии, Тайваня и Ю.Кореи. В начале 2006 года HTS-110 вступила в партнерские отношения с основанной в США компанией Progression Inc, которая будет находить покупателей для продукции HTS-110.

За 2 года штат компании вырос от начальных 3 сотрудников до 10, а ежегодный доход увеличился до 1,7 млн. долл. В течение ближайших 5 лет компания планирует расширить штат до 50 сотрудников, достигнув годового дохода 70 млн. долл.

Пример HTS-110 может стать заразительным и для других новозеландских компаний, например, для Canterbury TX, которая проводит исследования и разработки ВТСП трансформаторов. Получив карт-бланш от правительства, HTS-110 начала разработки, связанные с созданием инфраструктуры для расширения исследований и применений ВТСП технологий в области энергетики и медицины в Новой Зеландии. Эти работы координируются экономиче-

ским агентством - Positively Wellington Business (PWB).

Контакты:

Исполнительный директор Sohail Choudhry

Email s.choudhry@hts-110.com

Глава технологического отдела Donald Pooke

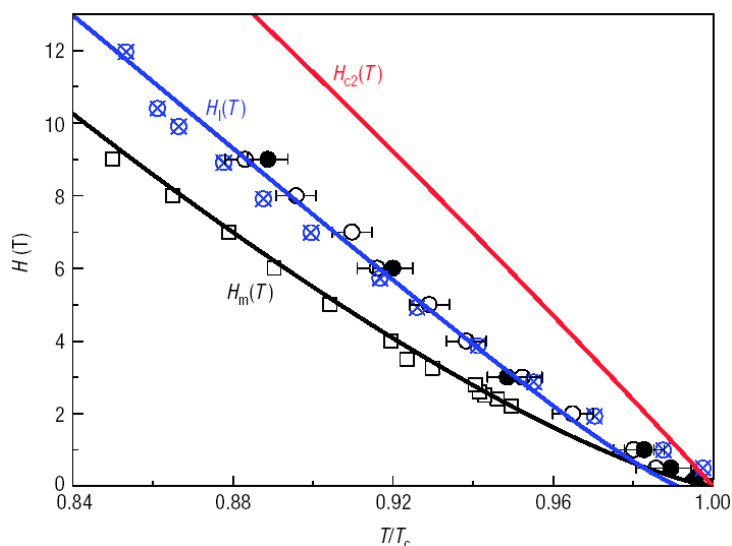
d.pooke@hts-110.com

По материалам сайта <http://www.hts-110.com>

Справка. Первые публикации ученых Новой Зеландии, посвященные ВТСП исследованиям, появились в 1987 году. На сегодня в их активе – более 200 публикаций. Авторы большинства (161 публикация) из них – сотрудники государственной компании Industrial Research Ltd, одного из основателей HTS-110. К слову, руководитель технологического отдела компании HTS-110 д-р Donald Pooke имеет 28 публикаций как по фундаментальным, так и по прикладным аспектам ВТСП исследований. Другие научные организации в Новой Зеландии, ведущие ВТСП исследования (в скобках число публикаций с 1987 по 2006 г.г.): Auckland Univ.(20); Inst. Geological and Nuclear Sci., Ловер Хатт (1); Otago Univ., Данидин (1); Massey Univ., Пальмерстоун (3); Rutherford Inst., Ловер Хатт (11); Victoria Univ., Веллингтон (42); Victoria Univ., Ловер Хатт (7).

Информация получена из Базы данных “Сверхпроводники” (Web <http://perst.issph.kiae.ru>)

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ Верхний предел линии необратимости в Y-123



Магнитное поле проникает в сверхпроводники в форме вихрей, образующих абрикосовскую вихревую решетку. В ВТСП при $H = H_m < H_{c2}$ эта решетка плавится, в результате чего формируется состояние вихревой жидкости. Чтобы избежать диссипации энергии при наличии транспортного тока каждый вихрь должен быть закреплен на центре пиннинга. Здесь наиболее эффективны линейные и плоские дефекты. Увеличение числа дефектов позволяет сдвинуть линию $H_m(T)$ на фазовой диа-

грамме в область более высоких H и T . Однако до сих пор ничего не было известно о том, есть ли пределы у такой сдвигки. В совместной работе [1] сотрудников Inst. Sci. Materials Barcelona (Испания), Argonne Natn. Lab., Western Michigan Univ. (США) и Tel Aviv Univ. (Израиль) установлено, что существует универсальное поле H_i , такое что $H_i(T) < H_m(T) < H_{c2}(T)$, при котором термодинамические флуктуации параметра порядка приводят к отрыву вихрей от протяженных центров пиннинга. Это поле, таким образом, представляет собой верхнюю границу поля необратимости $H_{in}(T)$, при котором начинается диссипация. Фазовая диаграмма, полу-

ченная при исследовании монокристаллов $YBa_2Cu_3O_7$, содержащих плоские (двойники) и линейные (дислокации и ионные треки) дефекты, изображена на рисунке. Полученные результаты важны для понимания “пределов применимости” ВТСП в сильноточных устройствах. Как видно из рисунка, $H_i \approx 12$ Тл при $T = 77$ К. Такие же ограничения на поле необратимости должны, по-видимому, иметь место и для других систем ВТСП.

Л. Оленов

1. *J.Figueras et al., Nature Phys. 2006, 2, 402*

ВТСП УСТРОЙСТВА

Сегодняшние проекты НТСП и ВТСП электромашин

| Разработчик | Мощность | Число полюсов | Скорость вращения, об./мин | Проводник | Способ охлаждения | Ток в поле | Магнитное поле |
|--|--------------------------|---------------|----------------------------|-------------------------|--|-----------------------------|----------------|
| Super-GM, Япония генератор | 70 МВт | 2 | 3600 | NbTi | Жидкий гелий, 4 К | 3 кА | 5 Тл |
| General Atomics, США электродвигатель | 36,5 МВт | униполярный | 120 | NbTi | Униполярный двигатель для ВМС США | | |
| Rockwell электродвигатель | 1600 л.с. (1200 кВт) | 4 | 1800 | Bi-2223 лента | | | |
| American Superconductors, США электродвигатель | 1000 л.с. (740 кВт) | 4 | 1800 | Bi-2223 лента | Жидкий неон, 33 К | 134 А | 1,5 Тл |
| | 5000 л.с. (3,7 МВт) | 4 | 1800 | Bi-2223 лента | Жидкий неон, 35 К | 156 А | 2,3 Тл |
| | в перспективе - 5 МВт | | 230 | Bi-2223 лента | Двигатель для ВМС США | | |
| | в перспективе - 36,5 МВт | | 120 | Bi-2223 лента | | | |
| General Electric, США генератор | 1,5 МВт | | | Bi-2223 лента | 20-40 К | 110 А | |
| | в перспективе - 100 МВт | | | Bi-2223 лента | Генератор для электростанции (2008 г.) | | |
| KERI*, Ю.Корея электродвигатель | 100 л.с. (74 кВт) | 4 | | Bi-2223 лента | Жидкий неон, 33 К | 100 А | |
| Siemens, Германия генератор | 400 кВт | 4 | 1500 | Bi-2223 лента | Жидкий неон, 30 К | 49 А | |
| | в перспективе - 4 МВт | 2 | 3600 | Bi-2223 лента | Жидкий неон, 30 К | Генератор для морских судов | |
| МАИ, Россия электродвигатель | 100 кВт | 2 | 3000 | YBCO массивные элементы | Жидкий азот, 77-80 К | - | 1 Тл |

*KERI - Korea Electrotechnology Research Institute

http://orchidea.imem.cnr.it/SchoolHarjattula/lectures/Martini_lecture2.pdf

ПОЛИТИКА И ИННОВАЦИИ

Сверхпроводники включены в национальные приоритеты Японии

Министерство экономики, торговли и промышленности Японии (METI) в 2001 году утвердило перечень приоритетных технологий, Technology Strategy Map (аналогично критическим технологиям РФ), включившим следующие 20 позиций:

В области телекоммуникаций

1. Полупроводники
2. Запоминающие устройства и non-volatile память
3. Компьютеры
4. Сети
5. Устройства отображения
6. Компьютерные программы

В области живых систем

1. Новые лекарства
2. Диагностические и медицинские приборы
3. Регенеративная медицина

В области экологии

1. Экология и энергетика (воздействие CO₂ на экологию)
2. Экология (защита от хлора и фторсодержащих углеводов)
3. Современный менеджмент в химической промышленности

В области промышленного производства

1. Робототехника
2. Авиационная промышленность
3. Космос
4. Нанотехнологии
5. Электронные компоненты
6. Микроэлектромеханические устройства
7. Биотехнология

В апреле 2006 г. к этим национальным приоритетам добавлены еще 4:

1. Энергетика
2. Сверхпроводниковые технологии
3. Средства борьбы с раковыми заболеваниями
4. Улучшение качества жизни людей

Для формулировки приоритетов внутри интересующей нас позиции “Сверхпроводниковые технологии” были приглашены 27 специалистов от промышленности и академических организаций. Экспертный совет возглавил проф. Osami Tsukamoto (Yokagami National

University). Сверхпроводниковые технологии были разделены на 4 различных области применений:

- Электроэнергетика
- Медицина
- Транспорт
- Телекоммуникации

Официальный документ, отражающий намеченные Экспертным советом приоритеты, будет опубликован в ближайшее время.

Superconductivity Web21, Summer 2006 - <http://www.istec.or.jp/Web21/index-E.html>

Создана ассоциация IV SUPRA для рекламы и лоббирования ВТСП технологий

В апреле 2006 г. восемь ведущих европейских фирм-производителей сверхпроводящих материалов и компонентов учредили промышленную ассоциацию [IV SUPRA](#), цель которой – информировать общественность и оказывать воздействие на Правительство Германии в поддержку сверхпроводниковых технологий. Ассоциация надеется таким образом создать подходящую основу для продвижения сверхпроводниковых разработок. Вице-президент и исполнительный директор Nexan Superconductor Dr. Joachim Vock утверждает, что сверхпроводниковые технологии необходимо лоббировать, чтобы получить государственную финансовую поддержку для их продвижения в энергетический сектор, в котором они особенно эффективны.

Члены-учредители ассоциации [IV SUPRA](#):

1. Adelwitz Technologiezentrum GmbH (ATZ), Adelwitz
2. Bruker BioSpin GmbH, Karlsruhe
3. ERT Refrigeration Technology, Hamburg
4. European High Temperature Superconductors GmbH & CO KG, Hanau
5. Evico GmbH, Dresden
6. Nexans SuperConductors GmbH, Hurth
7. THEVA Dunnschichttechnik, Ismaning
8. Trithor GmbH, Rheinbach

Первым президентом Ассоциации будет Dr. Werner Prusseit (THEVA)

IV SUPRA press release 31 May 2006
<http://www.ivsupra.de/> (сайт на немецком языке)

Издатель РНЦ «Курчатовский институт»

(при поддержке Фонда «Научный потенциал» и «НТЦ Электроэнергетики»)

Научный редактор *Н.А. Черноплеков*, член-корр. РАН,

научный руководитель ИСФТТ РНЦ «Курчатовский институт»

Редакторы *В.С. Высоцкий* vysotsky@gmail.com, *С.С. Иванов* ssi@iht.mpei.ac.ru

В подготовке выпуска принимали участие: *С. Корецкая* stk@issp.ras.ru;
А. Чернышева chak@newmail.ru; *Ю. Метлин*, *Л. Опенов*, *С. Самойленков*

Верстка *И. Фурлетова*

Ответственный за тираж *Н. Морозова*