

ПОВЫШЕНИЕ градуса холода в пользу ЭНЕРГЕТИКИ



Более века назад, в 1908 году, голландскому физику Хейке Камерлингу-Оннесу удалось сконденсировать жидкий гелий — легкую (в восемь раз легче воды) прозрачную жидкость, кипящую при температуре -269°C , что на долгие годы определило вектор развития криогеники — физики сверхнизких температур. Тремя годами позднее, в ходе криогенных экспериментов по определению электросопротивления ртути, он открыл явление сверхпроводимости. Об особенностях и перспективах высокотемпературной сверхпроводимости мы беседуем с Сергеем Викторовичем Шавкиным

С

верхпроводимость сегодня большей частью остается полем деятельности ученых и медицины, широко использующей сверхпроводниковые магнитно-резонансные томографы, а в промышленности она представлена довольно скромно. Сравнительно недавно открытая так называемая высокотемпературная сверхпроводимость вполне может совершить то, чего не удалось ее низкотемпературной «сестре», — прорыв в энергетике.

Неожиданное открытие

Рассмотрим явление высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП). Термин «высокотемпературная» не должен вводить в заблуждение, поскольку высокотемпературная она только по отношению к традиционным сверхпроводникам, для которых привычны сверхнизкие «гелиевые» температуры.

Феномен сверхпроводимости, открытый более века назад, уже тогда представлялся очень перспективным для практического использования. Но, как ни странно, активно применяться сверхпроводимость стала только спустя 50 лет, сразу после создания так называемых технических сверхпроводников на основе ниобий-титана и ни-

Сверхпроводимость материалов — это сложное квантовое явление, но очевиднее всего оно проявляется как полная потеря сопротивления провода протекающему через него постоянному току. Проводимость фактически равна бесконечности, однако только до определенного момента, когда какие-то факторы не нарушают эту сверхпроводимость: например, слишком большой ток, слишком высокая температура, слишком сильное магнитное поле, если они превышают заложенные природой пределы — «критические» значения. Если вы не превышаете этих критических значений, то, например, можно создать электромагнит, обмотка которого не греется. Этот магнит может работать в криостате в любой лаборатории, и при этом вся система

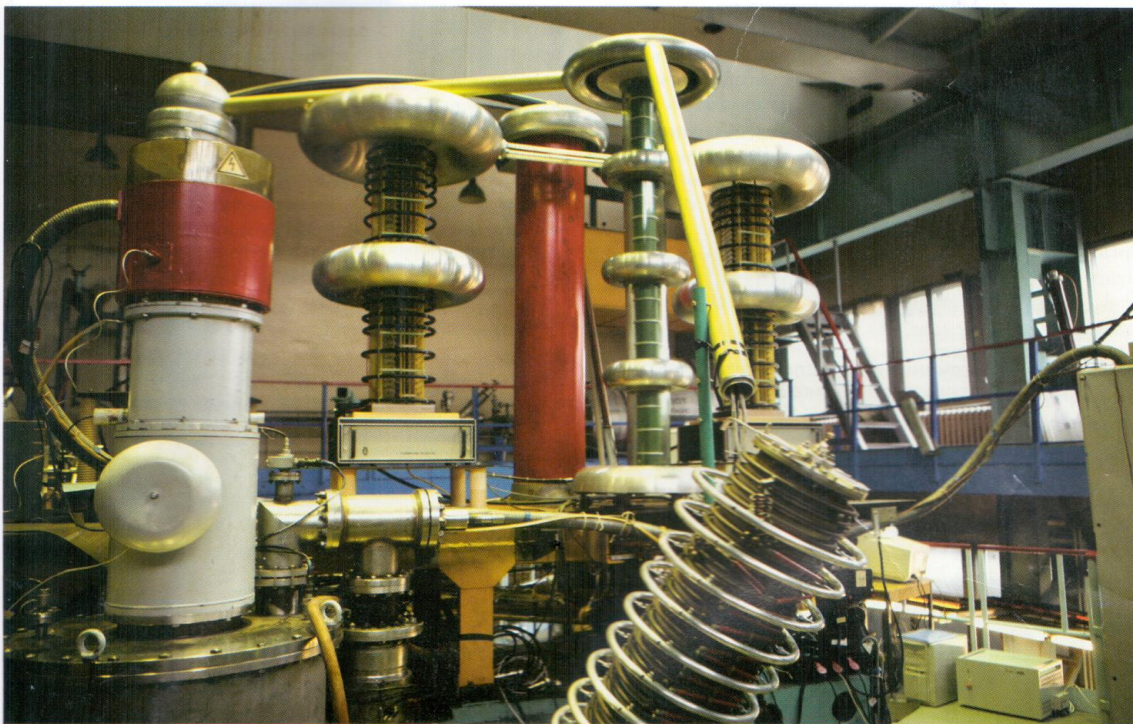
потребляет минимальную энергию (фактически только на компенсацию теплопритока в криостат и нагрев несверхпроводящих тоководов). Это был прорыв, т.к. сильные электромагниты с медными обмотками требовали десятков мегаватт мощности и огромного потока охлаждающей воды.

Низкотемпературная сверхпроводимость работает в диапазоне температур, которые может обе-

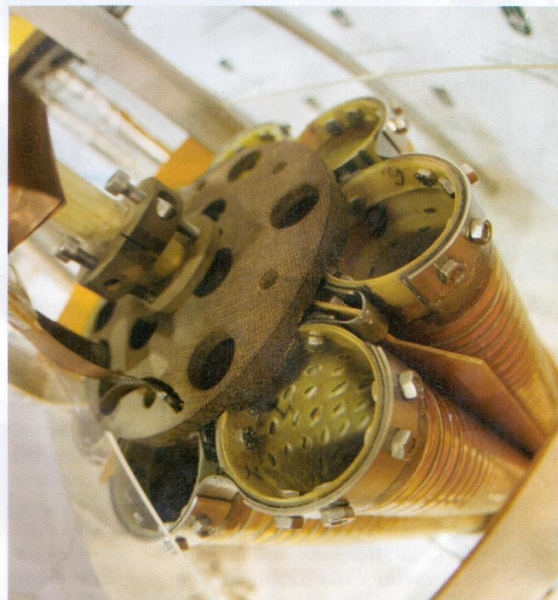
Созданный в 1988 г. в Курчатовском институте первый в мире «Токамак-15» на ниобий-оловянных сверхпроводниках был первым и крайне важным шагом к созданию термоядерных электростанций

обий-олова, позволяющих делать провода с высокими свойствами. До этого момента ученые пытались понять физику этого явления, построить теории, накопить экспериментальную базу, определить, на что вообще способны эти материалы. В нашей стране исследования по прикладной сверхпроводимости начали активно развиваться в середине 1960-х гг. Их инициатором и организатором был Курчатовский институт, который совместно с ВНИИ неорганических материалов им. академика А.А. Бочвара разработал целый ряд низкотемпературных сверхпроводников на основе различных сплавов и соединений.

еспечить жидкий гелий, — от 2 К и фактически до критической температуры сверхпроводника (рекорд для интерметаллических соединений был достигнут еще в 1973г. для соединения ниобий-германий и составлял 23,3 К). Тогда казалось, что это очень много. В разных странах, в том числе в СССР, было создано производство проводов из ниобий-титана и ниобий-олова, построены первые крупные устройства на основе низкотемпературных сверхпроводников — исследовательские магниты сверхсильного поля и магнитные системы установок термоядерного управляемого синтеза

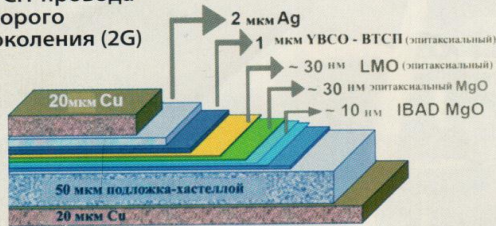


«Токамак-7» и «Токамак-15» в Курчатковском институте, образцы сверхпроводниковых электрогенераторов, магнитных сепараторов, ускорители заряженных частиц, запущено производство сверхпроводниковых медицинских томографов. Кстати, созданный в 1988 г. в Курчатковском институте первый в мире «Токамак-15» на ниобий-оловянных сверхпроводниках был первым и крайне важным шагом к созданию термоядерных электростанций и заложил основы развития международного проекта *ITER*, инициированного Е.П. Велиховым. В те годы многие ученые-теоретики считали, что предел роста критической температуры уже достигнут. Но в 1986 г. двум ученым, швейцарцу Карлу Алексу Мюллеру и немцу Йоханнесу Георгу Беднорцу, которые работали в исследовательской лаборатории *IBM* в Цюрихе над исследованием свойств перовскитных соединений, пришлось в голову, что в этой керамике можно ожидать роста сверхпроводимости. Неожиданно им удалось обнаружить сверхпроводящий переход в слоистых купратах лантан-бариевой керамики при температуре 35 К (-238° С), т.е. на 12 К выше, чем температура сверхпроводимости, достигнутая когда-либо ранее. За эту работу им уже на следующий год была присуждена Нобелевская премия. Это был прорыв, поскольку в течение нескольких последующих лет удалось поднять температуру использования сверхпроводников гораздо выше, чем у большинства известных сжиженных газов (водорода, неона, кислорода, дешевого жидкого азота), и тем

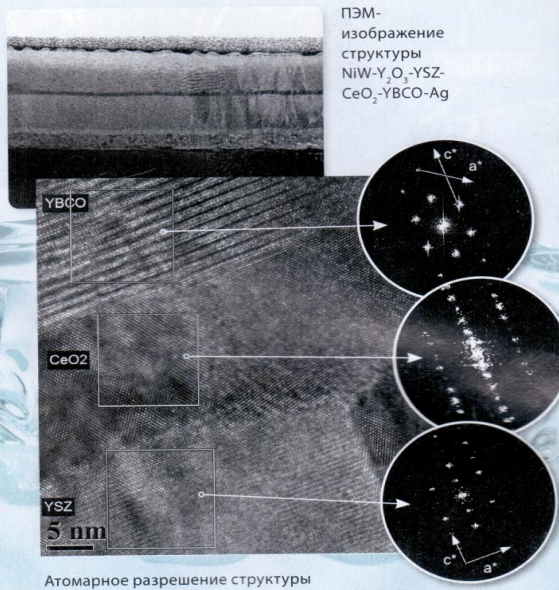


Сверхпроводниковый ограничитель токов короткого замыкания (СОТ) — одно из наиболее важных и безальтернативных применений ВТСП в электроэнергетике

Ленточные ВТСП-провода второго поколения (2G)



Поперечное сечение многослойного ленточного сверхпроводника ВТСП-2



Основные технологии изготовления

RABITS + PLD: высокотекстурированная лента-подложка + напыление буферных и ВТСП-слоев методом лазерного напыления (физический метод).

RABITS + MOCVD: высокотекстурированная лента-подложка + осаждение буферных слоев и слоя ВТСП из паров соответствующих веществ (химический метод).

IBAD + PLD: ленточная подложка из сплава типа хастеллой + напыление буферных слоев с помощью вспомогательного ионного пучка + лазерное напыление ВТСП-слоя.

Главная трудность получения — создание качественной структуры металлической ленты и буферных слоев (острая текстура, шероховатость поверхности 3–5 нм).



Комплекс «Нанофаб-100» в чистой технологической зоне Курчатова комплекса НБИКС-технологий

Задел КИ в области материаловедения, разработки технологий и создания устройств из низкотемпературных и высокотемпературных сверхпроводников.

Уникальная приборная база, позволяющая создавать и проводить комплексное исследование структуры и свойств ВТСП-покрытий с использованием различных типов подложек и архитектур буферных слоев.

Подготовка кадров высшей квалификации в сотрудничестве с ведущими вузами: МГУ, МФТИ, МИФИ.

самым уйти от «монополии» дорогостоящего жидкого гелия. С 1986 по 1988 г. очень быстро удалось открыть и исследовать соединения с температурой сверхпроводящего перехода, превышающей 120 К. фактически тогда были открыты все известные в настоящий момент высокотемпературные керамические сверхпроводники — на основе иттрия, висмута, таллия, ртути и других веществ. Общее, что объединяет сверхпроводники этого класса, — это слоистая перовскитоподобная структура: окись редкоземельных элементов, перемежающаяся окисью меди. Конечно, в конце 1980-х гг. у всей научной общественности была просто эйфория. Россияне могут гордиться, потому что рекордное значение критической температуры (135 К) принадлежит соединению $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8+x}$, открытому в 1993 г. С.Н. Путиным и Е.В. Антиповым из МГУ.

Во всем мире, и в СССР в том числе (в Курчатова институте, в МГУ, МИФИ, академических институтах), в конце 1980-х гг. начались активные работы по высокотемпературным сверхпроводникам. Они казались настолько легко получаемыми и простыми в использовании, что все были уверены — вот-вот произойдет технологический взрыв.

Разница температур

Если вы выйдете сейчас на улицу, то не увидите высокотемпературной сверхпроводимости на каждом шагу — она до сих пор не получила такого распространения, которого заслуживает. Почему так? Давайте разберемся.

Первая задача, которая была поставлена практиками перед учеными и технологами, — это получить всего 1 м сверхпроводящего провода. Сам провод сделать

было легко, только токонесущая способность у него была совершенно неприемлемой при наложении даже слабого магнитного поля. Но на этом этапе возникли и другие технологические задачи, которые решались, лет десять. Керамические сверхпроводники хрупкие, и просто так сделать провода, которые можно наматывать и использовать как обычные медные в устройствах любого уровня, очень тяжело. При сгибании провода он трескается, разламывается и все свойства теряются. Хрупкость — это первый недостаток. Второй — все свои уникальные свойства, а именно способность переносить сильный ток без сопротивления, эти материалы приобретают только при почти идеальной кристаллической структуре с минимальной взаимной разориентацией соседних зерен, т.е. сверхпроводник должен быть практически монокристаллом. Мы все знаем совершенные структуры: алмаз, сапфир, кварц, полупроводниковые кристаллы кремния. Все они небольшие по размеру и очень дорогие. Теперь представьте, что такое же совершенство кристаллической структуры надо сохранить на протяжении километров. Это и есть главная технологическая проблема:

Практически весь сверхпроводящий провод для проекта *ITER* уже изготовлен, и это в первую очередь заслуга российских ученых и инженеров

сделать совершенную с точки зрения кристаллографии, физики, химии идеальную структуру, обладающую способностью быть гибкой, в форме длинного провода.

Каким же оказался выход из этой ситуации в случае низкотемпературных сверхпроводников? Например, есть соединение Nb_3Sn , которое используется в прикладной сверхпроводимости очень широко: на основе его многожильных проводов делают большие магнитные системы (тот же проект международного термоядерного реактора *ITER*, в котором Россия в лице НИЦ «Курчатовский институт» принимает активнейшее участие). Такие провода на основе разработанной Курчатовским институтом и ВНИИНМ «бронзовой технологии» с 2009 г. десятками тонн в год выпускаются в России, в Глазове, где после многолетнего упадка было воссоздано промышленное производство. Однако провод в том виде, в каком он выходит с завода, не обладает сверхпроводящими свойствами. Более того, само соединение формируется внутри отдельных микроскопических волокон и приобретает сверхпроводящие свойства только после того, как вы его наматаете на готовое изделие и произведете долговременный многодневный отжиг при высокой температуре в вакууме. Тогда за счет диффузии олова в ниобий и возникает сверхпроводящее соединение. Оно тоже хрупкое, но оно формируется в стадии уже готового

устройства. Вам нужно просто сделать катушку и отжечь ее. Это сложная технологическая проблема, но она решена. Проект *ITER* — тому подтверждение: он фактически находится на завершающей стадии создания. Практически весь сверхпроводящий провод для *ITER* уже изготовлен, и это в первую очередь заслуга российских ученых и инженеров.

С высокотемпературными сверхпроводниками необходимо очень аккуратно на каждой стадии производства создание идеальной структуры. Вначале были попытки сделать многожильные ВТСП-провода по технологии, аналогичной низкотемпературным сверхпроводникам, т.е. помещая множество тонких сверхпроводящих жил в металлическую матрицу; это получилось только для висмутовой керамики в матрице из серебра при использовании горячего прессования. Такой тип провода получил название ВТСП первого поколения. К сожалению, токонесущая способность висмутовой керамики сильно падает в магнитном поле, а серебро очень дорого, поэтому этот тип проводов не найдет широкого применения.

Другой способ изготовления длинного провода, кото-

рый сейчас развивается в мире наиболее интенсивно, называется «высокотемпературные сверхпроводники второго поколения». Основа провода представляет собой длинные металлические тонкие ленты толщиной 50–100 мкм и шириной 4–12 мм из нержавеющей стали или специальных цветных сплавов. На эти ленты, очень хорошо отполированные, с высокой гладкостью, наносится несколько тонких так называемых буферных слоев. Буферные слои необходимы для того,

чтобы изолировать достаточно активный (в химическом смысле) сверхпроводник от подложки, не позволить подложке окисляться и разрушать сверхпроводящий материал. Толщина каждого слоя измеряется десятками нанометров. Это слои не сверхпроводящие, но они должны иметь такое же высокое структурное качество. Дальше наносится уже рабочий сверхпроводящий слой, толщина которого тоже ничтожно мала — один микрон, и фактически получается гибкая ленточка с очень тонким сверхпроводящим слоем. Доля сверхпроводника в современном проводе составляет меньше 1%. Тем не менее из-за того, что этот слой так тонок, лента остается гибкой и ее можно сгибать без ущерба до достаточно маленьких радиусов. Сейчас разрабатываются разные способы нанесения тонких буферных и сверхпроводящих слоев для внедрения этой технологии в промышленное производство.

Чего можно вообще ожидать от высокотемпературной сверхпроводимости? Во-первых, из этих лент можно делать силовые кабели высокой мощности. Внешне это обычный гибкий электрический кабель с диаметром примерно 10 см — труба, в которую заключен сплетенный из нескольких сверхпроводящих лент кабель. По этой теплоизолированной трубе прокачивается жидкий азот, т.е. это криогенный кабель, но такой кабель

Может передавать энергию, которую сейчас передают огромные ЛЭП. Достоинство очевидно: в простом по изготовлению кабеле, который легко охлаждается, вы переносите энергию, при этом не только значительно экономия на потерях электричества, но и избегая всех трудностей, с которыми связаны установка и эксплуатация ЛЭП в городе. Ведь не нужно делать дорогой землеотвод, заботиться, чтобы к ЛЭП никто не подошел, не забрался на вышку и не упал оттуда.

От теории к практике

Сейчас нашими коллегами-энергетиками из НТЦ ФСК ЕЭС реализуется проект самой длинной в мире высокотемпературной сверхпроводящей подземной кабельной линии постоянного тока в Санкт-Петербурге — длиной более 2,5 км, мощностью 50 МВт. Она объединит две электроподстанции и должна продемонстрировать работоспособность этой технологии. Это будет фактически первое серьезное коммерческое применение ВТСП-технологии.

Высокотемпературная сверхпроводимость может применяться и в электроэнергетике, и в медицине, и в большой индустриальной науке, а также на транспорте и даже в космосе

Для этой кабельной линии основные компоненты уже изготовлены, а в Курчатовском институте в прошлом году мы провели успешные испытания ключевых прототипов этой линии — двух кабельных кусков по 30 м, а также разработанных нами соединительных и концевых муфт. Соединительные муфты — это устройства, которые электрически и криогенно соединяют между собой отдельные куски кабеля. Понятно, что транспортировать кабель длиной 2,5 км диаметром в 10 см — это невозможная логистическая задача, поэтому необходимо делать этот кабель из отдельных кусков, которые соединяются муфтами. Проектный размер отдельного куска составляет примерно 400 м — это бухта, которую вы реально можете доставить на грузовой платформе. В этом году полноразмерные куски кабеля и муфты показали прекрасные результаты при испытаниях на полигоне в Москве. Уже на месте окончательной установки в Санкт-Петербурге будет осуществляться соединение отдельных кабельных кусков. Наши сотрудники продолжают активно участвовать (совместно с энергетиками) в создании этой линии.

Какие еще применения высокотемпературных сверхпроводников возможны в электроэнергетике? Например, это электротехнические устройства, которые используются на электростанциях и подстанциях:

турбогенераторы, трансформаторы, компенсаторы, ограничители тока короткого замыкания — все они могут быть сделаны на основе сверхпроводников вместо обычного, медного провода. Это сразу приводит к уменьшению массы и размеров в два-три раза.

На основе высокотемпературных сверхпроводников можно сделать турбогенераторы для ветроэнергетических установок — ветрогенераторы. Это ветровые электростанции, которые сейчас широко внедряются, это возобновляемая «зеленая» энергетика — она не сопровождается необратимыми потерями ресурсов планеты и загрязнением окружающей среды углекислым газом. Но мощный ветрогенератор сейчас весит 100–200 т, а вам нужно поднять его на башню высотой более 100 м, чтобы он хорошо работал. Каким образом сделать это, например, в условиях Арктики? Вертолеты не поднимут такую массу. Однако если мы заменим медные обмотки ротора на ВТСП и модифицируем статор, он будет весить уже 40 т. Это сразу дает возможность широкого внедрения возобновляемых источников энергии.

У нас страна большая, и не везде можно дотянуться кабелем или протянуть ЛЭП, а на всю арктическую зиму завезти топливо для дизельных генераторов очень дорого. Такой ветрогенератор, тем более при сильных арктических ветрах — прекрасный выход. При этом никто не отменяет возможности использования ВТСП в тех же нишах, в которых уже сейчас активно применяются низкотемпературные сверхпроводники. Вы

знаете про медицинские магнитно-резонансные томографы. Магнитный томограф как устройство ранней диагностики должен присутствовать в каждом серьезном медицинском центре. Мы пока такого не достигли. Сейчас все магнитные системы для магнитно-резонансных томографов делаются на низкотемпературных сверхпроводниках, но если мы сделаем томограф на высокотемпературных сверхпроводниках, это позволит, во-первых, насытить нашу медицину очень интересными и полезными устройствами, во-вторых, попасть на этот рынок, который еще открыт.

Сейчас в проекте ITER, как и во всех крупных магнитных системах научного назначения, например в Большом адронном коллайдере (БАК), применяются низкотемпературные сверхпроводники. Но токовводы, предназначенные для питания сверхпроводящих магнитов БАК, уже сделаны на основе высокотемпературных сверхпроводников.

Если мы сумеем наладить выпуск достаточного количества высокотемпературных сверхпроводящих материалов, значит будем в состоянии сделать магниты с гораздо более сильным полем и постепенно заменить магниты на основе низкотемпературных сверхпроводников. Такие проекты есть. Сейчас перед Европейской организацией по ядерным исследованиям (CERN) стоит

задача модернизации и увеличения яркости пучка БАК в несколько раз. Это планируют сделать за счет замены части сверхпроводящих магнитов: ниобий-титановые магниты заменяются на ниобий-оловянные, что позволит повысить магнитное поле и, соответственно, так называемую яркость. Используя эти возможности, ученые надеются расширить свои знания о физике элементарных частиц, подтвердить открытие бозона Хиггса и получить новые знания. А следующий этап — сделать решительный скачок вперед и построить ускоритель на 100 ТэВ. В данном случае, скорее всего, без высокотемпературной сверхпроводимости не обойтись. Длина кольца нового коллайдера может составить 80 км, потребуются 9 тыс. т низкотемпературных и 2 тыс. т высокотемпературных сверхпроводников.

Таким образом, высокотемпературная сверхпроводимость может применяться и в электроэнергетике, и в медицине, и в большой индустриальной науке, а также на транспорте и даже в космосе. В этом смысле возможности применения у нее шире, чем у низкотемпературных технических сверхпроводников на основе ниобий-титана и ниобий-олова. К счастью, у традиционных материалов остается своя ниша, несмотря на то что требуются гораздо более низкие температуры и затраты более высокого уровня. Но в мире существует

промышленное производство этих материалов, тщательно отработаны и выпускаются в массовом количестве устройства, например магнитно-резонансные медицинские томографы. Разработан проект термоядерного реактора — ITER, а следующий проект, DEMO, запланирован на низкотемпературных сверхпроводниках.

Если мы будем двигаться к более реальной и экономически оправданной ситуации в электротехнике, транспорте, промышленности, медицине, космосе, то там достоинства и преимущества высокотемпературных сверхпроводников должны продемонстрировать себя в полной мере.

Замена технологий

До сих пор высокотемпературные сверхпроводники не используются широко, в первую очередь потому, что это очень тяжелая технология. Получить высококачественные слои крайне дорого. До сих пор инженерами не созданы устройства, которые в состоянии экономически выгодно и быстро делать такие материалы. В мире существуют только три-четыре компании, пытающиеся производить высокотемпературные сверхпроводники, но они еще не вышли на промышленные масштабы, т.е. десятки тонн материалов. Пока весь мировой выпуск



Сверхскоростной (500 км/ч) сверхпроводниковый поезд на магнитной подушке — уже реальность

замет 5
387 16.
71

КОНСТРУКЦИЯ БИПОЛЯРНОГО ВТСП-КАБЕЛЯ
ПОСТОЯННОГО ТОКА НА 20 КВ И 2,5 КА



высокотемпературных сверхпроводников ограничен одной-двумя тоннами в год. Этого хватает для того, чтобы делать экспериментальные разработки, собирать макеты и прототипы будущих устройств, но этого совершенно не достаточно для того, чтобы запустить рынок сверхпроводниковых устройств.

Со временем начнется постепенная замена одного типа сверхпроводников на другой. Это будет удешевлять проект за счет более легкой и дешевой криогеники. Уже сейчас для различных применений можно было бы произвести такую замену, но обратного пути нет. Заставить работать высокотемпературный сверхпроводник при низкой температуре можно, он будет хорошо работать, а наоборот — нет. Поэтому еще долго, как мне кажется, низкотемпературная и высокотемпературная сверхпроводимости будут сосуществовать. Ниша низкотемпературных сверхпроводников хорошо просматривается. Там все отлично отработано, и чтобы они были вытеснены окончательно, должно пройти очень много времени. А для электротехнических применений, конечно, высокотемпературная сверхпроводимость — это открытый рынок. Там конкуренция идет не с аналогичной сверхпроводниковой технологией, а с традиционной — медной, где, кажется, предел совершенства уже достигнут.

Если мы будем, основываясь на нынешних технологиях, пытаться прогнозировать, как будет развиваться рынок электроэнергетики в ближайшее время, мы начнем наткаться на ограничения. Запасы углеводородов очевидно конечны — и в нашей стране, и в мире. Им на смену идут принципиально новые технологии. Высокотемпературная сверхпроводимость — это один из способов прорывных технологий, которые могут решить эту проблему.

Мы смотрим с оптимизмом в «сверхпроводящее будущее», в том числе и в нашей стране. Во-первых, отсутствует монополизированный рынок ВТСП. Поскольку нет промышленного производства, мы в состоянии сейчас занять эту нишу. Сегодня в мире существует лишь несколько компаний, которые при поддержке своих правительств разрабатывают собственные технологии по выпуску опытных партий материалов. В России промышленного производства точно так же нет, более того, пока нет даже опытного производства высокотемпературных сверхпроводников. Такое производство планируется создать в рамках программы «Сверхпроводниковая индустрия», инициатором запуска которой был наш директор М.В. Ковальчук, а реализацией занимаются вместе с Курчатовским институтом ведущие научные центры страны. В рамках программы в Курчатовском институте в ближайшее время будет запущена экспериментальная линия полного цикла по выпуску высокотемпературных сверхпроводников, для чего проведена значительная реконструкция помещений, подготовлена специальная площадка под это оборудование. Оборудование изготовлено немецкой компанией и уже показало работоспособность. Мы будем осуществлять выпуск опытных партий материалов, разрабатывать новые технологии создания и всесторонне исследовать высокотемпературные сверхпроводники, поскольку за последние годы именно у нас в институте создана лучшая в России научно-исследовательская база с самыми современными исследовательскими приборами и установками. Это позволит нашим ученым и инженерам изготовить и испытать устройства, о которых мы говорили выше.

Исторически в Курчатовском институте всегда была очень сильная криогенная школа. Если мы отвлечемся

Зрел

от высокотемпературных сверхпроводников и вернемся к низкотемпературным, то это на 50% криогенная проблема, проблема холода, причем глубокого холода. Когда Курчатовский институт начал создавать первые токамаки на основе сверхпроводников — «Токамак-7», «Токамак-15», в них применялись низкотемпературные сверхпроводники, выпущенные в Советском Союзе, в Казахстане. Эти токамаки были построены и успешно запущены. Собственно, именно поэтому разработку и испытания элементов ВТСП кабельной линии для Санкт-Петербурга поручили нам. И мы справились с этой задачей.

Получается очень красивая замкнутая цепочка, которая позволяет в рамках Курчатовского института быть самодостаточной величиной — от разработки ВТСП-материалов до выпуска и испытаний образцов готовых устройств.

Конечно, Курчатовский институт никогда не занимался и не будет заниматься коммерческим промышленным производством. Но разработка технологий, устройств, создание ноу-хау, патентование этих устройств, передача разработок на промышленные предприятия — к этому мы готовы.

Сверхпроводимость — это перспективно

Одна из проблем заключается в некоей косности чиновников и специалистов по энергетике, промышленности, транспорту, которые никогда не сталкивались с криогеникой. Это реальная проблема, потому что люди, принимающие решения, — чиновники высокого уровня — работают в привычной среде, где они понимают, что и как функционирует. Если это медная обмотка генератора, то мы знаем, что она греется. Если это трансформатор, то мы знаем, что он тоже греется и его нужно охлаждать маслом. А если ученые предлагают какие-то альтернативные решения, то проблема даже не в технических, технологических или экономических противодействиях, а в психологическом неприятии. Должно пройти некоторое время, пока новая технология докажет всем, в том числе чиновникам, что она жизнеспособна и может быть применена, что называется, в быту.

Это классическая ситуация, которая еще называется «долиной смерти». С одной стороны, у вас есть технология, с другой стороны, есть потребитель такой технологии. Но чтобы перейти с одной горы на другую, вы обязаны преодолеть местность совершенно непонятную, с очень большими трудностями в убеждении, что это нужно, возможно, целесообразно. Это и есть «долина смерти»: практически вам надо перейти пустыню и не погибнуть при этом. Сегодня высокотемпературная сверхпроводимость штурмует эту «долину смерти». Кто-то должен это движение поддержать. Локомотивом движения, полигоном, на котором могут быть отработаны в том числе новейшие сверхпроводниковые и криогенные технологии, мог бы стать крупный национальный проект, сравнимый по масштабу и амбициям с проектами ITER или БАК.



! Справка

Сергей Викторович Шавкин

Заместитель начальника отдела сверхпроводящих материалов отделения сверхпроводимости Курчатовского комплекса НБИКС-технологий НИЦ «Курчатовский институт».

- ✓ Родился и живет в Красногорске, Московская область.
- ✓ Окончил Московский инженерно-физический институт (кафедра физики и технического применения сверхпроводимости) в 1987 г., после окончания работал на кафедре, занимался рентгеноструктурным анализом сверхпроводников.
- ✓ С 1994 г. работает в Курчатовском институте.
- ✓ Лауреат премии им. И.В. Курчатова.
- ✓ Сфера научных интересов: электродинамика и материаловедение сверхпроводящих материалов.
- ✓ Увлечения: путешествия, дача, футбол.

Сегодня средний возраст сотрудников в Курчатовском институте, занимающихся проблемами сверхпроводимости, не превышает 35 лет. Конечно, много ученых и среднего возраста, но больше половины нашей молодежи — аспиранты и студенты. Мне кажется, в этом будущее. Наша задача — не только развить технологии, но и убедить научную, инженерную молодежь, что сверхпроводимость — это интересно, полезно и перспективно для них во всех отношениях.

Подготовил Виктор Фридман