*Cверхпроводники: история развития, современное*

*состояние и перспективы*

Открытие в конце 1986 года нового класса высокотемпературных сверхпроводящих материалов радикально расширяет возможности практического использования сверхпроводимости для создания новой техники и окажет революционизирующее воздействие на эффективность отраслей народного хозяйства.

Явление, заключающееся в полном исчезновении электрического сопротивления проводника при его охлаждении ниже критической температуры, было открыто нидерландским физиком Х.Камерлинг-Оннесом в 1911 году, а удовлетворительное объяснение, отмеченное именами американских физиков Л.Купера, Дж.Бардина ,Дж.Шриффера, советского математика и физика Н.Н.Боголюбова, получило практическое использование этого явления в середине шестидесятых годов, после того как были разработаны сверхпроводящие материалы, пригодные для технических применений - настолько трудна была проблема.

Сверхпроводимость обнаружена более чем у 20 металлов и большого количества соединений и сплавов (Тк ≤ 23К), а также у керамик (Тк > 77,4К – высокотемпературные сверхпроводники.)Синтезом всё новых и новых материалов уже удалось поднять сверхпроводимость до 160 К(почти 100 В составе всех этих высокотемпературных сверхпроводников ВТСП обязательно присутствуют ионы меди Сu(роль их в возникновении сверхпроводимости пока не ясна ), которые служат как бы микроскопическими магнитами.Сверхпроводимость материалов с Тк ≤ 23К объясняется наличием в веществе пар электронов, обладающих энергией Ферми, с противоположными спинами и импульсами (пары Купера), которые образуются благодаря взаимодействию электронов с колебаниями ионов решетки – фононами. Все пары находятся, с точки зрения квантовой механики, в одном состоянии (они не подчиняются статистике Ферми т.к. имеют целочисленный спин) и согласованы между собой по всем физическим параметрам, то есть образуют единый сверхпроводящий конденсат.

Сверхпроводимость керамик, возможно, объясняется взаимодействием электронов с каким-либо другими квазичастицами.У сверхпроводимости три врага: высокие температуры, мощные магнитные поля и большие токи.Если их величины превысят предельные значения, называемые критическими, сверхпроводимость исчезает, сверхпроводник становится обычным проводником.По взаимодействию с магнитным полем сверхпроводники делятся на две основные группы: сверхпроводники I и II рода.

Сверхпроводники первого рода при помещении их в магнитное поле «выталкивают» последнее так, что индукция внутри сверхпроводника равна нулю (эффект Мейсснера).Напряжонность магнитного поля, при котором разрушается сверхпроводимость и поле проникает внутрь проводника, называется критическим магнитным полем Нк.У сверхпроводников второго рода существует промежуток напряженности магнитного поля Нк2 > Н > Нк1, где индукция внутри сверхпроводника меньше индукции проводника в нормальном состоянии.Нк1 – нижнее критическое поле, Нк2 – верхнее критическое поле. Н < Нк1 – индукция в сверхпроводнике второго рода равна нулю, Н > Нк2 – сверхпроводимость нарушается.Через идеальные сверхпроводники второго рода можно пропускать ток силой:  (критический ток).Объясняется это тем, что поле, создаваемое током, превысит Нк1, вихревые нити, зарождающиеся на поверхности образца, под действием сил Лоренца, двигаются внутрь образца с выделением тепла, что приводит к потере сверхпроводимости.

Tk, Нк1, Нк2, некоторых металлов и соединений:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вещество | Тк К | μ0Нк1 Тл | μ0Нк2 Тл |
| Pb | 7.2 | 0.55 |  |
| Nb | 9.2 | 0.13 | 0.27 |
| Te | 7.8 |  |  |
| V | 5.3 |  |  |
| Ta | 4.4 |  |  |
| Sn | 3.7 |  |  |
| V3Si | 17.1 |  | 23.4 |
| Nb3Sn | 18.2 |  | 24.5 |
| Nb3Al | 18.9 |  |  |
| Nb3Ga | 20.3 |  | 34.0 |
| Nb3Ge | 23.0 |  | 37.0 |
| (Y0.6Ba0.4)2CuO4 | 96 |  | 160±20 |
| Y1.2Ba0.3CuO4-8 | 102 |  | 18 при 77К |

Сверхпроводимость до сих пор привлекает к себе пристальное внимание со стороны физиков-теоретиков.Ввиду сложности явления разрабатываются как можно более простые модели, из которых были бы предельно ясны его основные черты. Одно из упрощений связано с понятием размерности.Интуитивно ясно, что двухмерную, плоскую кристалическую структуру исследовать, вообще говоря, легче, чем трёхменую, пространственную; одномерную, линейную- проще, чем двухмерную. Вот почему, рассуждая о сверхпроводимости, теоретики часто обращаются к модели так называемого одномерного кристалла. Его частицы взаимодействуют друг с другом лишь в одном каком-то направлении, а в двух других, поперечных направлениях взаимодействие между частицами пренебрежимо малы.

В рамках такой модели американский физик У.Литлл в 1964 году выдвинул смелое предположение: возможны сверхпроводники не металлической, а органической природы. Важное место в своих рассуждениях Литлл отводил полимерным молекулам, в основной цепи которых есть чередующиеся единичные и кратные связи (химики называют такие связи сопряжёнными). Дело в том, что каждая химическая связь, соединяющая атомы,- это пара принадлежащих им обоим электронов. В цепочке сопряженных связей степень обобщестления электронов еще выше: каждый из них в равной мере принадлежит всем атомам цепочки и может свободно перемещаться вдоль нее. Эту особенность сопряженных связей в основной цепи полимерной молекупы Литлл полагал важной предпосылкой для перехода в сверхпроводящее состояние. Необходимой для перехода он считал и особую структуру ответвлений от основной цепи. Составив проект своего полимера, ученый заключил: вещество с такими молекулами обязано быть сверхпроводящим; более того - в это состояние оно должно переходить при не очень низкой температуре, возможно, близкой к комнатной.

Проводники, свободные от всяких энергетических потерь при совершенно обычных условиях, конечно же, совершили бы революцию в электротехнике.Идея американского физика была подхвачена во многих лабораториях различных стран.

Однако довольно быстро выяснилось, что придуманный Литллом пример никоем образом перейти в сверхпроводящее состояние не способен. Но энтузиазм рожденный смелой идей ,дал свои плоды, пускай и не там, где они предвиделись на первых порах. Сверхпроводимость была таки обнаружена за пределами мира металлов. В 1980 году в Дании группа исследователей под руководством К. Бекгарда, эксперементируя с органическим веществом из класа ион-радикальных солей, перевела его в сверхпроводящее состояние при давлении 10 килобар и температуре на 0,9 градуса выше абсолютного нуля. В 1983 году коллектив советских физиков , возглавляемый доктором физико-математических наук И.Ф. Щеголевым, добился от вещества того же класса перехода в сверхпроводящее состояние уже при 7 градусах абсолютной шкалы температур и при нормальном давлении.В ходе всех этих поисков и проб вниманием исследователей не был обойден и карбин.( Карбин - органическое вещество, крайне редко встречающееся в природе. Структура которого - бесконечные линейные цепочки из атомов углерода.Свою структуру сохраняет при нагреве до 2000 °С , а затем, начиная примерно с 2300 °С, она перестраивается по типу кристаллической решётки графита.Плотность карбина составляет 1,9−2,2 г/см.

*(…=С=С=С=С=С=С=С=С=С=С=С=…))*

В связи с тем, что критические температуры этих материалов не превышали 20 К, все созданные сверхпроводниковые устройства эксплуатировались при температурах жидкого гелия, т.е. при 4-5 К. Несмотря на дефицитность этого хладоагента, высокие энергозатраты на его ожижение, сложность и высокую стоимость систем теплоизоляции по целому ряду направлений началось практическое использование сверхпроводимости. Наиболее крупномасштабными применениями сверхпроводников явились электромагниты ускорителей заряженных частиц, термоядерных установок, МГД-генераторов. Были созданы опытные образцы сверхпроводниковых электрогенераторов, линий электропередачи, накопителей энергии, магнитных сепараторов и др. В последние годы в различных капиталистических странах началось массовое производство диагностических медицинских ЯМР-томографов со сверхпроводниковыми магнитами, потенциальный рынок которых оценивается в несколько млрд. долларов.

Открытие высокотемпературных сверхпроводников, критическая температура которых с запасом превышает температуру кипения жидкого азота, принципиально меняет экономические показатели сверхпроводниковых устройств, поскольку стоимость хладоагента и затраты на поддержание необходимой температуры снижаются в 50-100 раз. Кроме того, открытие высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) сняло теоретический запрет на дальнейшее повышение критической температуры с 30 - вплоть до комнатной. Так, со времени открытия этого явления критическая температура повышена с 30 - 130 К.

*Эффект Джозефсона*.

Если два сверхпроводника соединить друг с другом «слабым» контактом, например тончайшей полоской из диэлектрика, через него пойдет туннельный сверхпроводящий ток, т.е. произойдет туннелирование сверхпроводящих куперовских пар. Благодаря этому обе системы сверхпроводников связаны между собой. Связь эта очень слаба, т.к. мала вероятность туннелирования пар даже через очень тонкий слой изолятора.

Наличие связи приводит к тому, что в следствии процесса обмена парами состояние обеих систем изменяется во времени. При этом интенсивность и направление обмена определяется разностью фаз волновых функций между системами. Если разность фаз ϕ=ϕ1 - ϕ2, тогда из квантовой механики следует  . Энергии в точках по одну и другую сторону барьера Е1 и Е2 могут отличаться только если между этими точками существует разность потенциалов Us. В этом случае  (1)

Если сверхпроводники связаны между собой с одной стороны и разделены слабым контактом с другой, то напряжение на контакте можно вызвать, меняя магнитный поток внутри образовавшегося контура. При этом . Учитывая, что квант потока  и поток Ф через контур может быть лишь nФ0, где n=0,±1,±2,±3,... Джозефсон предсказал, что  (2)

Где:

Is – ток через контакт

Ic – максимальный постоянный джозефсоновский ток через контакт

ϕ -- разность фаз.

Из (1), (2) следует .

Поскольку на фазовое соотношение между системами влеяет магнитное поле, то сверхпроводящим током контура можно управлять магнитным полем. В большинстве случаев используется не один джозефсоновский контакт, а контур из нескольких контактов, включенных параллельно, так называемый сверхпроводящий квантовый интерферометр Джозефсона (СКВИД). Величина магнитного поля, необходимого для управления током, зависит от площади контура и может быть очень мала. Поэтому СКВИДы применяют там, где нужна большая чувствительность.

*ПЕРСПЕКТИВЫ ВТСП*.

Вероятно тютчевские слова “Нам не надо предугадать, как слово наше отзовётся” для науки справедливы даже более, чем для житейских ситуаций. Только время позволит судить о том, сделает ли научное открытие жизнь людей лучше.Кроме того профессионал в области фундаментальных исследований может, как правило, претендовать только на статус любителя по части их практических приложений. Тем не менее возможно указать на некоторые перспективы:

-когда рассматривался как ВТСП карбин то мечты о его высокотемпературной сверхпроводимости можно было считать беспочвенными: уж очень сходен карбин по своей структуре с тем полимером , который предлагал Литлл и который был отвергнут как экспериментаторами, так и теоретиками.Зная это, хотелось бы напомнить, что в науке порой складывались ситуации, образно описываемые древним изречением: Камень, который отвергли строители, тот самый сделался главою угла.

Создание конкретных технических изделий на основе ВТСП материалов наиболее реально в ближайшее время именно в слаботочной технике, т.е. в микроэлектронике и вычислительной технике.

В рамках программы предполагается разработка и освоение серийного производства трех классов электронных сверхпроводниковых приборов:

- СКВИДы (приборы на основе джозефсоновских переходов) как детекторы слабых магнитных полей для применения в медицине (магнитоэнцефалография), геологии и геофизике (поиск полезных ископаемых, изучение геологического строения земной коры, прогноз землетрясений), материаловедении (неразрушающий контроль материалов, конструкций), военной технике (обнаружение магнитных аномалий, в частности, глубинных подводных лодок), научных исследованиях, связи и навигации.

Широкое освоение и внедрение СКВИД магнитометрического метода измерений позволит в короткий срок качественно изменить многие виды измерительной техники, повысить в сотни и более раз чувствительность приборов и точность измерений, подвести измерительные возможности широкой номенклатуры датчиков к теоретическому пределу, вывести измерительную технику на высший качественно новый уровень.

- Аналого-цифровые приборы (АЦП), использующие сверхбыстрые (доли пикосекунды) переключения от джозефсоновского к "гиверовскому" режиму работы, для применений в новейших системах связи, цифровых вычислительных устройствах для обработки и анализа аналоговых сигналов и др.

- Приборы, основанные на эффекте появления на джозефсоновском переходе постоянного напряжения при подаче на него СВЧ сигнала, для использования в прецизионных измерительных системах (например, эталон Вольта).

Широкое применение ВТСП найдет в вычислительной технике. Уже в настоящее время разработаны, изготовлены и испытаны макеты ячейки памяти, сверхчувствительный элемент считывания на ВТСП пленках с кратным снижением энерговыделения по сравнению с полупроводниковыми усилителями считывания, сверхскоростные линии связи, которые позволят увеличить производительность систем в 10 - 100 раз. Внедрение ВТСП в вычислительную технику даст кратное увеличение ее быстродействия и степени интеграции. Так, переход на ВТСП соединения и снижение рабочей температуры полупроводниковых суперЭВМ позволит повысить их производительность с 10х9 до 10х12 операций/сек.

Одной из перспективных областей применения ВТСП будет космическая техника - бортовые и "забортовые" измерительная аппаратура и вычислительные системы (возможна работа без специальных устройств охлаждения, так как "теневая" температура у спутников - 90 К). При этом при переходе на ВТСП удельная масса охлаждающей системы снизится в 50 раз, объем уменьшится в 1000 раз, надежность возрастет в 10 раз.

Широкие перспективы использования ВТСП открываются в СВЧ-технике и в создании датчиков видимого и ИК диапазона с высокой чувствительностью.

Список литературы:

Г.Н. Кадыкова «Сверхпроводящие материалы» М. МИЭМ 1990

Журналы:

“Наука и жизнь”: №2,1985г.; №9,1994г.; №5,1996г.; №9,1996г.; №8,1997г..

----------------------------------------------------------------------------------------------

КГУ им. Шевченка

Радиофизический факультет

Реферат по предмету

“История физических наук”

Преподаватель Коваленко В. Ф.

Студент 3-го курса,специальность АНД

Цяпа С.М.

----------------------------------------------------------------------------------------------