

Сверхпроводимость при комнатной температуре и выше.

В.Л. Дерунов, инженер-физик

- Экспериментальные подтверждения

[Новости >>](#)

[Экспериментальные подтверждения >>](#)

[Обращение >>](#)

derunov-vl@mail.ru

Эта работа началась в 1975г., во время выполнения дипломного проекта в Московском институте электронной техники. Тогда мне хотелось создать плёночный активный элемент на горячих электронах. Но когда узнал о гипотезе Гинзбурга - Киржница предложенной в 1963г., понял, что те сэндвичи, которые мне приходилось создавать, как раз соответствуют требованиям этой гипотезы.

В 1957г. Бардин-Купер-Шриффер создали теорию сверхпроводимости, где основная роль в явлении сверхпроводимости отводилась образованию спаренных электронов, через взаимодействие с фононами и критическая температура перехода металла в состояние сверхпроводимости определяется некоторой характерной температурой фононов. Эта характерная температура приблизительно равна дебаевской температуре фононов, и критическая температура перехода металла в сверхпроводящее состояние определяется по формуле:

$$T \approx \theta_D \exp\left(-\frac{1}{g}\right),$$

где g постоянная, пропорциональная силе притяжения между электронами. Поскольку дебаевская температура фононов не может превышать несколько сотен градусов, то грубая оценка фононного механизма сверхпроводимости в то время показывала, что критическая температура фононного механизма не может превышать 25°K ., поэтому Гинзбург - Киржниц предложили для спаривания электронов использовать другие частицы, например экситоны электронного типа. Так как дебаевская температура экситонов может составлять тысячи и даже десятки тысяч градусов, то грубые теоретические расчёты показывали, что критическая температура экситонного механизма перехода металла в сверхпроводящее состояние, может достигать 300°K . и более, что соответствует комнатной температуре и выше. Так родилась конструкция сэндвича Гинзбурга-Киржница для экситонного механизма сверхпроводимости, которую вы видите на рис.1, хотя сейчас точно знаю, что в таком сэндвиче никогда не произойдёт спаривание электронов через взаимодействие с экситонами.

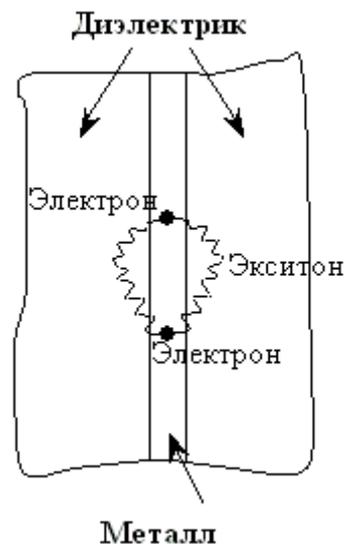


Рис.1 Сандвич для экситонного механизма сверхпроводимости.

Боле того, могу сказать, что при разработке экситонной теории высокотемпературной сверхпроводимости при расчёте волновых функций электрона была допущена неточность, поэтому критическая температура экситонного механизма может достигать не только комнатной температуры, но и превышать её в несколько раз. В то время у меня была возможность встречаться с одним из разработчиков теории высокотемпературной сверхпроводимости. Когда спросил у него, может ли в структуре состоящей из металлических шариков размером несколько межатомных расстояний, окружённых тонким слоем диэлектрика и сжатых до межатомных расстояний, возникнуть экситонный механизм сверхпроводимости. Он ответил, именно в таких структурах он и должен наблюдаться. С тех пор начал создавать многослойные сандвичи, в которых основной слой имел вышеупомянутую структуру. В конце дипломного проекта обнаружил, что на нескольких образцах имеются скачки тока на вольтамперных характеристиках, а их проводимость меняется на порядок при определённом напряжении. Это показано рис.2. На рис.3 приведена типичная характеристика структур сверхпроводник изолятор сверхпроводник.

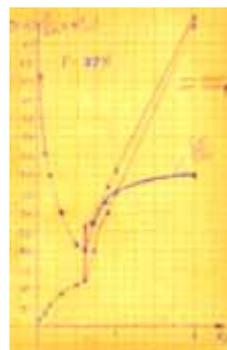


Рис.2 В.А.Х. образцов, измеренные в 1976г.

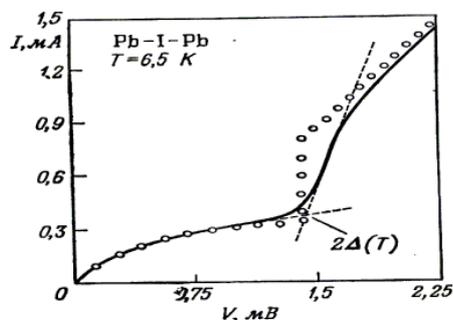


Рис.3 Типичные ВАХ структур сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник.

Такое поведение ВАХ в изученных явлениях существует только у структур сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник (S-I-S). Снова встречался с одним из разработчиков теории высокотемпературной, и мне удалось убедить его, что такие характеристики могут давать структуры S-I-S. Он не поверил в эти результаты, поскольку они теоретически доказали, что реализовать на практике экситонный механизм сверхпроводимости практически нельзя, так как металл должен иметь толщину 5\AA , а это один атомный слой, что получить невозможно. Но теория теорией, а критерием истины остаётся практика.

Думал, что, приехав в Воронеж по распределению, смогу сразу продолжить работу. Но судьба сложилась иначе. А когда прочитал статью в 1987г. об открытии сверхпроводящей керамики, где было написано, когда Мюллер пришёл к Беднорцу и спросил, как создать структуру, состоящую из металлических шариков размером несколько межатомных, окружённых тонким слоем диэлектрика и сжатых до межатомных расстояний. Он ответил методом спекания керамики. Так родилась сверхпроводящая керамика критическая температура, которой в то время, достигала 112°K . После этого подумал, что скоро доберутся и до комнатной температуры. Единственное, что меня немного утешало то, что образцы получал не методом спекания керамики, а методом естественного выращивания в определённых средах. После этого сообщения вообще забросил сверхпроводимость. Но прошло почти двадцать лет от момента открытия сверхпроводящей керамики, а сообщений об открытии сверхпроводимости при комнатной температуре, так и не было.

В декабре 2002г. мне пришла мысль ещё раз исследовать образцы, изготовленные почти 30 лет назад. Пришёл в гараж, открыл студенческий чемодан и принёс их в лабораторию. А теперь о том, что я на них увидел.

На рис.4, рис.5, рис.6, вы видите три графика ВАХ. , Вверху полученный в 1976г., в центре типичная ВАХ. для структур S-I-S, Внизу ВАХ. образцов измеренная в 2002г.

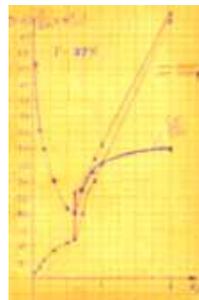


Рис.4 В.А.Х. измеренная в 1976г.

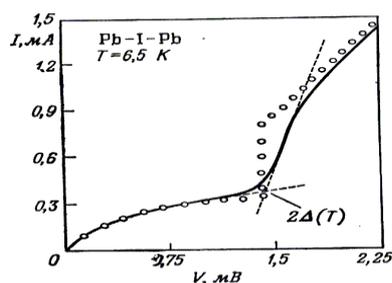
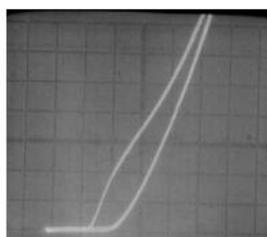


Рис.5 Типичная В.А.Х. структур S-I-S.

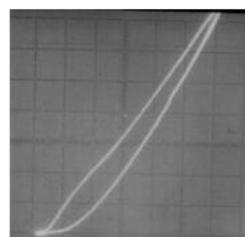


Рис.6 В.А.Х. измеренная в 2002г.

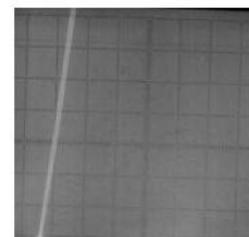
Все они имеют три характерных участка, начальный с высоким сопротивлением, затем при достижении напряжения $2\Delta / e$, скачок тока, а третий как при обычном тунелировании в структурах металл-диэлектрик-металл. Но если полученные характеристики связаны с явлением сверхпроводимости, то должна существовать критическая температура, при которой сверхпроводимость исчезает. При подключении образцов к источнику постоянного тока, на ВАХ. наблюдается петля гистерезиса. Причём ширина гистерезиса является функцией температуры и при критической температуре становится равной нулю. На рис.7 вы видите зависимость ширины гистерезиса от температуры.



а)



б)



в)

Рис.7. Зависимость ширины гестирезиса от температуры:

а) при 77.°К, б) при 300.°К, в) при 620°К.

Можно предположить, что в таких сложных слоистых сэндвичах, гестирезис могут вызывать подвижные ионы. Но в этом случае, с понижением температуры ширина гестирезиса должна уменьшаться, поскольку уменьшается подвижность ионов. А на графиках рис.7 мы видим обратную картину, с понижением температуры ширина гестирезиса увеличивается, что характерно только для структур S-I-S. Исходя из этих результатов, можно сделать вывод, что критическая температура перехода в сверхпроводящее состояние исследуемых образцов составляет примерно 620°К. или 350°С.

Если эти образцы обладают сверхпроводимостью, то на них должны присутствовать эффекты Джозефсона. Методом деления образца на части были выделены участки, где толщина диэлектрика между металлами не превышала 20Å. При измерении выделенных образцов на характеристиках, при подаче переменного напряжения с частотой 50 Гц. на экране наблюдался эллипс. Это вы видите на рис.8

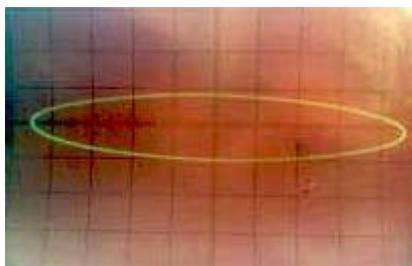


Рис.8. Эллипс на переменном напряжении.

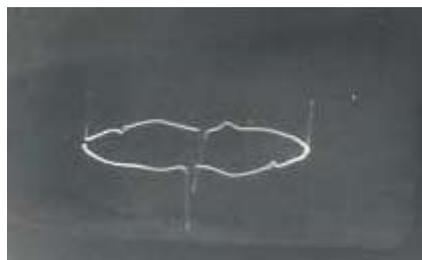


Рис.9. Эллипс плюс импульсы генератора ступенек.

Как мне сказал один московский профессор: эллипс как эллипс ничего в нём интересного нет. Действительно он правильной геометрической формы и ничего интересного в самом эллипсе нет. Интересное состоит в другом, каким образом он получен на экране характеристикографа. Есть два способа получения эллипса: от одного источника сигнала через R-C цепочку или от двух источников сигнала. Первый вариант моделировался с помощью

компьютерной программы. По мере приближения эллипса к вертикальной или горизонтальной оси эллипс вырождался в прямую линию. А как вы видите на рис.8 эллипс почти горизонтальный. Значит, эллипс получен с помощью двух источников сигнала. Если одним источником сигнала является характериограф, то вторым источником сигнала может быть только исследуемый образец. Если вы посмотрите на рис. 9 на другом характериографе, то при включении генератора ступенек на эллипсе наблюдаются импульсы генератора ступенек. Образец ведёт себя таким образом, что какой сигнал на него поступает, такой он и генерирует. Мне известно, что о низкочастотной генерации джозефсоновскими переходами, ничего неизвестно. Но это легко проверить тем, кто имеет возможность работы с этими переходами. Достаточно подключить один из сверхпроводников через ёмкость и на экране характериографа будете наблюдать и эллипс и импульсы и любой другой сигнал, который используется в характериографе.

Для исследования образцов на постоянном токе ёмкость удалялась. Образец подключался к характериографу, как к источнику постоянного тока. В результате, при нулевом напряжении на образце через него протекал постоянный ток. Это вы видите на рис.10. В сверхпроводимости такой ток называется постоянный сверхпроводящий джозефсоновский ток и обусловлен туннелированием куперовских пар при нарушении их фазовой когерентности.

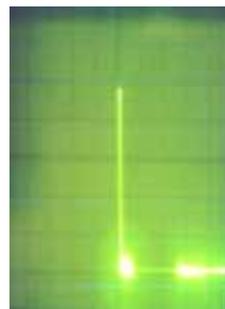


Рис.10. Сверхпроводящий ток, при нулевом напряжении на образце.

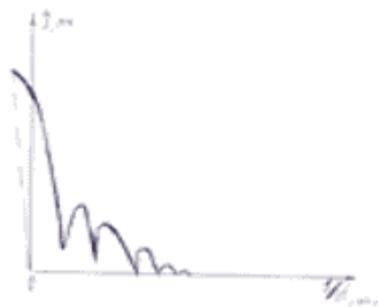


Рис.11. Зависимость сверхпроводящего тока от магнитного поля.



Рис.12. Управление сверхпроводящим током.

Если это сверхпроводящий ток, то в магнитном поле он должен давать дифракционную картину. Эксперимент проводился с помощью постоянных магнитов, при этом менялось расстояние между магнитом и образцом. Ток измерялся в зависимости от расстояния между магнитом и образцом. Полученные результаты вы видите на рис.11. Наклон влево, согласно теории сверхпроводимости, связан с добавлением собственного магнитного поля к внешнему полю, что происходит при больших токах через переход. Хочу сразу же сказать, что при исследовании по отдельности каждого слоя, из которых состоит сэндвич, ни одной из приведённых характеристик не наблюдалось. Поэтому, можно предположить, что образование куперовских пар происходит через взаимодействие электронов в основном слое, с частицами в другом слое. Возможно это экситонный механизм. А если это так, то с помощью дополнительного металлического электрода, существующего в сэндвиче сверхпроводящим током легко управлять. При подаче на дополнительный электрод импульсов генератора ступенек на экране характериографа появлялось семейство выходных характеристик. Это вы видите на рис.12. Оно напоминает семейство выходных характеристик транзистора. Поэтому с помощью эффекта управления сверхпроводящим током можно создавать активные элементы для преобразования и усиления электрических сигналов. Приборы созданные на этом эффекте смогут работать при температурах от 0°K . до 620°K . и на частотах выше 100ГГц . Таким образом, на рис.12 вы видите характеристики первого сверхпроводящего активного прибора для преобразования и усиления электрических сигналов.

А сейчас об исследовании поглощения и излучения СВЧ электромагнитных волн. Образец подключался к характериографу, как к источнику напряжения. Начальный участок джозефсоновского перехода вы видите на рис.13.



Рис13.Начальный участок ВАХ.

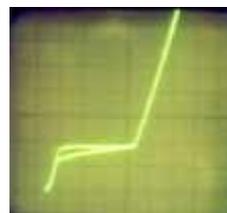


Рис.14.ВАХ. при воздействии СВЧ электромагнитных волн.



Рис.15. Структура основного слоя.

В начале участка наблюдается гестирезис, ширина которого зависит от магнитного поля. При наложении магнитного поля ширина гестирезиса увеличивается. Этот переход подвергался воздействию СВЧ. излучения, и результаты представлены на рис. 14. Как вы видите, в результате поглощения электромагнитных волн образовалась горизонтальная ступенька. Величина этой ступеньки в вольтах связана с частотой облучения, зарядом электрона и постоянной Планка. Предварительные измерения и расчёты постоянной Планка показывают, что её значение совпадает с табличным значением с точностью 0.02 процента. Для повышения точности нужны калиброванные измерительные приборы. А теперь об излучении электромагнитных волн. Если увеличивать ток, протекающий через образец, то над поверхностью образуются плазменные шарики красно-фиолетового цвета, что соответствует плазме воздуха. Это происходит, когда напряжённость излучаемых СВЧ. электромагнитных волн достигает значений достаточных для ионизации молекул воздуха. В результате образования плазменных шариков на поверхности образца образуется след, который слегка раскрывает структуру материала основного слоя сэндвича. Это вы видите на рис.15. Фотография сделана при очень большом увеличении, поэтому чёткость не очень хорошая.

А теперь обсудим полученные результаты. Мне приходилось встречаться с учёными и специалистами. Некоторые из них пытаются объяснить полученные результаты контактными явлениями, правда, не говорят какими. Поэтому поводу хочу сказать, похоже, они плохо представляют характеристики контактных явлений и тем более туннельных явлений в структурах S-I-S. Другие согласны, что все приведённые характеристики соответствуют структурам S-I-S, но для подтверждения сверхпроводимости необходимо измерить диамагнитную восприимчивость образцов, поскольку при переходе в сверхпроводящее состояние все материалы становятся сильными диамагнетиками. С этим я согласен. Но давайте подойдём к этому вопросу с другой стороны. Допустим, мы занимаемся исследованиями диамагнитных свойств материалов, не знаем тех результатов, которые приведены в этой работе и к нам попадают эти структуры. Мы обнаруживаем на них при комнатной температуре сильный диамагнетизм, как у сверхпроводников. Можем мы утверждать, что это сверхпроводимость? Конечно, нет, так как основное свойство сверхпроводимости, когда сопротивление проводника становится равным нулю. Если вы посмотрите на рис. 10, то там при нулевом напряжении на образце протекает ток. А это как раз и подтверждает, что сопротивление образца равно нулю. Кроме того, все джозефсоновские эффекты связаны только с туннелированием куперовских пар, а в исследуемых образцах мы наблюдаем практически все эффекты Джозефсона. Значит можно утверждать, что в исследуемых образцах существуют куперовские пары, а существование куперовских пар это основное условие возникновения сверхпроводимости, согласно теории БКШ. В процессе исследований обнаружены критическая температура и ток, а образцы в магнитном поле ведут себя так же, как и структуры сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник. Потому, нет никаких сомнений, что металлические шарики, окружённые тонким слоем диэлектрика, находятся в состоянии сверхпроводимости при комнатной температуре и выше. А диамагнитные исследования образцов проведем, как только появится возможность. Но нет никакого сомнения, что диамагнитные свойства образцов будут такие же, как у обычных сверхпроводников, поскольку в природе не существует двух разных явлений, проявляющих одинаковые свойства. Спасибо за внимание. Буду благодарен всем, кто сможет оказать поддержку и помощь в этой работе.

Литература:

1.Гинзбург В.Л., Киржниц Д.А. Проблема высокотемпературной сверхпроводимости- М.: Наука, 1977. – 400 с.

2.Буккель В. Сверхпроводимость. – М.: Мир, 1975.-364 с.

3.Солимар Л. Туннельный эффект в сверхпроводниках. – М.: Мир, 1974.- 428 с.

4.Дерунов В. Сайт www.derunov.narod.ru