СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

Аксенов ЭМ-31

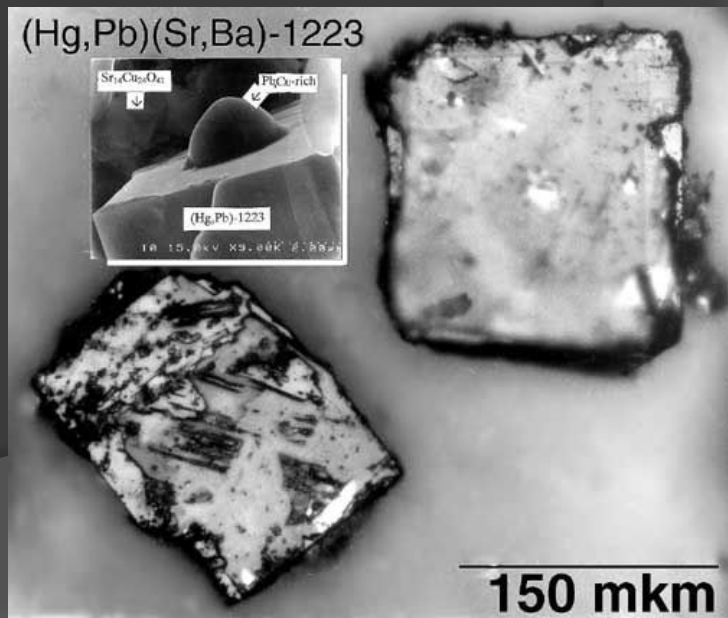
История открытия

В 1911 году голландский физик Хейле Камерлинг-Оннес открыл замечательное явление – *сверхпроводимость*. Он обнаружил, что при охлаждении ртути в жидком гелии её сопротивление сначала меняется постепенно, а затем при температуре 4,1 К очень резко падает до нуля. Позже было открыто много других сверхпроводников:

- 1912: свинец и олово.
- 1919: таллий и уран.

В 1986 году была открыта высокотемпературная сверхпроводимость. Получены сложные оксидные соединения лантана, бария, и других элементов с температурой перехода в сверхпроводящее состояние около 100 К. Это выше температуры кипения жидкого азота при атмосферном давлении. Высокотемпературная сверхпроводимость в недалёком будущем приведёт, наверняка, к новой технической революции во всей электротехнике, радиотехнике, конструировании ЭВМ.

Рис.1



Сверхпроводимость

Сверхпроводимость — свойство некоторых материалов обладать строго нулевым электрическим сопротивлением при достижении ими температуры ниже определённого значения. Известны несколько десятков чистых элементов, сплавов и керамик, переходящих в сверхпроводящее состояние.

Если в кольцевом проводнике, находящемся в сверхпроводящем состоянии, создать ток, а затем устранить источник электрического тока, то сила этого тока не меняется сколь угодно долго. В обычном же несверхпроводящем проводнике электрический ток в этом случае прекращается.

Высокотемпературные полупроводники

Высокотемпературные сверхпроводники (высокие Тс) — семейство материалов (сверхпроводящих керамик) с общей структурной особенностью, которую можно охарактеризовать относительно хорошо выделенными медно-кислородными плоскостями. Их также называют сверхпроводниками на основе купратов. Температура сверхпроводящего перехода, которая может быть достигнута в некоторых составах в этом семействе, является самой высокой среди всех известных сверхпроводников.

Структура

Все основные ВТСП-системы имеют слоистую структуру. На рис.2 приведена для примера структура элементарной ячейки ВТСП-соединения YBa2Cu3O7. Обращает на себя внимание очень большая величина параметра решетки в направлении оси «с». Для YBa2Cu3O7 c=11.7Å.

Рис.2

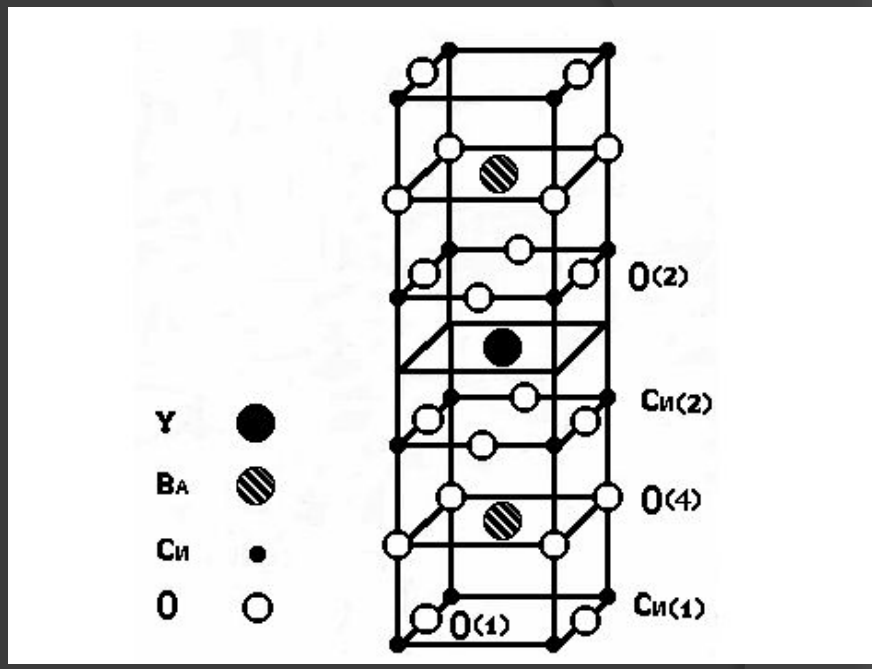
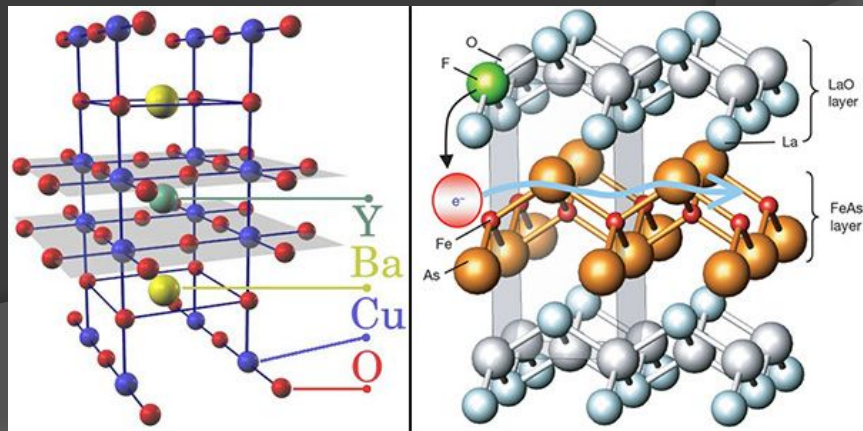


Рис.3



- Наблюдается значительная анизотропия многих свойств таких соединений. Как правило соединения с большими n - металлы (хотя и плохие) в плоскости «ab», и обнаруживают полупроводниковое поведение в третьем направлении, вдоль оси «c». Но при этом они являются сверхпроводниками.
- В некоторых ВТСП-системах наблюдается сверхструктурная модуляция решетки, например, в системе Bi2Sr2Can-1CunOδ. Имеется определенная корреляция Tc с периодом этой модуляции.

Еще более необычны структурные образования, наблюдавшиеся в ВТСП-системах, так называемые «страйпы». «Страйпы» представляют собой сверхструктурную модуляцию зарядовой плотности. Их период составляет несколько ангстрем. Как правило, это динамические образования и они проявляются в изменении некоторых свойств ВТСП. Однако при введении примесей они могут «запиннинговаться» на этих дефектах и будут наблюдаться в статике.

Температурная зависимость сопротивления R(T)

Во многих купратных ВТСП R(T) зависит практически линейно от температуры. Пример для YBa2Cu3O7 приведен на рис. Это сопротивление измерено в плоскости “ab”. Удивительно, что в чистых образцах экстраполяция этой зависимости в область низких температур ведет себя так, как будто остаточное сопротивление совершенно отсутствует

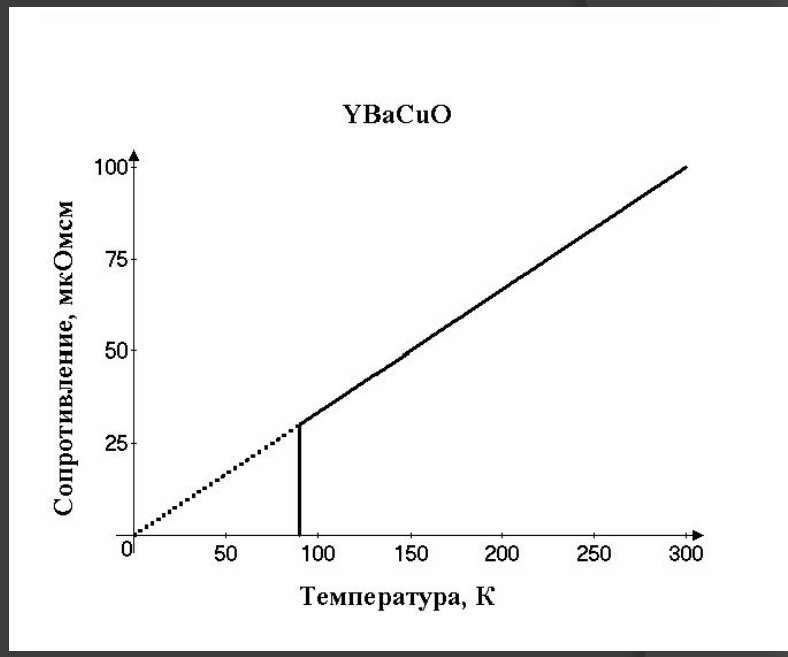


Рис.4

- В ряде других ВТСП, с меньшими Тс, где удается подавить сверхпроводимость магнитным полем, зависимость R(T) линейна вплоть до очень низких температур. Такая линейная зависимость наблюдается в очень широкой области температур: от ~10-3 до 600К. Это совершенно необычное поведение для металла. Данное явление не объяснено до сих пор

На рис. показана температурная зависимость сопротивления для ВТСП-соединения YBa2Cu3O7 вдоль оси «с». Ход полупроводниковый, а наблюдаемая величина сопротивления приблизительно в 1000 раз больше.

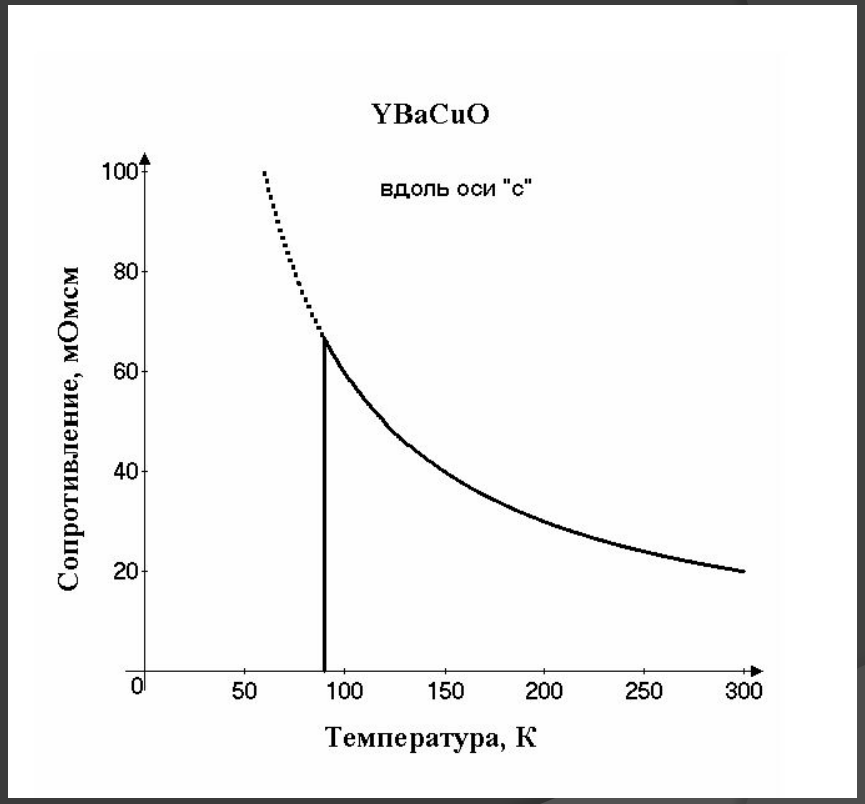


Рис.5

Псевдощель

Еще одно уникальное явление, обнаруживаемое только в ВТСП, − псевдощель Δ^*. При некоторой температуре $T^*>T_c$ плотность состояний на поверхности Ферми перераспределяется: на части поверхности плотность состояний уменьшается. Ниже температуры T^* соединение существует в несколько необычном «нормальном» состоянии – состоянии с псевдощелью. Величина T^* при низком уровне легирования может достигать значений 300-600К для разных ВТСП-систем, т.е. сильно превосходить T_c. В области слабого легирования T^* падает с ростом уровня легирования, в то время как T_c растет.

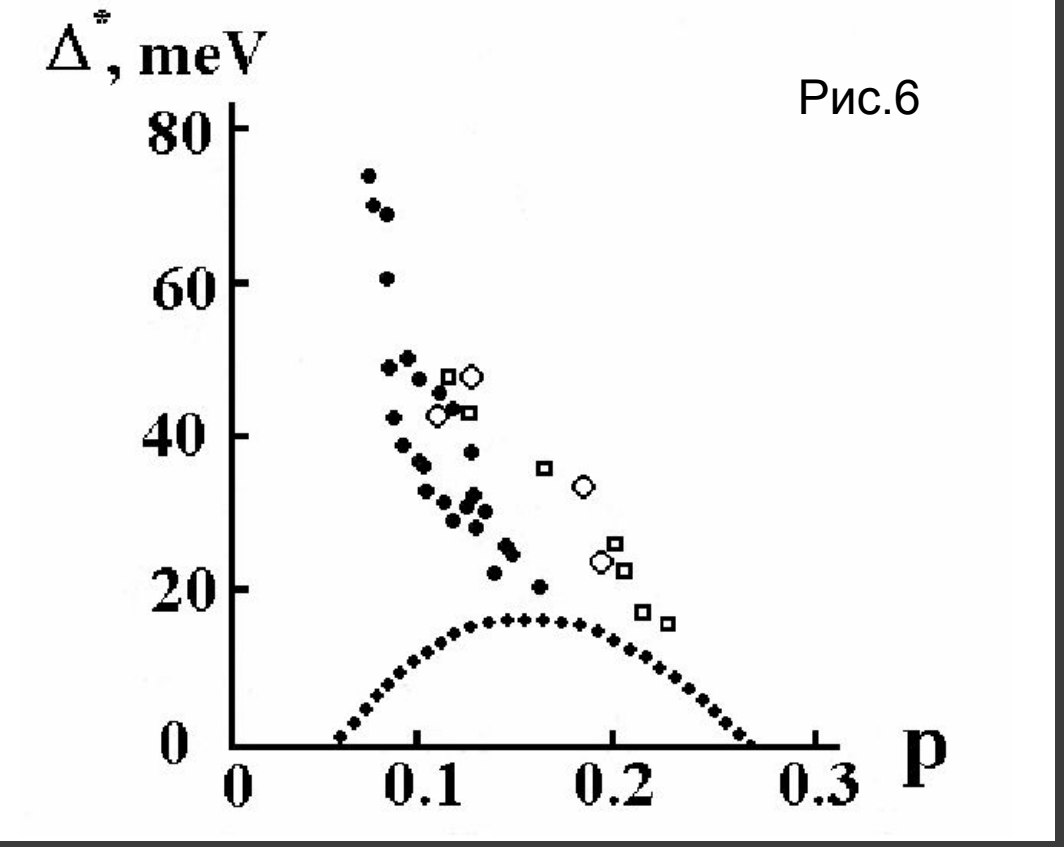


Рис.6

Зависимость псевдощели Δ* от концентрации дырок для ВТСП-систем YBa2Cu3O7-δ и BiSrCaCuO [4]. Величина псевдощели определялась по измерениям туннелирования (квадраты), теплоемкости (точки) и методом ARPES (ромбы). Пунктирная линия Δ (p)=5kTc(p)

Фазовая диаграмма

- Варианты типичной фазовой диаграммы ВТСП-купратов показаны на рис. В зависимости от концентрации носителей тока (как правило, дырок) в высокопроводящей плоскости CuO2 наблюдается целый ряд фаз и областей с аномальными физическими свойствами.

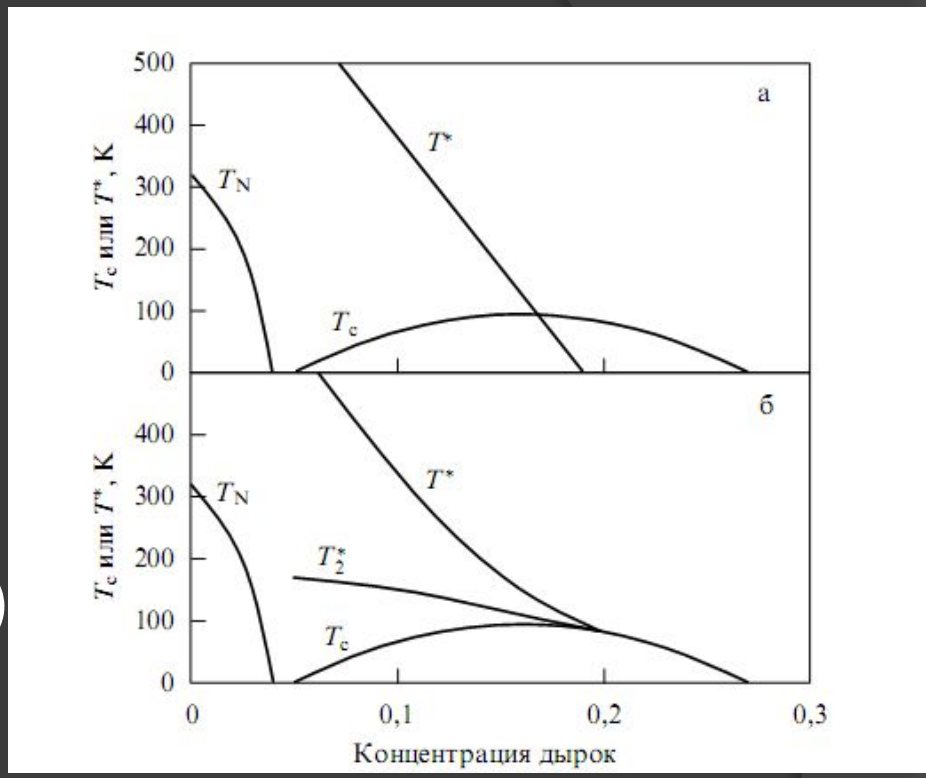
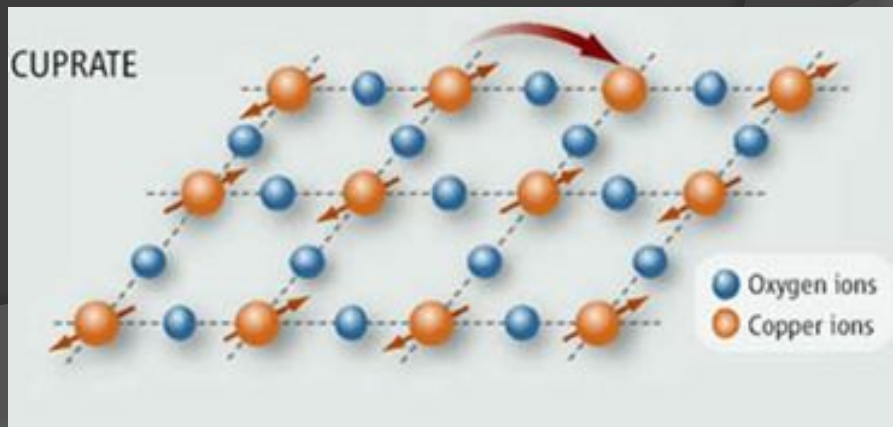


Рис.7

Рис.8



Применение

Сверхпроводники находят широкое применение. Так, сооружают мощные электромагниты со сверхпроводящей обмоткой, которые создают магнитное поле на протяжении длительных интервалов времени без затрат энергии. Ведь выделения теплоты в сверхпроводящей обмотке не происходит.

Сверхпроводящие магниты используются в ускорителях электромагнитных частиц, магнитогидродинамических генераторах, преобразующих механическую энергию струи раскалённого ионизированного газа, движущегося в магнитном поле, в электрическую энергию.

Однако: 1. Получить сколь угодно сильное магнитное поле с помощью сверхпроводника нельзя. Очень сильное магнитное поле разрушает сверхпроводящее состояние. Поэтому для каждого проводника в сверхпроводящем состоянии существует критическое значение, превзойти которое, не нарушая сверхпроводящего состояния, нельзя.

2. Если бы удалось создать сверхпроводящие материалы при температурах, близких к комнатным, то была бы решена важнейшая техническая проблема – передача энергии по проводам без потерь.

3. Объяснение сверхпроводимости возможно только на основе квантовой теории. Оно было дано лишь в 1957 году американскими учёными Дж. Бардиным, Л. Купером, Дж. Шриффером и советским учёным, академиком Н. Н. Боголюбовым.

Список литературы

- 1. Deutschei Cuy. Superconductivy gan and pseudogap // FNT,-2006,-v. 32,-№6.-p.740-745.
- 2. J.G.Bednorz, K.A.Muller , Rev. Mod. Phys.,- B, 64,- P.189-(1988).
- 3. Физические свойства высоко-температурных сверхпроводников. Под. ред. Д.М.Гинзберга. М:. «Мир», 1990, 544 С.
- 4. Садовский М.В. УФН 171 539 (2001) [Sadovskii M.V. Phys. Usp. 44 515 (2001)].
- 5. C. Renner et al. Phys. Rev. Lett. 80, 3606 (1998); S.H. Pan et al. Phys. Rev. Lett. 85, 1536 (2000).
- 6. Интернет: http://ellphi.lebedev.ru/11/pdf10.pdf
- http://www.chem.msu.su/rus/teaching/vtsp/12.html - рис.1

Спасибо за внимание!