

## Пространственно-неоднородная сверхпроводимость в $\text{MgB}_2$

А. И. Войтенко, А. М. Габович

*Институт физики НАН Украины, 03028 Киев, Украина*

Т. Ekino, Н. Fujii, Т. Takasaki

*Hiroshima University, Faculty of Integrated Arts and Sciences, 739-8521, Higashi-Hiroshima, Japan*

Mai Suan Li, Н. Szymczak

*Institute of Physics, PL-02-668, Warsaw, Poland*

М. Pȩkala

*Department of Chemistry, University of Warsaw, Warsaw, Poland*

Ј. Akimitsu, Т. Muranaka

*Department of Physics, Aoyama-Gakuin University, 157-8572, Tokyo, Japan*

Методом разломных контактов проведены туннельные измерения поликристаллических образцов  $\text{MgB}_2$ . Имеются три основных особенности дифференциальной электропроводности, а для некоторых разломов появляются дополнительные особенности. Проанализирована совокупность разного рода имеющихся в литературе экспериментов для  $\text{MgB}_2$  и показано, что наши данные хорошо с ними согласуются.

Открытая недавно сверхпроводимость  $\text{MgB}_2$  имеет две необычные черты: высокую критическую температуру,  $T_c$ , и довольно ярко выраженное проявление двух или более спектроскопических особенностей, соответствующих сверхпроводящим энергетическим щелям  $\Delta$  [1,2]. Преобладающее в сообществе объяснение этих фактов основывается на давно известной концепции двухзонной сверхпроводимости. А именно, имея в виду многолистный характер Ферми-поверхности, предполагается, что две группы электронов ( $\pi$  и  $\sigma$ ) участвуют в сверхпроводимости, совместно приводя к высокой  $T_c$ , но по отдельности определяя каждую из щелей.

При этом полностью игнорируется то обстоятельство, что несомненных щелей часто бывает три и более. Такому пренебрежению способствует сильная изменчивость туннельных или микроконтактных спектров, причем дополнительные особенности сильно отличаются по величине от измерения к измерению. Имеется и другой аргумент в пользу неполноты стандартного двухзонного подхода для описания  $\text{MgB}_2$ . Дело в том, что как разупорядочение под действием нейтронного облучения, так и частичное замещение одной из компонент соединения не приводят к размыванию многощелевых эффектов, хотя  $T_c$  значительно уменьшается. В то же время, в рамках обсуждаемой схемы потеря двухзонности должна была бы предшествовать или, по крайней мере, сопутствовать подавлению сверхпроводимости.

Все вышесказанное делает естественной другую интерпретацию опытных данных по  $\text{MgB}_2$ . Она заключается в том, что наблюдаемая многощелевость вызывается *пространственной* неоднородностью параметра порядка, т. е. разброс значений  $\Delta$  имеет место в  $\mathbf{r}$ -, а не в  $\mathbf{k}$ -пространстве. Микроскопиче-

ские причины этого явления досконально не известны, хотя можно сделать ряд правдоподобных предположений [1]. В частности, основной мотив неоднородности с тремя щелями может быть связан со слоистостью структуры  $\text{MgB}_2$ . Размытие этой картины и появление промежуточных  $\Delta$  объясняется в этом случае эффектом близости. Один из вариантов подобного теоретического рассмотрения см. в работе [3].

На основе сделанных предположений при различном выборе функции распределения по щелям  $\Delta$  удастся прекрасно объяснить экспериментальные данные по зависящей от температуры,  $T$ , электронной теплоемкости  $C$  в сверхпроводящем состоянии  $\text{MgB}_2$  [1]. Результаты показаны на Рис. 1. Существенным для успешной подгонки является то, что ниже  $T_c$  имеются как сверхпроводящие, так и нормальные домены. Наша точка зрения подтверждается наличием линейного по  $T$  члена в  $C(T)$ .

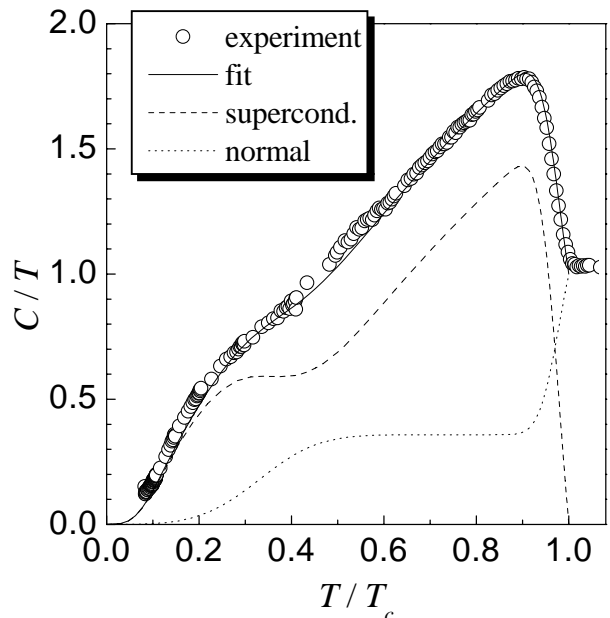


Рис. 1. Подгонка экспериментальных данных по теплоемкости [4] на основе гауссова распределения энергетических щелей.

Хорошее согласие с экспериментом для такой интегральной характеристики системы, как теплоемкость, говорит о разумности нашего подхода, но не является прямым доказательством его справедливости. Поэтому нами были проведены многочисленные измерения туннельного тока  $I$  между электродами из  $\text{MgB}_2$  разломным методом (break-junction technique [2]). Две характерные зависимости дифференциальной проводимости  $G(V) \equiv dI/dV$ , где  $V$  – напряжение, показаны на Рис.2.

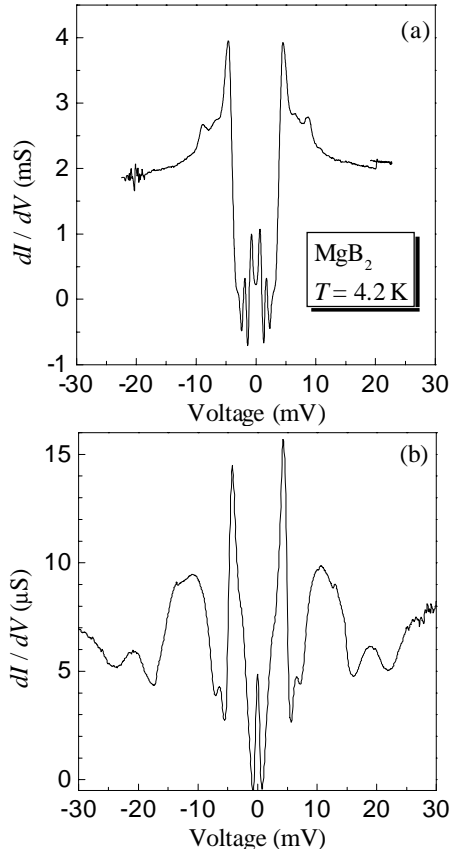


Рис. 2. Зависимости дифференциальной туннельной  $dI/dV$  проводимости от напряжения  $V$  для переходов на разломе образцов  $\text{MgB}_2$ .

Как видим, наряду с обычно наблюдаемыми особенностями щелевого типа при  $eV = 2 \div 3$  и  $6 \div 7$  эВ, могут проявляться также экстремумы при  $10 \div 11$  эВ. Кроме того, для различных переходов наблюдаются и промежуточные, более слабые, особенности. Эта сложная картина подобна результатам туннельных и микроконтактных экспериментов на разломных переходах из  $\text{MgB}_2$  [5] и  $\text{Mg}_{1-x}\text{Al}_x\text{B}_2$  [6].

Дать полную интерпретацию всех особенностей в настоящее время не представляется возможным. Однако, ясно, что «классической» двухзонной сверхпроводимости здесь нет ни для двухкомпонентного соединения, ни для его производных. Промежуточные щели, скорее всего, связаны с эффектом близости, а сама сверхпроводимость носит перколяционный характер [7].

К сожалению, из-за неизбежных неточностей измерений вблизи  $T_c$  невозможно с уверенностью утверждать, закрываются ли разные особенности при общей температуре, или при разных [2,6]. А это имеет принципиальное значение в связи с различными предсказаниями в рамках двухзонной схемы и пространственно-неоднородного подхода.

Следует отметить, что результаты, полученные на поликристаллах, ни в коей мере не уступают в значимости таковым, полученным на монокристаллах. Противоположное мнение, подкрепляемое ссылкой на плохое качество поликристаллических образцов, не выдерживает критики, поскольку наличие многих щелей в «грязных» объектах является еще более удивительным

1. A. M. Gabovich, Mai Suan Li, M. Pękała et al., Physica C. 405, 187 (2004).
2. T. Takasaki, T Ekino, T Muranaka et al., Journ. Phys. Soc. Japan 73, 1902 (2004).
3. T. Soda, Y. Fukumoto, Prog. Theor. Phys. 111, 707 (2004).
4. F. Bouquet, Y. Wang, I. Sheikin, Physica C 385, 192 (2003).
5. Ya. G. Ponomarev, S. A. Kuzmichev, M. G. Mikheev et al., Solid State Commun. 129, 85 (2004).
6. Я. Г. Пономарев, С. А. Кузьмичев, Н. М. Кадомцева и др., Письма в ЖЭТФ 79, 597 (2004).
7. P. A. Sharma, N. Hur, Y. Horibe et al., Phys. Rev. Lett. 89, 167003 (2002).