

Аномальные тепловые свойства MgB_2

Н.В. Аншукова, А.И. Головашкин

Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, 119991 Москва, Россия

Л.И. Иванова, А.П. Русаков

Московский государственный институт стали и сплавов, 117936 Москва, Россия

Б.М. Булычев, И.Б. Крынецкий

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119899 Москва, Россия

Измерены температурные зависимости коэффициента теплового расширения $\alpha(T)$ в нулевом магнитном поле и поле $H \approx 4T$, теплоемкости $C(T)$ и теплопроводности $K(T)$ MgB_2 в области T_c и низких температур. Обнаружено, что соединение MgB_2 , как и оксидные ВТСП, характеризуется отрицательным $\alpha(T)$. При этом, как и в других ВТСП, наблюдается сильное влияние магнитного поля на эту аномалию. Обнаружено также, что в дополнение к известному переходу в сверхпроводящее состояние при $T_c \approx 40K$ наблюдается аномальное поведение, как $C(T)$, так и $K(T)$ в области температур $T \approx 10-12K$. При этом аномальное поведение $C(T)$ и $K(T)$ проявляется в той же области температур, в которой обнаружено отрицательное тепловое расширение MgB_2 . Наблюдаемые аномалии при низких температурах связываются с наличием в MgB_2 второй группы носителей заряда и с увеличением плотности Бозе-конденсата, соответствующего этим носителям, при $T_{c2} \approx 10-12K$.

До сих пор обсуждается вопрос о соотношении свойств MgB_2 и ВТСП соединений. Известно [1], что в MgB_2 реализуется необычный двухзонный механизм сверхпроводимости. В то же время целый ряд аномалий свойств MgB_2 требует дополнительных экспериментальных исследований для своего объяснения.

В настоящей работе проведены измерения температурных зависимостей коэффициента теплового расширения $\alpha(T)$, теплоемкости $C(T)$ и теплопроводности $K(T)$ MgB_2 в области T_c и более низких температур, изучено влияние магнитного поля $H \approx 4T$ на поведение $\alpha(T)$.

Измерение теплового расширения $\Delta L/L$ проводилось dilatометрическим методом с чувствительностью $\sim 5 \cdot 10^{-7}$ (L—длина образца) [2]. Теплоемкость и теплопроводность измерялись методом модуляционной калориметрии [3,4]. Относительная погрешность измерений теплоемкости—0.3%, теплопроводности—1%.

Образцы MgB_2 были получены методом горячего прессования при высоком давлении. Образцы были однофазными с плотностью до 98% от идеальной рентгеновской плотности, их свойства соответствовали стандартным данным [5].

На Рис.1 показаны температурные зависимости величины $\Delta L/L$ (L—длина образца) для соединения

MgB_2 , полученные в настоящей работе при $H=0$ и $H=3.6T$.

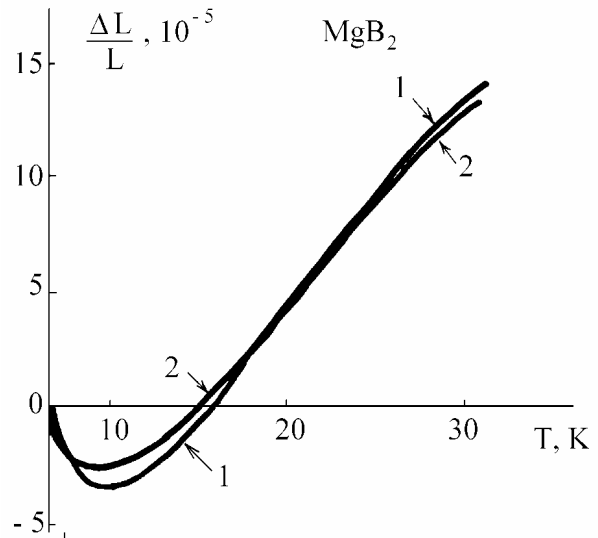


Рис.1. Температурные зависимости $\Delta L/L$ для MgB_2 при $H=0$ (кривая 1) и $H=3.6T$ (кривая 2).

Величина $\alpha=(1/L)dL/dT$ отрицательна в области $T < 11K$. Наблюдается сильное влияние магнитного поля $H \approx 4T$. Т.е. MgB_2 характеризуется таким же аномальным свойством ($\alpha < 0$) и сильным влиянием H на эту аномалию, как и оксидные ВТСП.

На Рис.2 приведена зависимость C/T от T в области $T=5-50K$ для одного из образцов. Наблюдаются две особенности: при $T \approx 38-40K$ и $T \approx 10K$. Эти особенности отдельно показаны на вставках к Рис.2. Особенность при $T \approx 38-40K$ связана с переходом образца в сверхпроводящее состояние. Для исследованных образцов MgB_2 величины скачка теплоемкости при T_c $\Delta C=145-152$ Дж/К·моль. Эти величины согласуются с литературными данными [6-11], хотя несколько превышают их. Вторая особенность на зависимости $C(T)/T$ (скачок ΔC_2) наблюдалась в области $T \approx 10-15K$. Имеются теоретические основания полагать [1,12,13], что при этой температуре резко увеличивается вторая (малая) сверхпроводящая щель, соответствующая второй группе носителей заряда.

Измерения $K(T)$ были проведены в интервале $T=5-45K$. На кривой $K(T)$ для MgB_2 проявляются

обе аномалии, наблюдающиеся для $C(T)$. Аномалия $K(T)$ в области критической температуры при $T \approx 38-40\text{K}$ выражена слабее. Аномалия в области низких температур $T \approx 10-12\text{K}$ приведена на Рис.3. Очевидно совпадение трех аномалий, наблюдающихся в MgB_2 при $T \approx 10-12\text{K}$. Оценка дает $\Delta C_2 \approx 7.6 \text{ мДж/К} \cdot \text{моль}$.

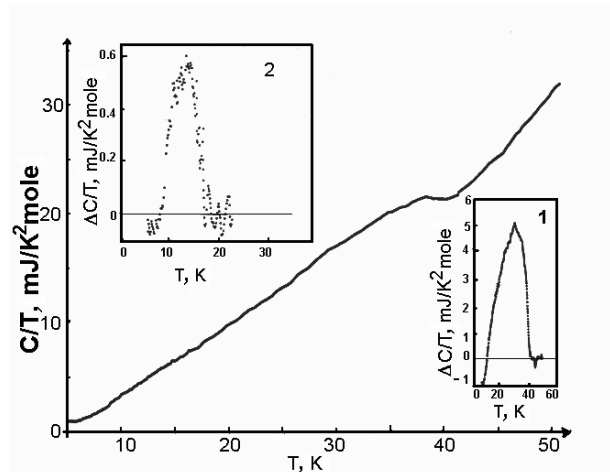


Рис.2. Температурная зависимость теплоемкости MgB_2 в координатах C/T и T . На вставках показаны скачки теплоемкости при T_c (вставка 1) и $T \approx 10\text{K}$ (вставка 2).

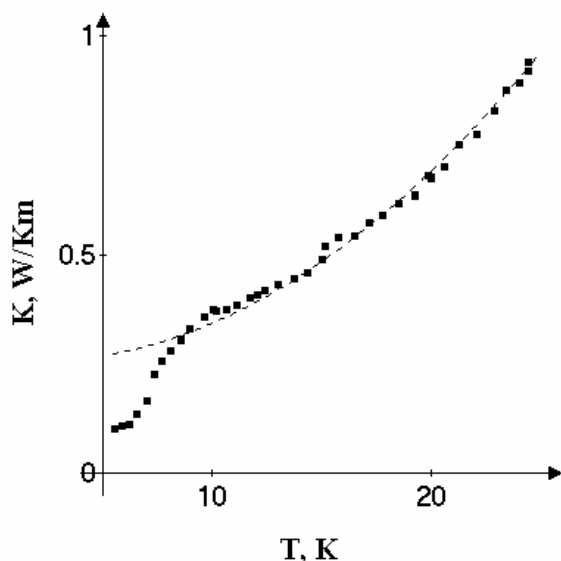


Рис.3. Аномалия теплопроводности MgB_2 при $T \approx 10-12\text{K}$. Штриховой линией показана интерполяционная зависимость теплопроводности, полученная вблизи аномалии.

Полученные результаты позволяют сделать оценки коэффициентов при линейном члене теплоемкости γ . Найдено, что $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 = 4.4 \text{ мДж/К}^2 \cdot \text{моль}$, $\gamma_1 = 1.5 \text{ мДж/К}^2 \cdot \text{моль}$, $\gamma_2 = 2.9 \text{ мДж/К}^2 \cdot \text{моль}$. Поскольку

величина γ пропорциональна плотности электронных состояний на уровне Ферми, величина $\gamma_2/\gamma_1 \approx 2$ характеризует отношение этих плотностей для двух групп носителей заряда в MgB_2 .

Отношение скачка теплоемкости при T_c к величине γ равно $\Delta C/\gamma T_c \approx 2.9$. Такое значение отношения указывает на сильную связь в MgB_2 для первой группы носителей заряда с меньшей концентрацией. Это согласуется с результатами расчетов работы [14].

Объяснение обнаруженных аномалий связывается с наличием в MgB_2 второй группы носителей заряда и с увеличением плотности Бозе-конденсата, соответствующего этим носителям, при $T \approx 10-12\text{K}$. Сильная зависимость аномалии α от магнитного поля указывает на сходство тепловых свойств MgB_2 со свойствами других ВТСП.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Министерства образования и науки.

1. J.Kortus, I.I.Mazin, K.D.Belashchenko, V.P.Antropov, L.L.Boyer. *Phys. Rev. Lett.* **86**, 4656 (2001).
2. Н.В.Аншукова, Ю.В.Богуславский, А.И.Головашкин, Л.И.Иванова, И.Б.Крынецкий, А.П.Русаков. *ФТТ* **35**, 1415 (1993).
3. A.A.Minakov, Yu.V.Bugoslavsky, C.Schick. *Thermochim. Acta* **317**, 117 (1998).
4. A.A.Minakov, S.A.Adamovsky, C.Schick. *Thermochim. Acta* **377**, 173 (2001).
5. C.Buzea, T.Yamashita. *Superconductor Science and Technology* **14**, R115 (2001).
6. Y.Wang, T.Plackowski, A.Junod. *Physica C* **355**, 179 (2001).
7. F.Bouquet, R.A.Fisher, N.E.Phillips, D.G.Hinks, J.D.Jorgensen. *Phys. Rev. Lett.* **87**, 047001 (2001).
8. S.L.Bud'ko, G.Lapertot, C.Petrovic, C.E.Cunningham, N.Anderson, P.C.Canfield. *Phys. Rev. Lett.* **86**, 1877 (2001).
9. H.D.Yang, J.-Y.Lin, H.H.Li, F.H.Hsu, C.Y.Liu, J.Changi. *Phys. Rev. Lett.* **87**, 167003 (2001).
10. Ch.Wälti, E.Felder, C.Degen, G.Wigger, R.Monnier, B.Delley, H.R.Ott. *Phys. Rev.* **64**, 172515 (2001).
11. E.Bauer, Ch.Paul, St.Berger, S.Majumdar, H.Michor, M.Giovannini, A.Saccone, A.Bianconi. *J. Phys.: Cond. Matter* **13**, L487 (2001).
12. A.Y.Liu, I.I.Mazin, J.Kortus. *Phys. Rev. Lett.* **87**, 087005 (2001).
13. A.A.Golubov, J.Kortus, O.V.Dolgov, O.Jepsen, Y.Kong, O.K.Andersen, B.J.Gibson, K.Ahn, R.K.Kremer. *J. Phys.: Cond. Matter* **14**, 1353 (2002).
14. Y.Kong, O.V.Dolgov, O.Jepsen, O.K.Andersen. *Phys. Rev. B* **64**, 020501 (2001).