

## Многощелевая сверхпроводимость и леггетовские плазменные резонансы в $Mg_{1-x}Al_xB_2$

С.А. Кузьмичев, Я.Г. Пономарев, М.Г. Михеев, М.В. Судакова, С.Н. Чесноков,  
*Физический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, 119899 Москва, Россия*  
Е.Г. Максимов, С.И. Красносвободцев, А.В. Варлашкин,  
*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 119991 Москва, Россия*  
Л.Г. Севастьянова, О.В. Кравченко, К.П. Бурдина, Б.М. Булычев  
*Химический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, 119899 Москва, Россия*

На поликристаллических образцах  $Mg_{1-x}Al_xB_2$  ( $0 \leq x \leq 0.45$ ) с помощью техники “break-junction” нами были получены и исследованы микроконтакты (SnS) и контакты туннельного типа (SIS). Оба вида контактов на  $Mg_{1-x}Al_xB_2$  продемонстрировали наличие двух различных сверхпроводящих щелей [1, 2] так же, как и образцы  $MgB_2$ , об исследовании которых нами было доложено ранее [3].

С помощью туннельной и андреевской спектроскопии получены температурные зависимости для сверхпроводящих щелей  $\Delta_\sigma$  и  $\Delta_\pi$ . Было обнаружено, что обе щели в  $Mg_{1-x}Al_xB_2$  закрываются при одной критической температуре  $T_c$ , которая сильно зависит от концентрации алюминия  $x$ .

Также было установлено, что в исследованном нами диапазоне критических температур  $6.5K \leq T_c \leq 40.5K$  изменение большой щели  $\Delta_\sigma(T)$  от температуры близко к стандартной БКШ- зависимости. В то же время температурная зависимость малой щели  $\Delta_\pi(T)$  значительно отличается от БКШ- модели, что указывает на сильное влияние 2D  $\sigma$ - зон на сверхпроводящие свойства 3D  $\pi$ - зон за счет внутреннего эффекта близости (эффект близости в  $\mathbf{k}$ -пространстве).

У исследованных образцов  $Mg_{1-x}Al_xB_2$  обнаружен скейлинг большой щели  $\Delta_\sigma$  и критической температуры  $T_c$ . Отношение  $2\Delta_\sigma / kT_c = 5.7 \pm 0.3$  близко по величине к аналогичному отношению у сверхпроводящих купратов. Значение же малой щели  $\Delta_\pi$  не изменяется в пределах ошибки измерений в температурном интервале  $20K \leq T_c \leq 40.5K$ , а при дальнейшем уменьшении  $T_c$  малая щель начинает монотонно убывать. Отношение  $2\Delta_\pi / kT_c$  достигает значения БКШ  $\approx 3.5$  при  $T_c \rightarrow 0$ .

На высококачественных андреевских контактах SnS- типа в  $Mg_{1-x}Al_xB_2$  при  $T = 4.2K$  нами наблюдалось воспроизводящееся расщепление особенностей, составляющих субгармоническую структуру обеих щелей  $\Delta_\sigma$  и  $\Delta_\pi$ . По-видимому, такое расщепление может происходить из-за существования в  $MgB_2$  двух  $\sigma$ - зон и двух  $\pi$ - зон и соответствующих им двум парам сверхпроводящих щелей, как это было предсказано в работе [1].

Один из самых интригующих вкладов в теоретическое изучение многозонных сверхпроводников был сделан Леггетом [4]. Он показал, что в двухщелевых сверхпроводниках может существовать осо-

бый тип коллективных возбуждений, связанный с небольшими флуктуациями фазы в двух разных сверхпроводящих конденсатах. Открытие двухзонной сверхпроводимости в  $MgB_2$  возобновило интерес к леггетовским коллективным модам [5, 6]. Результаты экспериментальных исследований низкочастотных леггетовских плазменных резонансов в  $MgB_2$  были недавно опубликованы в статье [3].

В настоящей работе мы изучали особенности на первой производной вольтамперных характеристик (ВАХ) наших  $Mg_{1-x}Al_xB_2$ - контактов на микротрещине связанные с влиянием вызванным леггетовскими коллективными модами. Для андреевских контактов SnS- типа мы наблюдали воспроизводящуюся субгармоническую щелевую структуру вида:  $V_{n,m} = (2\Delta_\sigma + m\omega_0) / en$ , где  $\omega_0$ - энергия плазмона. Здесь обычная пороговая энергия  $2\Delta_\sigma$  заменяется на  $(2\Delta_\sigma + m\omega_0)$  из-за резонансной эмиссии  $m$  леггетовских плазмонов в процессе многократных андреевских отражений в микроконтакте.

Из положения особенностей субгармонической щелевой структуры относящейся к большой щели  $\Delta_\sigma(x)$  была выведена величина энергии возбуждения  $\omega_0(x)$  низкочастотных леггетовских плазменных мод в двухщелевой  $Mg_{1-x}Al_xB_2$  ( $0 \leq x \leq 0.45$ ) системе. Впервые для образцов  $Mg_{1-x}Al_xB_2$  в диапазоне критических температур  $6.5K \leq T_c \leq 40.5K$  была получена зависимость энергии возбуждения  $\omega_0$  от величин большой  $\Delta_\sigma$  и малой  $\Delta_\pi$  щелей. Полученные нами результаты находятся в качественном соответствии с теоретическими предсказаниями, сделанными в работах [4, 5].

1. H. J. Choi, D. Roundy, H. Sun et al., Nature 418 (2002) 758.
2. C. Buzea and T. Yamashita, Supercond. Sci. Technol. 14 (2001) R115.
3. Ya. G. Ponomarev, S. A. Kuzmichev et al., Sol. State Commun. 129 (2004) 85.
4. A. J. Leggett, Prog. Theor. Phys. 36 (1966) 901.
5. S. G. Sharapov, V. P. Gusynin and H. Beale, arXiv: cond-mat/0205131 v1.
6. D. F. Agterberg, E. Demler and B. Janko, arXiv: cond-mat/0201376 v1.