

ЭЛЕКТРОННОЕ КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ И СВЕРХПРОВОДЯЩАЯ ЩЕЛЬ В МОНОКРИСТАЛЛАХ $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$

A.A.Максимов, И.И.Тартаковский, В.Б.Тимофеев

Впервые проведены измерения температурной зависимости электронного комбинационного рассеяния света в сверхпроводящих кристаллах $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$ ($T_c \approx 110$ К). Полученные результаты указывают на наличие сильной анизотропии сверхпроводящей щели в этих кристаллах.

В работах, посвященных изучению новых сверхпроводящих материалов одной из центральных проблем является установление механизмов, ответственных за возникновение ВТСП. Важную роль в решении этого круга вопросов играет знание такого параметра, как величина сверхпроводящей щели Δ и ее температурная зависимость. Среди методов экспериментального определения энергетической щели наряду с туннельной спектроскопией и измерениями поглощения и отражения света в далекой инфракрасной области все более широкое распространение получают методы спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) света.

Как было впервые указано в работе ¹, при $T < T_c$ электронное комбинационное рассеяние в сверхпроводниках начинается при $\omega > 2\Delta$, а при $\omega < 2\Delta$ должно полностью отсутствовать. На этой идеи и основан метод измерения величины сверхпроводящей щели по спектрам КР. Экспериментальное изучение особенностей в спектрах электронного комбинационного рассеяния позволило проследить за характером изменения энергетической щели и плотности надщелевых возбуждений при изменении температуры в сверхпроводниках Nb_3Sn и V_3Si ², ³. Использование методов КР света в новых ВТСП материалах для определения величины Δ тем более оправдано, что, с одной стороны, это является бесконтактным методом, а с другой стороны, в связи с ограниченными поперечными размерами монокристаллических образцов методически спектроскопия КР имеет ряд преимуществ перед спектроскопией в далекой инфракрасной области. В ряде выполненных к настоящему моменту работ сообщалось о наблюдении особенностей в спектрах электронного КР при $T < T_c$ для кристаллов $YBa_2Cu_3O_7$ ⁴, ⁵ и $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ ⁶.

В настоящей работе были выполнены измерения электронного КР в сверхпроводящих монокристаллах $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$ с температурой сверхпроводящего перехода $T_c \approx 110$ К. Изучались спектры КР при возбуждении базовой ab -плоскости кристалла линией Ar^+ -лазера с $\lambda = 4880$ Å. Размеры области возбуждения составляли $\sim 0,05 \times 0,2$ мм. при падающей на кристалл мощности ≤ 15 мВт. Спектры КР регистрировались на спектрометре Dilor XY. Исследуемые образцы помещались в оптический гелиевый термостат в парах Не, который обеспечивал установление температуры в диапазоне $T_0 = 5 - 300$ К с точностью $\Delta T \approx 0,05$ К. Учитывая неоднородность образцов, съемка спектров КР при разных температурах выполнялась с одного и того же места на поверхности кристалла с точностью не хуже ≈ 2 мкм, что контролировалось с помощью микроскопа.

Отличительной особенностью спектров КР кристаллов $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$ с ab -плоскости в геометрии близкой к рассеянию назад является отсутствие в области частот $130 < \omega < 500$ см⁻¹ интенсивных линий КР на оптических колебаниях ⁷, что связано со слабой гофрировкой купратных плоскостей. Более сильная гофрировка CuO_2 -плоскостей в кристаллах $YBa_2Cu_3O_7$ приводит к появлению интенсивной полосы КР симметрии B_{1g} с частотой ~ 340 см⁻¹, связанной с антифазным колебанием атомов кислорода в купратных плоскостях вдоль c -оси кристалла ⁸ и имеющей специфическую температурную зависимость ⁹. В кристаллах же $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$ форма компонент КР и их положение слабо зависят от тем-

пературы, что чрезвычайно важно при регистрации температурных изменений в протяженном континууме в области сверхпроводящей щели.

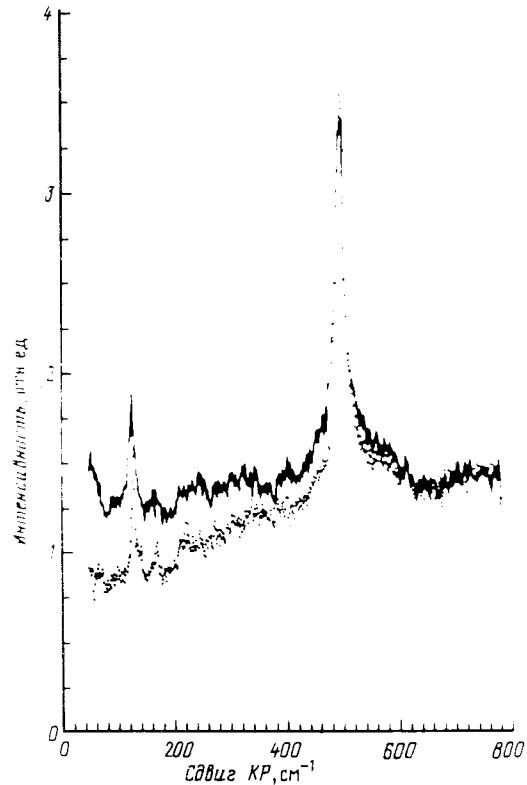


Рис. 1

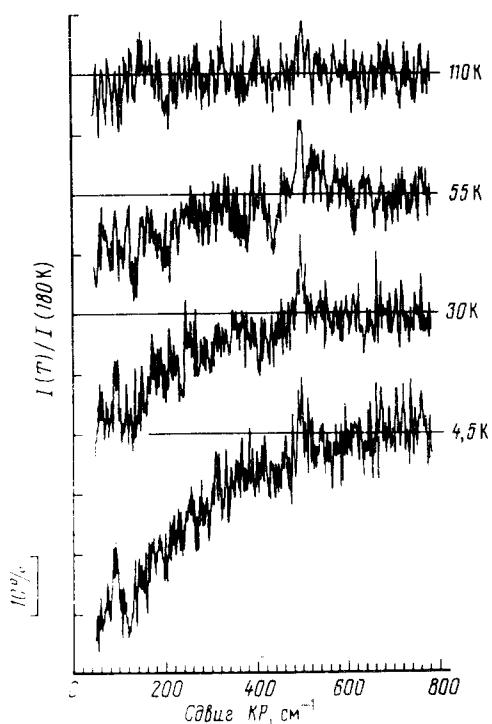


Рис. 2

Рис. 1. Спектры КР света монокристалла $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$ при двух температурах T_0 :
— 4,5 K; — 180 K

Рис. 2. Отношение интенсивности КР света в кристалле $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$ при нескольких значениях температуры T_0 к интенсивности КР при $T_0 = 180$ К. Прямым линиям отвечают значения $I(T)/I(180 \text{ K}) = 1$

На рис. 1 представлены спектры КР при двух значениях температуры T_0 в термостате¹⁾. Видно, что повышение температуры приводит к увеличению интенсивности протяженного фона в области частот $\omega \lesssim 400 \text{ см}^{-1}$. Температурная зависимость изменения интенсивности КР света I в этой области частот может быть прослежена на рис. 2, где представлены отношения вида $I(T)/I(180 \text{ K})$ при нескольких значениях $T \lesssim T_c \approx 110 \text{ K}$. Видно, что при $\omega > 400 \text{ см}^{-1}$ это отношение практически не зависит от температуры и близко к 1. На частотах $\omega < 400 \text{ см}^{-1}$ при низких температурах наблюдается $\sim 30\%$ провал, который с повышением температуры уменьшается и исчезает при $T \approx T_c$. Дальнейшее увеличение температуры не приводит к заметным спектральным изменениям. Наблюдаемые особенности в протяженном фоне в спектре КР характерны для электронного КР при наличии сверхпроводящей щели. Однако, даже при гелиевых температурах не наблюдается уменьшения интенсив-

¹⁾ По нашим оценкам, величина нагрева при $T_0 = 5 \text{ K}$ составляет $\Delta T \lesssim 15 \text{ K}$.

ности электронного КР до нуля во всем исследуемом диапазоне частот. Этот факт указывает, по-видимому, на наличие нормальных областей в наших образцах, которые дают вклад в электронное КР вплоть до самых низких температур. Действительно, выполненные измерения диамагнитной восприимчивости для кристаллов $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$ хорошо согласуются с этим предположением.

Что касается наблюдаемого в спектре КР провала, то его форма существенно отличается от предсказанной теорией^{1, 10} для случая изотропной сверхпроводящей щели. В случае же анизотропной щели¹⁰ электронное КР должно отсутствовать начиная с частот $\omega \approx 2\Delta_{min}$ (Δ_{min} – минимальное значение сверхпроводящей щели). По-видимому, спектральная форма провала и его температурная зависимость свидетельствуют о значительной анизотропии сверхпроводящей щели в кристаллах $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$ (рис. 2).

Так как уменьшение электронного КР начинается с частот $\omega \lesssim 400 \text{ см}^{-1}$, это позволяет провести оценку для максимального значения сверхпроводящей щели $2\Delta_{max} \approx 5k_B T_c$. Для корректного определения величины Δ_{min} необходимо проведение дальнейших исследований.

Авторы выражают благодарность Л.А.Фальковскому за полезное обсуждение.

Литература

1. Абрикосов А.А., Фальковский Л.А. ЖЭТФ, 1961, **40**, 262.
2. Dierker S.B. et al. Phys. Rev. Lett., 1983, **50**, 853.
3. Hackl R. et al. J. Phys. C: Sol. St. Phys., 1983, **16**, 1729.
4. Баженов А.В. и др. Письма в ЖЭТФ. Приложение, 1987, **46**, 35.
5. Cooper S.L. et al. Phys. Rev. B, 1988, **37**, 5920.
6. Kirillov D. et al. Phys. Rev. B, 1988, **38**, 11955.
7. Гаспаров Л.В. и др. Письма в ЖЭТФ, 1989, **49**, 58.
8. Рашиба Э.И., Шерман Е.Я. Письма в ЖЭТФ, 1988, **47**, 404.
9. Гаспаров Л.В. и др. Письма в ЖЭТФ, 1988, **48**, 162.
10. Абрикосов А.А. Фальковский Л.А. Письма в ЖЭТФ, 1987, **46**, 236.

Институт физики твердого тела

Академии наук СССР

Поступила в редакцию

8 апреля 1989 г.