

ВЛИЯНИЕ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ПЕРЕХОДА НА КВАНТОВЫЙ ВЫХОД ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ АДСОРБИРОВАННОГО КРАСИТЕЛЯ

И.А.Юрченко, В.З.Лозовский, С.А.Шило, О.М.Гецко

Предполагается новый экспериментальный метод изучения сверхпроводников, основанный на измерении спектров люминесценции адсорбированных на поверхности сверхпроводника молекул органических красителей.

В работе предлагается новый метод исследования высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП). Метод основан на изучении люминесценции молекул органических красителей адсорбированных на поверхности ВТСП. Нанесение молекул проводилось путем адсорбции красителя (эритрозин) из раствора 10^{-5} м/л в течение 40 мин. Измерялась температурная зависимость спектров люминесценции красителя в области $T \sim 4,2 \div 180$ К при фотовозбуждении молекул излучением лазера на парах меди $\lambda = 510$ нм. Одновременно регистрировалась температурная зависимость магнитной восприимчивости образцов.

Исследования проводились на поверхностях объемного керамического образца $YBaCuO$ ($T_c = 50$ К), эпитаксиальной пленки $YBaCuO$ ($T_c = 87$ К), а также пленке NbN ($T_c = 13,5$ К).

На рисунке представлены температурные зависимости квантового выхода люминесценции молекул эритрозина $\eta(T)$ и магнитной восприимчивости образца χ , на пленке NbN (кривые 1, 2), пленке $YBaCuO$ (кривые 3, 4) и керамике $YBaCuO$ (кривые 5, 6). Проанализируем полученные результаты. Для обычного сверхпроводника (NbN) в области фазового перехода происходит небольшое ($\approx 5\%$) скачкообразное изменение квантового выхода люминесценции $\eta(T)$ адсорбированных молекул. Причем, выше и ниже точки перехода T_c , величина $\eta(T)$ практически постоянна. Различие в величине $\eta(T)$ естественно связать с изменением диэлектрической функции подложки при переходе из нормальной в сверхпроводящую фазу. Известно¹, что оптические свойства адсорбированных молекул в сильной степени определяются локальным полем на молекуле, которое в свою очередь, зависит от диэлектрической функции адсорбента. Действительно, квантовый выход люминесценции определяется по формуле

$$\eta(T) = \int_0^{\infty} d\omega I(\omega, T), \quad (1)$$

где форма линии люминесценции есть

$$I(\omega, T) = \frac{1}{\pi} \operatorname{Re} \int_0^{\infty} e^{-i(\omega - i\gamma)t} \operatorname{Sp} [\hat{\rho}^A \mathbf{P}(t) \mathbf{P}(0)] dt, \quad (\gamma > 0, \gamma \rightarrow 0), \quad (2)$$

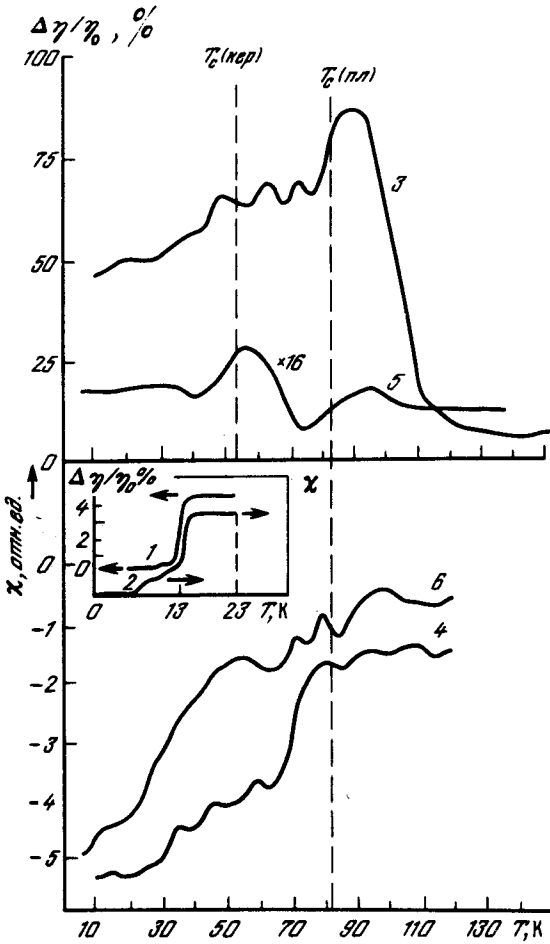
где матрица плотности системы $\hat{\rho}$ удовлетворяет уравнению

$$\partial \hat{\rho} / \partial t = i [\mathcal{H}, \hat{\rho}], \quad \mathcal{H} = \mathcal{H}_0 + \hat{\mathcal{H}}_1(\epsilon),$$

\mathcal{H}_0 – гамильтониан системы без взаимодействия, $\hat{\mathcal{H}}_1(\epsilon)$ – гамильтониан взаимодействия молекул с адсорбентом и друг с другом, $\mathbf{P}(t) = \exp(i\hat{\mathcal{H}}t) \mathbf{P}(0) \exp(-i\hat{\mathcal{H}}t)$, $\mathbf{P}(0)$ – оператор дипольного момента молекулы, ϵ – диэлектрическая функция адсорбента. Отсюда следует, что

$$\eta(T) = \eta(T, \epsilon). \quad (3)$$

В ВТСП ситуация, как видно из рисунка иная. Для $\eta(T)$ молекул, адсорбированных на кристаллической плёнке YBaCuO кроме почти неизменного хода вдали от T_c , существует достаточно широкая по температуре (≈ 40 К) область, где $\eta(T)$ ведет себя особенным образом, а именно проходит через максимум при $T \approx 105$ К. При этом, величина изменения $\eta(T)$ порядка 100 %.



Температурные зависимости магнитной восприимчивости χ (кривые 2, 4, 6) и квантового выхода люминесценции η адсорбированного на поверхности образца красителя – эритрозин

$$\frac{\Delta\eta}{\eta_0} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} \quad (\eta_0 - \text{квантовый выход люминесценции красителя при } T = 180 \text{ К})$$

кривые 1, 3, 5. 1, 2 – пленка NbN ; 3, 4 – пленка на подложке $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7 - \text{MgO}$; 5, 6 – керамика $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$

Для молекул, адсорбированных на керамике YBaCuO таких областей поведения $\eta(T)$ две – вблизи $T \approx 90$ К и $T \approx 50$ К. Это можно связать с наличием по крайней мере двух фазовых переходов. При первом ($T \approx 90$ К) происходит переход в сверхпроводящую фазу отдельных изолированных областей образца. При втором ($T \approx 55$ К) происходит второй переход, при котором весь образец переходит в сверхпроводящую фазу, что подтверждается измерениями проводимости.

Особенности поведения $\eta(T)$, могут быть связаны со следующими факторами: во-первых, в силу неоднородности образцов адсорбента переход в сверхпроводящую фазу оказывается несколько размытым (область порядка 30 К). Во-вторых, согласно флуктуационно-диссипативной теореме ², диэлектрическая функция определяется корреляторами типа ток-ток

$$\langle j_i j_j \rangle_{k, \omega, z} \sim C \overset{\wedge}{\text{Im}} \overset{\leftrightarrow}{\epsilon}. \quad (4)$$

В флуктуационной области эти корреляторы становятся аномально большими, поэтому локальное поле на молекуле сильно меняется. Это приводит к особому поведению $\eta(T)$.

Обратим внимание на необычно широкую флуктуационную область в ВТСП, так для поликристаллической пленки $YBaCuO$ она составляет ≈ 10 К, что, по-видимому, связано с достаточно малой длиной когерентности у ВТСП³.

Третьим фактором, который, возможно, определяет аномальное поведение $\eta(T)$ вблизи T_c , может являться наличие структурного перехода в таких системах, на возможность которого указывается в работе⁴.

Таким образом, предлагаемый нами метод молекулярных меток может быть полезным дополнением к существующим экспериментальным методам исследования сверхпроводников.

Литература

1. Гигантское комбинационное рассеяние. Под ред. Ченга Р. и Фуртака Т. М.: Мир, 1984.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. ч. I. М.: Наука, 1976.
3. Ginsburg V.L. Abstracts of Internat. Conference on High-Temper. Superconductors and materials and mechanisms of Superconductivity, February 24 – March 4, 1988, Interlacen, Switzerland, D22.
4. Головашкин А.И., Иваненко О.М., Лейтус Г.И. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 46, 325.

Институт полупроводников
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
23 мая 1988 г.