

ОСЦИЛЛЯЦИИ РАБОТЫ ВЫХОДА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЕНКИ Sr_2O_3 В СИЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.И.Нижанковский, Р.Н.Шефтал¹⁾, С.Г.Зыбцев¹⁾

Институт физических проблем РАН
117334, Москва

¹⁾Институт радиотехники и электроники РАН
101000, Москва

Поступила в редакцию 24 января 1992 г.

Обнаружены осцилляции работы выхода тонкой ($d \approx 600\text{Å}$) монокристаллической пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($T_c = 85\text{ K}$) в полях 120 - 150 кЭ при температуре 1.4 К.

Исследования электронной структуры высокотемпературных сверхпроводников представляют значительный интерес как для выяснения механизма высокотемпературной сверхпроводимости, так и для понимания многих других необычных свойств.

Изучение спектров фотоэлектронной эмиссии ^{1,2} позволило установить основные характеристики зонной структуры ряда ВТСП соединений, однако недостаточное энергетическое и импульсное разрешение этих методов препятствует исследованию электронных состояний непосредственно на уровне Ферми.

Восстановление формы поверхности Ферми из спектров аннигиляции позитронов сильно усложняется тем фактом, что только $\sim 7\%$ сигнала связано с состояниями на поверхности Ферми, а остальные 93% возникают от внутренних оболочек атомов и заполненных валентных зон ³. Это привело к тому, что результат многомесячных экспериментов ⁴ не дал никакой информации о поверхности Ферми $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

Первые данные о поверхности Ферми в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,97}$ в нормальном состоянии были получены из измерений эффекта де Гааза-ван Альфена в мегагауссном диапазоне полей ⁵. В этих экспериментах магнитное поле длительностью ~ 10 мкс создавалось взрывной методикой, а образцы представляли собой компаундированный порошок ориентированных магнитным полем кристаллитов размером ≈ 10 мкм. Ясно, что в такой методике очень трудно провести систематическое изучение топологии поверхности Ферми, зависимости экстремальных сечений от содержания кислорода, ориентации и т.п.

В настоящем сообщении содержатся первые экспериментальные результаты, полученные при исследовании влияния магнитного поля на работу выхода тонких монокристаллических пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

При постановке эксперимента мы исходили из следующих соображений:

1. Как известно, квантование орбитального движения электронов металла, помещенного в сильное магнитное поле, приводит к осцилляциям плотности состояний, частота которых определяется экстремальными сечениями поверхности Ферми. Следствием этих осцилляций является, например, эффект де Гааза-ван Альфена. Если исходить из условия постоянства электронной концентрации, то осцилляции плотности состояний должны приводить к осцилляциям химического потенциала и, значит, работы выхода ^{6,7}. Отрицательный результат поиска таких осцилляций на монокристаллах бериллия ⁸ и

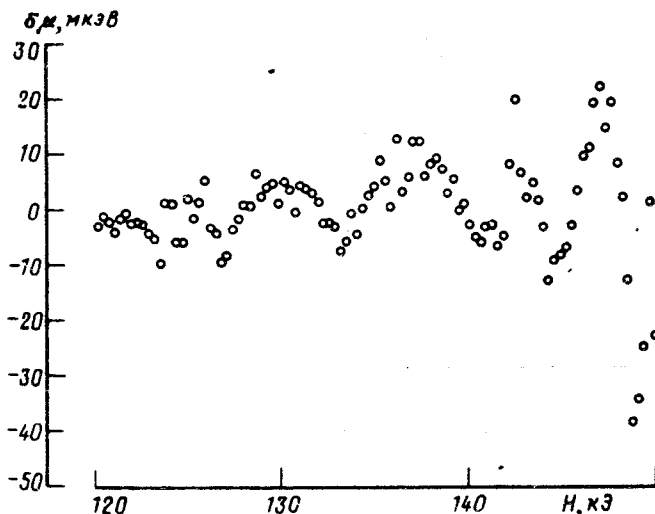


Рис. 1. Результат усреднения пяти записей осциллирующей работы выхода тонкой монокристаллической пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, сделанных при $T = 1,4\text{K}$. Каждая показанная точка соответствует ≈ 12 исходным

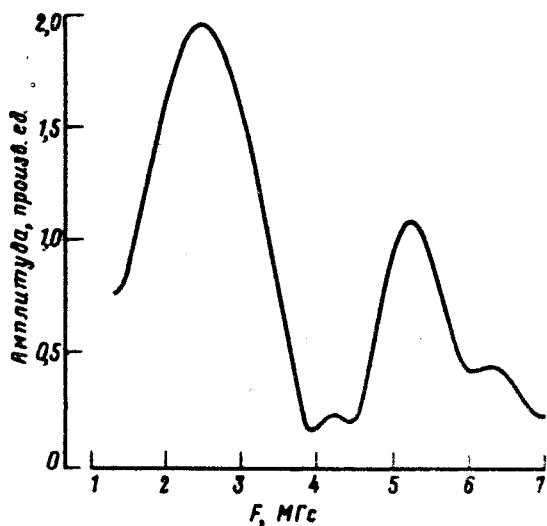


Рис. 2. Спектр фурье-осцилляций

висмута⁹ был объяснен компенсирующим влиянием магнитострикции, при котором осцилляции μ , связанные с осцилляциями плотности состояний, компенсируются осцилляциями μ , связанными с магнитострикционными осцилляциями объема²). Вклад магнитострикции можно исключить, если для эксперимента использовать тонкую монокристаллическую пленку, хорошо закрепленную на диэлектрической подложке.

2. Существенное значение для наблюдения осцилляций μ имеет однородность магнитного поля. Как известно¹¹, тонкая сверхпроводящая пленка, помещенная в поперечное магнитное поле $H < H_{c2}$, всегда находится в смешанном состоянии. В случае $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ среднее расстояние r между вихрями в поле $H \sim 150\text{ кЭ}$ можно оценить как $r = \xi \sqrt{H_{c2}/H} \approx 30\text{ \AA}$, что много меньше глубины проникновения λ . Ролью индуцированных сверхпроводящих токов также можно пренебречь, так как даже при $j_{кр} \approx 10^7\text{ А/см}^2$ и толщине пленки $d = 1000\text{ \AA}$ создаваемое ими поле не превысит 50 Э .

²) Иное объяснение было дано в работе¹⁰

Пленки были получены ¹² сочетанием методов кристаллизации лазерного испарения и горячей стенки (hot wall) на свежих сколах монокристалла MgO ориентации {100}. Плоскости (001) пленок были параллельны плоскостям (001) подложек, а направление $\langle 110 \rangle$ пленок совпадало с направлением $\langle 110 \rangle$ подложек. Золотые контакты были нанесены лазерным напылением в вакууме. Критическая температура, определенная из измерений сопротивления, составила $T_c = 85\text{K}$ для пленки толщиной 600\AA .

Метод измерений осцилляций работы выхода был основан на определении изменения заряда измерительного конденсатора, составленного из исследуемого образца и бронзового электрода ⁹. Конструкция прибора была аналогична описанной в ⁸ с усовершенствованиями ¹³. Аналоговые сигналы с выхода электрометра и датчика магнитного поля измерялись цифровыми вольтметрами и записывались в персональный компьютер. Для уменьшения шума проводилось усреднение нескольких записей, сделанных в диапазоне полей 120 - 150 кЭ. Измерения выполнены в Международной лаборатории сильных магнитных полей и низких температур (г. Вроцлав, ПР).

На рис. 1 показаны осцилляции μ , обнаруженные на пленке толщиной 600\AA при $T = 1,4\text{K}$, а на рис. 2 приведен их спектр Фурье. Следует отметить, что на пленке толщиной 800\AA при $T = 4,2\text{K}$ осцилляции не наблюдались.

Частоты обнаруженных осцилляций в 2-2,5 раза меньше, чем наблюдавшиеся в ⁵, что может быть связано с меньшим содержанием кислорода в исследовавшейся нами пленке, $T_c = 85\text{K}$ которой заметно ниже $T_c = 93\text{K}$ образцов ⁵.

Если сопоставить полученные в ⁵ и нами данные с расчетом ^{14,15}, то можно прийти к выводу, что и эффект де Гааза-ван Альфена и осцилляции μ связаны с дырочными трубками, охватывающими $S - R$ ребра зоны Бриллюэна. Согласно расчетам эти трубки должны исчезать при $\delta > 0,1$, чем можно объяснить большую чувствительность частот осцилляций к содержанию кислорода.

Таким образом, нами предложен и реализован метод, при помощи которого может быть проведено систематическое изучение поверхности Ферми ВТСП соединений.

1. И.В.Киреев, М.Н.Михеева, В.Г.Назин, А.В.Свищев, СФХТ 2, 75 (1988).
2. С.G.Olson, Phys. B 169, 112, (1991).
3. T.Jarlborg, Phys. B 172, 245 (1991).
4. V.Barbeilini, P.Genoud, J.Y.Henry et al., Phys. Rev. B 43, 7810 (1991).
5. F.M.Mueller, C.M.Fowler, B.L.Freeman et al., Phys. B 172, 253 (1991).
6. И.М.Лифшиц, А.М.Косевич, ЖЭТФ, 29, 730 (1995).
7. М.И.Каганов, И.М.Лифшиц, К.Д.Синельников, ЖЭТФ 32, 605, (1964).
8. Н.Е.Алексеевский, В.И.Нижанковский, ЖЭТФ 88, 1771 (1985).
9. В.И.Нижанковский, В.Г.Мокеров, Б.К.Медведев, Ю.В.Шалдин, ЖЭТФ 90, 1326 (1986).
10. С.Г.Семенчинский, В.С.Эдельман, ФНТ 13, 979, (1987).
11. М.Н.Tinkham, Phys. Rev. 129, 2413 (1963).
12. R.N.Sheftal, S.G.Zybtsev and Sh.M.Babadjanian, Progress in High Temperature Superconductivity, 24, 609 (1989).
13. В.И.Нижанковский, Б.К.Медведев, В.Г.Мокеров, Письма в ЖЭТФ 47, 343 (1988).
14. J.Yu, S.Massidda, A.J.Freeman and D.D.Koelling, Phys. Lett. A 122, 203 (1987).
15. W.E.Pickett, R.E.Cohen, H.Krakauer, Phys. Rev. B 42, 8764 (1990).