

## АНОМАЛИИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛЕНОК $Cu_nC_{60}$ В ОБЛАСТИ ТЕМПЕРАТУР 80–120 К

© В.Ф.Мастеров, А.В.Приходько, О.И.Коньков, Е.И.Теруков

Санкт-Петербургский государственный технический университет,  
195251 Санкт-Петербург, Россия  
(Поступила в Редакцию 14 ноября 1995 г.)

В работах [1–3] сообщалось о наблюдении сверхпроводящего фазового перехода в порошкообразных образцах  $Cu_nC_{60}$  при температурах 80–120 К. В данной работе приводятся результаты по обнаружению фазового перехода при азотных температурах в тонких пленках аналогичного состава.

Пленки изготавливались методом термического испарения электролитической меди (99%) и одновременной сублимацией порошка  $C_{60}$  (99.8% чистоты) в вакууме ( $p = 10^{-6}$  Торр). Подложкой служили синталловые пластинки. Для монотонного изменения концентрации меди испарители были разнесены на длину подложки (87 мм) и отстояли от нее на 70 мм. Полученные пленки отжигались при  $T = 820^\circ\text{C}$  в потоке аргона под давлением 1 атм в течение часа. В качестве контактов использовались медные полоски, расстояние между которыми составляло 100 мкм. Схематически образцы представлены на вставке на рис. 1. Измерения сопротивления проводились импульсным методом с длительностью импульса порядка 10 нс и на постоянном токе. Зависимость сопротивления образца от координаты, измеренная на постоянном токе, представлена на рис. 1 (кривая 1). Область  $x = 50\text{--}57$  мм соответствует массовому соотношению  $C_{60}/Cu$  (6.2–9.2), которое определялось из профиля распределения по толщине отдельно для  $C_{60}$  и Cu. Значение индекса  $n$  при этом равно 1.2–1.8. Изменение толщины пленки по ее длине представлено на рис. 1 (кривая 2).

По данным ИК-спектроскопии различных участков образца в области  $x = 50\text{--}57$  мм, основу образца составляет фуллерен  $C_{60}$ .

Для регистрации температурной зависимости сопротивления в условиях минимального разогрева образца нами использовалась, как указано выше, импульсная методика, позволяющая регистрировать раздельно падающий и отраженный от образца импульсы напряжения наносекундной длительности [4]. Применялись стробоскопический осциллограф С7–8, генератор прямоугольных импульсов на основе ртутного реле с фронтом импульса  $\leq 0.45$  нс, длительностью 4–10 нс и частотой следования импульсов 150–220 Нз. Температура измерялась электронным термометром с хромалюминиевым датчиком.

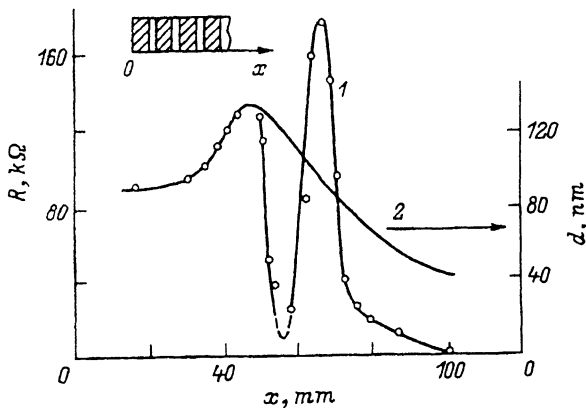


Рис. 1. Зависимость сопротивления образца  $\text{Cu}_n\text{C}_{60}$  (1) и его толщины (2) от координаты  $x$ .

На вставке схематически представлен образец: темные участки — медь, светлые —  $\text{C}_n\text{C}_{60}$ .

Сравнительно высокие сопротивления пленок в области  $x = 50-57$  мм ( $R \approx 10$  кΩ) не позволяют регистрировать изменения амплитуды отраженного импульса ( $R/\rho \geq 10^2$ ,  $R$  — сопротивление образца,  $\rho$  — волновое сопротивление) в соответствии с методикой, описанной в [4]. Поэтому для решения данной задачи использовались особенности переходных процессов в образце, заключающиеся в том, что крутизна нарастания импульса, отраженного от образца, эквивалентна постоянной времени, определяемой параметрами нагрузки [5]. Регистрируя изменение крутизны фронта импульса (рис. 2, б), отраженного от образца, можно получить информацию о его электрических параметрах, в частности, о сопротивлении.

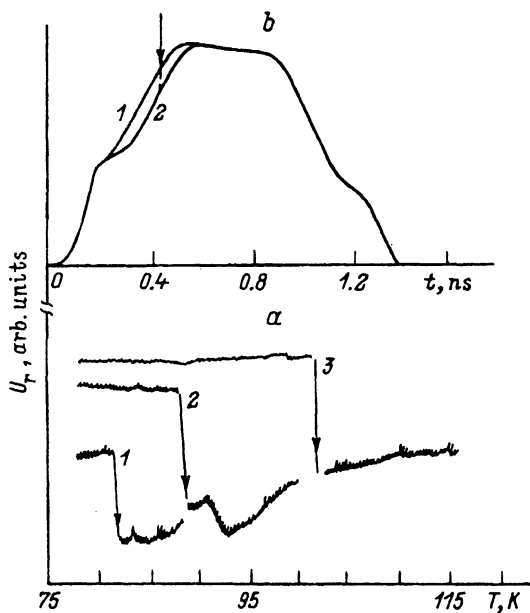


Рис. 2. Динамика  $U_r(I)$  при последовательном термоциклировании (1-3) образца  $\text{Cu}_n\text{C}_{60}$  (а) и форма отраженного импульса (б).

Стрелка указывает место изменения крутизны при фазовом переходе: 1 —  $T < T_c$ , 2 —  $T > T_c$ .

На рис. 2, а показано изменение амплитуды отраженного импульса  $U_r$  в определенной точке переднего фронта, отмеченной стрелкой на рис. 2, б, при последовательном термоциклировании для образца в области  $x = 50-57$  мм. Термоциклирование проводилось в интервале температур 78-150 К без нагрева до температуры окружающей среды. Наблюдается резкое уменьшение крутизны переднего фронта отраженного импульса при повышении температуры от азотной, что можно отнести к существованию в образце сверхпроводящих областей. При этом последовательные термоциклы приводят к изменению температуры перехода от 83 до 103 К. Это согласуется с результатами работы [6] по исследованию наносекундного воздействия на порошкообразный  $Cu_nC_{60}$  образец аналогичного состава, где  $T_c \sim 90$  К.

Указанный переход наблюдался только в области первого минимума на кривой зависимости сопротивления образца от концентрации меди (50-57 мм) (рис. 1). Уменьшение сопротивления при  $x > 70$  мм не сопровождается появлением сверхпроводящей фазы в образце. При этом, по данным ИК-спектроскопии, фуллерен практически исчезает, и эта область представляет собой аморфный углерод с интеркалированными в него атомами.

Аналогичный эффект наблюдается и в порошкообразных образцах  $Cu_nC_{60}$ : отжиг при температурах выше 800° С приводит к диссоциации фуллерена и как следствие к исчезновению сверхпроводящих свойств. Следовательно, за образование сверхпроводящих областей действительно ответственна система  $Cu-C_{60}$  при этом как электрические, так и сверхпроводящие свойства очень критичны к содержанию меди (рис. 1). Следует отметить, что при постановке задачи по обнаружению сверхпроводимости в фуллерене  $Cu_nC_{60}$  мы основывались на значении  $n = 1.5$ , предполагая, что медь находится в состоянии  $Cu^{2+}$ , т.е. отдает два электрона в зону проводимости; именно при этом значении индекса меди зона проводимости заполняется наполовину, как у известных фуллеридов щелочных металлов. Это значение соответствует диапазону изменения  $n = 1.2-1.8$  для области 50-57 мм исследованного образца.

Таким образом, итогом работы является обнаружение фазового перехода в пленках  $Cu_nC_{60}$ , аналогичного наблюдаемому для порошкообразных образцов того же состава, имеющего, по всей видимости, то же происхождение.

Работа поддержана Научным советом по проблеме «Фуллерены и атомные кластеры».

#### Список литературы

- [1] Мастеров В.Ф., Коньков О.И., Приходько А.В., Теруков Е.И., Попов Б.П., Ястребов С.Г. Письма в ЖТФ 20, 15, 17 (1994).
- [2] Мастеров В.Ф., Приходько А.В., Коньков О.И., Теруков Е.И. Письма в ЖТФ 21, 1, 66 (1995).
- [3] Masterov V.F., Prikhodko A.V., Terukov E.I., Konkov O.I. Book of Abstr. IWFAС-95. St.Petersburg (1995). P. 136.
- [4] Jantsch W., Heinrich H. Rev. Sci. Instr. 41, 2, 228 (1970).
- [5] Моругин Л.А., Глебович Г.В. Наносекундная импульсная техника. М. (1964). 623 с.
- [6] Мастеров В.Ф., Приходько А.В., Коньков О.И., Теруков Е.И., Дапкус Л.З. ФТТ 38, 5, 102 (1996).