

05.4;11;12

©1993 г.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ПЕРЕХОДА МЕТАЛЛ-СВЕРХПРОВОДНИК В ПЛЕНКАХ $C_xCu_y$ ПРИ АЗОТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

*В.Л.Аверьянов, Н.Е.Базиева, В.Ф.Мастеров,  
А.В.Приходько, С.Г.Ястребов*

Одной из групп способов получения углеродных пленок в аморфном состоянии являются методы магнетронного распыления графитовой мишени или магнитоплазменного разложения углеводородов в атмосфере инертного газа, водорода или их смеси. При этом углерод может входить в образующуюся пленку в виде одной из своих аллотропных форм (графит, алмаз, карбин), волокон, а также в виде открытых недавно новых форм — макромолекулярных кластеров [1,2], образующихся в результате процессов самоорганизации в газовой фазе. Эти кластеры получены в ряде лабораторий мира при сходных технологических условиях (распыление графитовой мишени в атмосфере инертного газа, его давление и температура) с условиями, при которых получают пленки аморфного углерода. В процессе получения пленки такого материала макрокластеры могут размещаться не строго в узлах кубической решетки, как это имеет место, например, у фуллерита [3], т.е. твердофазной формы, содержащей одни из типичных представителей новых форм углерода — кластер  $C_{60}$ , а в узлах деформированной решетки, как у аморфного материала. Открытие высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) в фуллеритах при их легировании материалами I группы таблицы Менделеева — щелочными металлами [4] — и возможное сочетание этого эффекта с высоким качеством пленок, получаемых магнитоплазменными методами, а также простотой введения примеси в получаемый при помощи таких методов материал, представляет особый интерес, поэтому в рамках настоящей работы предпринято исследование электрофизических свойств аморфного углерода при его легировании медью.

Исследовались тонкие слои углерода  $C_xCu_y$ , полученные методом реактивного магнетронного распыления графитовой мишени на постоянном токе в атмосфере аргоно-водородной смеси (80% Ar+20% H<sub>2</sub>), толщина (а также оптические константы слоев) определялась с помощью эллипсометрии [5] и оказалась равной  $d = 2000$ . Медь вносилась в пленку при помощи метода сораспыления медной и графитовой мишеней, ее концентрация в пленке изменялась при помощи варьирования площади медной мишени. Были получены слои, обладающие хорошей адгезией к кремниевым, арсенидгаллиевым, кварцевым и ситалловым подложкам. Для исследования применялись образцы планарной геометрии, напылявшиеся на ситалловые (кварцевые) подложки, на которые предварительно были нанесены методом магнетронного распыления электроды из нержавеющей стали. Исследовались вольт-амперные ха-

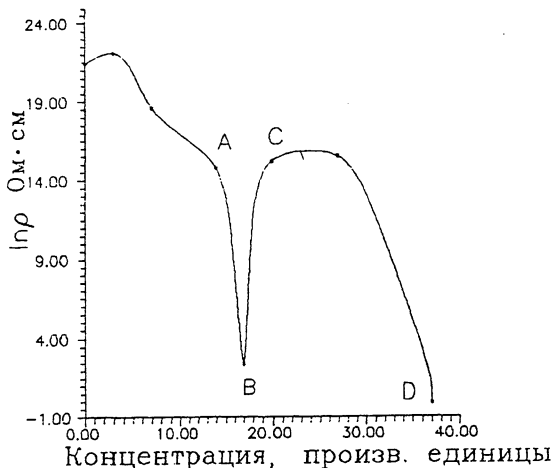


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления от содержания меди.

рактические (ВАХ) образцов в динамическом режиме при подаче медленно меняющегося напряжения треугольной формы с частотой  $10^{-3}$  Гц. Типичные ВАХ, наблюдавшиеся при этом, были линейными. Полученные ВАХ использовались для вычисления удельного сопротивления образцов.

На рис. 1 представлена зависимость удельного сопротивления образцов, определенного при комнатной температуре, от концентрации меди. Видно, что наблюдается фазовый переход по типу диэлектрик — металл (интервал  $A - B$  на рисунке), при дальнейшем увеличении концентрации меди наблюдается фазовый переход по типу металл — диэлектрик (интервал  $B - C$ ) и, наконец, переход диэлектрик — металл (интервал  $C - D$ ).

При взаимодействии материала, проявляющего ВТСП свойства, с электромагнитным ВЧ полем, оказывается достаточно просто определить параметры сверхпроводящего фазового перехода ( $T_c$  и  $\Delta T_c$ ), связанные с эффектами поглощения такого излучения материалом исследуемого вещества. Для этих целей в рамках данной работы использовалась установка, созданная на базе ядерного магнитометра автодинного типа [6]. Она позволяет регистрировать мнимую часть магнитной восприимчивости материала  $\chi''$  на частотах 8–10 МГц. На рис. 2 (кривая 1) приведена типичная зависимость  $\chi''$  для ВТСП керамики состава  $Y_1Ba_2Cu_3O_7$ , изготовленной стандартным способом [6]. На рис. 2 представлены также зависимости  $\chi''(T)$  для тонких пленок углерода, легированного медью, соответствующие точке  $B$  рис. 1.

Отметим характерное для ВТСП поведение диамагнитного ответа для пленки с концентрацией меди, соответствующей точке фазового перехода диэлектрик — металл (точка  $B$  на рис. 1) и его практическое отсутствие для остальных точек интервала  $A - B$ . На интервале  $B - C$  диамагнитный ответ намного меньше наблюдаемого в точке  $B$ . Отметим также существование эффекта, проявляющегося в некотором увеличении диамагнитного вклада после двух термоциклов, т.е. после двух помещений образца в азот

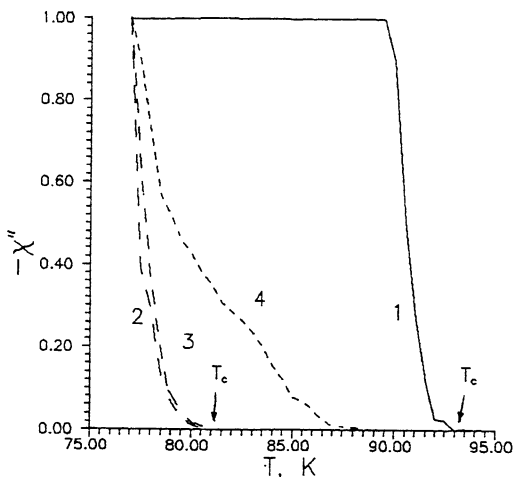


Рис. 2. Температурная зависимость нормированной мнимой части магнитной восприимчивости.

(рис. 2, кривые 2,3). Однако после большего количества термоциклов или после помещения образца в гелий диамагнитный вклад резко уменьшается. Характерный вид зависимости  $\chi''(T)$ , наблюдающийся при этом, приведен на рис. 2 (кривая 4).

Итак, при легировании медью тонких слое углерода, полученного магнетронным сораспылением графитовой и медной мишеней в аргон-водородной смеси, при комнатной температуре наблюдается с ростом концентрации меди фазовый переход по типу диэлектрик — металл, при дальнейшем увеличении концентрации наблюдается фазовый переход по типу металл — диэлектрик и, наконец, переход диэлектрик-металл.

Исследовавшиеся пленки при определенной концентрации легирующего металла претерпевают фазовый переход по типу металл — сверхпроводник, проявляющийся при температуре, близкой к азотной.

Авторы выражают признательность В.И.Иванову-Омскому за поддержку работы.

#### Список литературы

- [1] Rohlfing E.A., Cox D.M., Kaldor A. // J. Chem. Phys. 1984. V. 81. P. 3322-3330.
- [2] Kroto H.W., Heath J.R., O'Brien S.C., Curl R.F., Smalley R.E. // Nature. 1985. V. 318. P. 162-163.
- [3] Kratschmer W., Lamb L.D., Fostiropoulos K., Huffman D.R. // Nature. 1990. V. 347. P. 354-358.
- [4] Hebard A.F., Rosseinsky M.J., Haddon R.C., Murphy D.W., Clarum S.H., Palstra T.T.M., Ramirez A.P., Kortan A.R. // Nature. 1991. V. 350. P. 600.
- [5] Авсрянов В.Л., Звонарева Т.К., Чернышев А.В., Ястребов С.Г. // ФТТ. 1991. Т. 53. С. 3410-3412.
- [6] Масперов В.Ф. В кн.: Высокотемпературная сверхпроводимость. Л.: Машиностроение, Т. 1. 1990. С. 405-445.