

Исследование сверхпроводящих свойств системы Cu–C в миллиметровом диапазоне длин волн

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

Санкт-Петербургский государственный технический университет,
195251 Санкт-Петербург, Россия

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Поступила в Редакцию 17 октября 1995 г.)

Исследованы свойства цилиндрического порошкообразного образца системы Cu–C как микроволновой антенны на частоте 35 GHz в интервале температур 80–300 К. Показано, что добротность такой антенны увеличивается при понижении температуры от комнатной до азотной практически в 2 раза, что связано, по-видимому, со сверхпроводящим переходом в области температур около 80 К.

В работе [1] сообщалось о наблюдении сверхпроводящего перехода в порошкообразных образцах системы Cu–C с температурой фазового перехода, лежащей в интервале 80–120 К в зависимости от состояния образца. Фазовый переход регистрировался по температурной зависимости сигнала микроволнового поглощения, магнитной восприимчивости и сопротивления на низких частотах (~ 1 kHz). Там же описана технология приготовления образцов Cu–C и приведены предварительные данные по их рентгеноструктурному сигналу, согласно которым в образцах, полученных на основе фуллерена (в качестве исходного материала), содержатся по крайней мере три фазы. Основу двух из них составляют аморфный углерод и кластеры меди, а третья фаза пока не расшифрована.

В ряде работ [2–5] докладывалось о существенном увеличении добротности микроволновых антенн на частотах 220 MHz–36 GHz с активным элементом, изготовленным из высокотемпературных керамических сверхпроводников. В настоящей работе приводятся результаты аналогичных исследований на частоте 35 GHz с использованием в качестве антенны порошкообразного образца Cu–C. Исследовалась температурная зависимость излучаемой СВЧ-мощности и измерялась ширина амплитудно-частотной характеристики антенны при $T = 300$ и 77 К.

Схема установки приведена на рис. 1. Порошок Cu–C засыпался в полиэтиленовую трубку с внутренним диаметром 2 mm, длиной 8 mm и толщиной стенки 0.5 mm. С торцов образец поджимался стеклоуглеродными блоками для обеспечения надежного контакта между частицами порошка и помещался на щель ($50 \mu\text{m} \times 8 \text{ mm}$) в широкой стенке волновода. Для получения оптимальных условий возбуждения образец мог перемещаться поперек щели, дополнительная подстройка осуществлялась короткозамкнутым поршнем на одном из концов волновода. Для регистрации излучения на расстоянии порядка 10λ от образца устанавливалась рупорная приемная антенна, сигнал от которой поступал на вход анализатора спектра. При измерении амплитудно-частотной харак-

теристики антенны происходит сканирование частоты генератора СВЧ-мощности в диапазоне $\Delta\nu \sim 1$ GHz.

На рис. 2 представлена температурная зависимость мощности излучения (кривая 1), на которой отчетливо видно резкое увеличение мощности излучения P при $T < 80$ К, соответствующее столь же резкому уменьшению сопротивления образца (кривая 2) (немонотонность зависимости $P(T)$ в области температур 105–110 К является аппаратурной). Из этого рисунка видно, что существует определенная корреляция между зависимостями $P(T)$ и $R(T)$, а температуру 80 К можно считать температурой T_c начала фазового сверхпроводящего перехода. Очевидно, что если при этом действительно происходит переход образца в сверхпроводящее состояние, то при $T < T_c$ должна также заметно возрасти добротность антенны, т.е. уменьшиться ширина амплитудно-частотной характеристики (АЧХ).

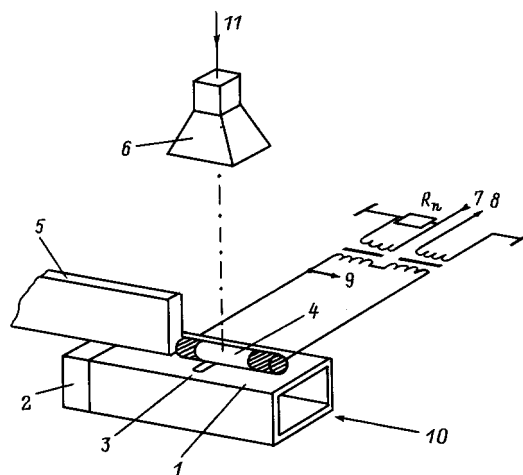


Рис. 1. Схема установки для исследования амплитудно-частотных характеристик микроволновой антенны на основе Cu–C. 1 — волновод, 2 — короткозамкнутый поршень, 3 — щель, 4 — образец, 5 — механизм перемещения образца, 6 — приемная рупорная антенна, 7 — напряжение частотой 1–100 kHz от генератора Г3-112, 8, 9 — нановольтметры 232.В.Упипан, 10 — СВЧ-генератор Р2-65, 11 — амплитудно-частотный анализатор Г4-161.

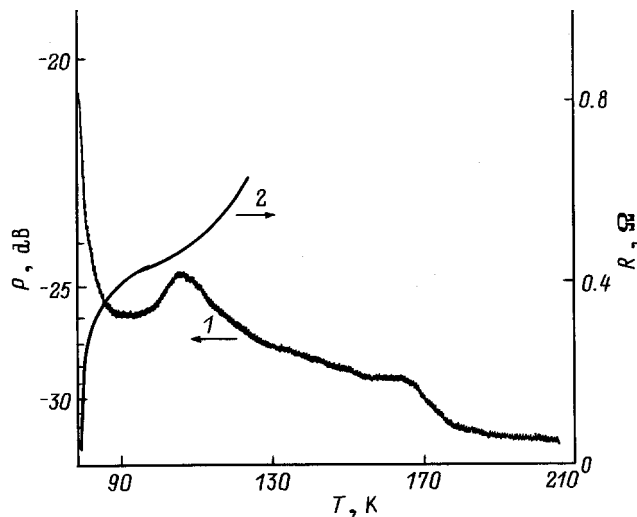


Рис. 2. Температурная зависимость мощности, излучаемой Cu–C-антенной (1), и сопротивления образца Cu–C (2). Мощность выражена в dB к уровню 1 mW.

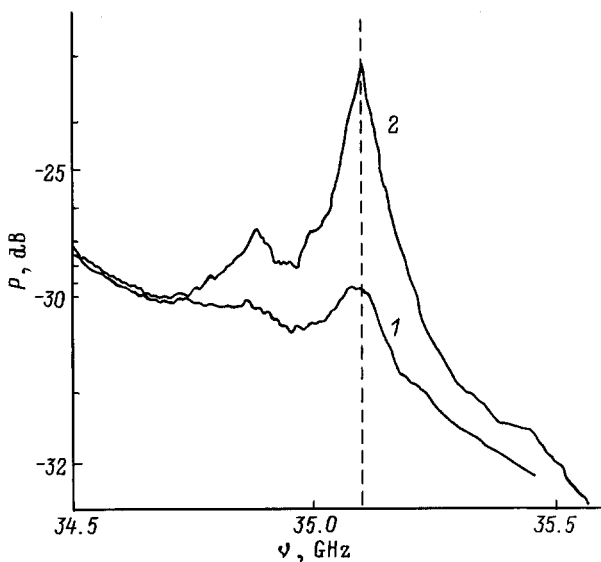


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика антенны Cu–C при комнатной (1) и азотной (2) температурах.

На рис. 3 приведены амплитудно-частотные характеристики исследуемой антенны с активным элементом Cu–C при температурах 300 и 77 К. Как видно из этого рисунка, действительно ширина АЧХ при $T = 77$ К на уровне 0.7, составляющая $\Delta\nu_{77} = 47$ MHz (0.3%), почти в 2 раза меньше, чем при $T = 300$ К ($\Delta\nu_{300} = 86$ MHz). Необходимо отметить, что полученные значения $\Delta\nu$ почти в 10 раз меньше значений, приведенных в [5] для пленочной антенны из $\text{Bi}_2\text{Gr}_2\text{CaCuO}_8$ при азотной температуре на частоте 35 GHz ($\Delta\nu_{77} = 400$ MHz). С нашей точки зрения, столь значительное увеличение добротности антенны в данном случае обусловлено тем, что она нагружена не на свободное пространство непо-

средственно, а через диэлектрический резонатор, которым является полиэтиленовая трубка. Свойства таких трубок как диэлектрических резонаторов исследовались нами ранее [6].

Таким образом, приведенные в настоящей работе результаты исследования системы Cu–C на сверхвысоких частотах, как нам представляется, служат дополнительным подтверждением существования в этой системе сверхпроводящего фазового перехода при азотной температуре.

Работа частично поддерживалась в рамках Межотраслевой научно-технической программы России "Фуллерены и атомные кластеры" и US Department of Defence.

Список литературы

- [1] В.Ф. Мастеров, О.И. Коньков, А.В. Приходько, Е.И. Теруков, С.Г. Ястребов. Письма в ЖТФ **20**, 15, 17 (1994).
- [2] S.K. Khamas, M.J. Mehler, T.S.M. Maclean, C.E. Gough, N.McN Alford, M.A. Harmer. *Electr. Lett.* **24**, 8, 460 (1988).
- [3] H. Aisheng, S. Changsheng, Z. Jincang, L. Nan, T. Bin, L. Darong, Z. Meiling, W. Weiguo, H. Yusheng. *Cryogenics* **30**, 9, 946 (1990).
- [4] R.J. Dinger. *J. Supercond.* **3**, 3, 287 (1990).
- [5] V. Celik, A. Prichodko, R. Raguotis, B. Vengalis. *Int. J. Infrared Mm Waves* **15**, 3, 303 (1994).
- [6] M.N. Kotov, V.F. Masterov, A.V. Prichodko, O.V. Smertin. *Int. J. Infrared Mm Waves* **14**, 5, 895 (1993).