

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА
ДЛИН ВОЛН С ТОНКИМИ ПЛЕНКАМИ $Y-Ba-Cu-O$

В.Н. Губанков, Ю.Я. Дивин,
С.Г. Зыбцев, П.М. Шадрин,
Р.Н. Шефталъ

С открытием сверхпроводимости в металлооксидных соединениях [1, 2] появляется возможность перенести ряд решений традиционно гелиевой сверхпроводниковой электроники на область существенно более высоких температур. В частности, значительный интерес представляет высокотемпературная реализация сверхпроводникового болометра — одного из наиболее чувствительных приемников излучения в области спектра от видимого до СВЧ [3]. В этой связи нами исследовалось влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона длин волн на электрические характеристики пленок $Y-Ba-Cu-O$.

Пленки толщиной 0,2 мкм были нанесены на сколы монокристаллов MgO лазерным испарением керамики $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ в вакууме $2 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. на холодную подложку. Температура T_{co} перехода керамики в сверхпроводящее состояние составляла 85 К, ширина перехода 2 К, отношение сопротивлений $R(300\text{ К})/R(87\text{ К}) = 2.3$. После получения пленки отжигались в атмосфере кислорода при $T = 1000^\circ\text{C}$ в течение 10 минут и охлаждались до 500°C за 60 минут. Сопротивление пленок $R_D(300\text{ К})$ составляло 1–40 Ом. Средний размер зерна, определенный по уширению линий рентгеновской дифрактограммы, соответствовал 300–1000 Å. Размер конгломерированных зерен по данным сканирующей электронной микроскопии составлял 1–5 мкм. Температуры T_c перехода пленок в сверхпроводящее состояние, определенные по середине перехода, соответствовали 63–67 К, ширины ΔT перехода изменялись от 10 до 20 К. Отношение сопротивлений $R_D(300\text{ К})/R_D(81\text{ К})$ лежало в пределах 1.4–1.8.

Типичная температурная зависимость сопротивления $R(T)$ пленки $Y-Ba-Cu-O$ представлена на рис. 1 (кривая 1). Зависимость имеет линейный участок от комнатной температуры до $T \approx 80\text{ К}$, затем при понижении температуры происходит резкое изменение $R(T)$, и при $T \lesssim 60\text{ К}$ на зависимости $R(T)$ наблюдается плавное спадание R . Действие электромагнитного излучения с частотой $f = 70\text{ ГГц}$ на такую пленку приводит к сильному изменению зависимости $R(T)$ лишь в области низкотемпературного хвоста (кривые 2–4, рис. 1). Отклик $\Delta V(T)$, представляющий собой изменение напряжения на пленке в режиме заданного тока под действием излучения малой мощности, имеет значительную величину при низких температурах, при температуре 59 К имеет максимум и резко спадает при увеличении температуры в области

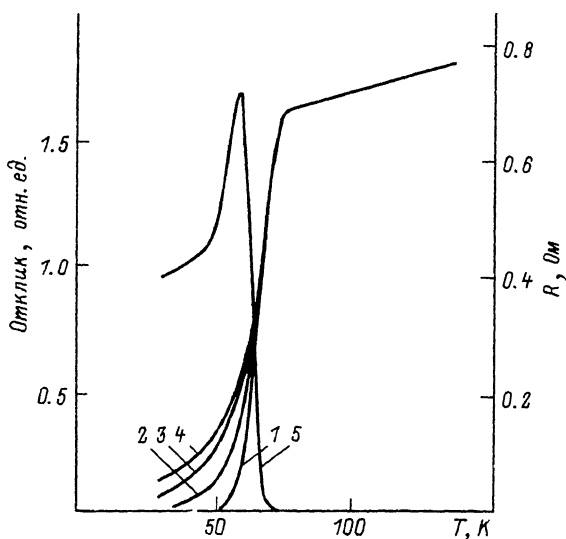


Рис. 1. Температурные зависимости сопротивления $R(T)$ (кривые 1-4) и отклика $\Delta V(T)$ (кривая 5) на излучение с частотой 70 ГГц для пленки $Y-Ba-Cu-O$ с $R_D(300\text{ K}) = 1.3\text{ Ом}$. Мощность внешнего излучения, Вт: 1 - 0, 2 - $8 \cdot 10^{-4}$, 3 - $2 \cdot 10^{-3}$, 4 - $2.5 \cdot 10^{-3}$, 5 - $1 \cdot 10^{-4}$.

сверхпроводящего перехода (кривая 5, рис. 1). Максимум отклика $\Delta V(T)$ находится на $\sim 10\text{ K}$ ниже температуры, при которой величина dR/dT пленки имеет максимум. Такое поведение отклика $\Delta V(T)$ не согласуется с интерпретациями, основанными как на болометрическом эффекте взаимодействия электромагнитного излучения с пленкой [3], так и на эффекте разогрева электронов в пленке, находящейся в резистивном состоянии, под действием электромагнитного излучения [4]. В обоих случаях отклик должен быть пропорционален величине dR/dT [3, 4], что не наблюдается для исследованных нами пленок.

На рис. 2 представлены вольт-амперные характеристики пленки $Y-Ba-Cu-O$ с $R_D(300\text{ K}) = 44\text{ Ом}$ (кривые 1, 2) и зависимости ее отклика ΔV от тока I через пленку (кривые 3, 4). При понижении температуры от критической температуры до гелиевых температур зависимости $\Delta V(I)$ смещаются в область больших токов. Токи, при которых начинают появляться отклики ΔV , возрастают с увеличением температуры и совпадают с критическими токами $I_c(T)$ пленок. Максимумы откликов $\Delta V(I)$ смещаются при понижении температуры в область больших токов. Вид вольт-амперных характеристик исследованных пленок $Y-Ba-Cu-O$ нелинеен при $I \geq I_c$ в диапазоне температур от гелиевых до критической тем-

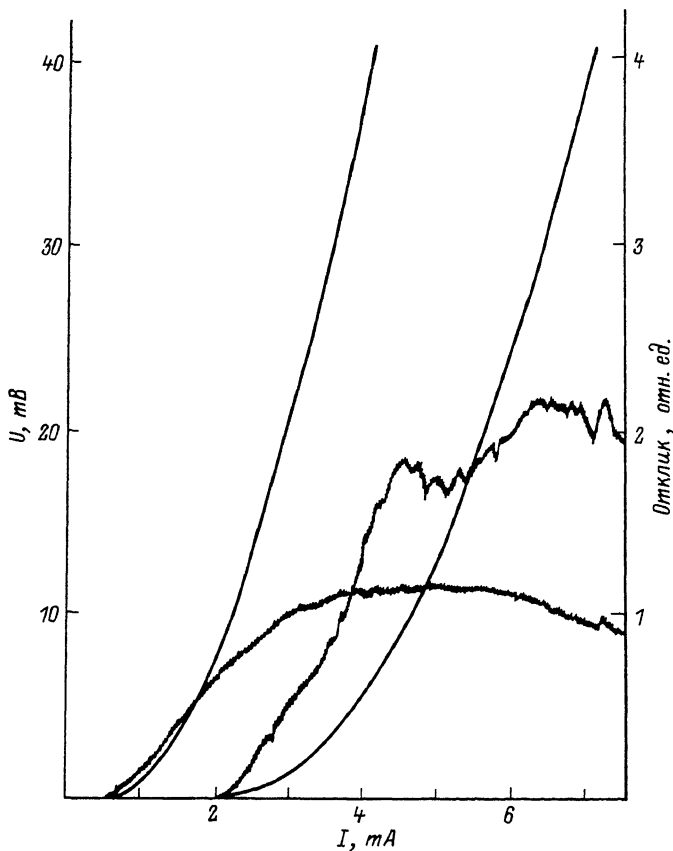


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики (кривые 1 и 2) и зависимости отклика $\Delta V(I)$ (кривые 3, 4) для пленки с R_{\square} (300 К) = = 44 Ом. Температура пленки T , К: 1, 3 - 42, 2, 4 - 26. Мощность излучения $\sim 10^{-8}$ Вт.

пературы T_c . При температурах вдали от T_c вид вольт-амперной характеристики при $I \gg I_c$ хорошо описывается зависимостью $V = = (I - I_c)^2$ и величина второй производной вольт-амперной характеристики d^2V/dI^2 практически не зависит от тока при $I \gg I_c$. Из сравнения зависимостей $\Delta V(I)$ и вида второй производной d^2V/dI^2 следует, что отклик исследованных пленок на миллиметровое излучение не связан с классическим детектированием на вольт-амперной характеристике.

Особенности взаимодействия полученных пленок $Y-Ba-Cu-O$ с электромагнитным излучением миллиметрового диапазона длин волн могут быть объяснены при учете гранулированной структуры пленок. Сопротивление пленок при $T \leq T_c$ может быть обусловлено

перколяционным характером проводимости в системе слабых связей, образованных в местах контактов отдельных сверхпроводящих гранул. Действие излучения приводит к понижению критических токов I_{cj} отдельных слабых связей до величин, меньших величин токов I_j , проходящих через данную слабую связь, обуславливает соответствующее повышение сопротивления пленки и появление отклика ΔV . Следует отметить, что образование отклика ΔV в такой модели обусловлено разрушением сверхпроводимости слабых связей, но происходит без возмущения сверхпроводящего состояния в гранулах пленки. В соответствии с этим максимальное значение ΔV , как это и наблюдается в эксперименте (рис. 1), соответствует температуре несколько ниже T_c и имеет значительную величину в области низкотемпературного хвоста $R(T)$. Эффекты, наблюдаемые в пленках $Y-Ba-Cu-O$ под действие миллиметрового излучения, близки к аналогичным эффектам в высокоомных ($R_D(300\text{ K}) \approx 10^4\text{ Ом}$) Sr -пленках [5] и, по-видимому, имеют одинаковую природу, несмотря на существенную разницу в сопротивлениях R_D .

Величины вольт-ваттной чувствительности пленок $Y-Ba-Cu-O$ с $R_D(300\text{ K}) \approx 40\text{ Ом}$ к излучению миллиметрового диапазона достигали 10^3-10^2 В/Вт в диапазоне рабочих температур T_0 от 20 до 60 К, причем эти значения чувствительностей достигались при токах, при которых сопротивление пленок $R_D(T_0)$ составляло $\sim 1\text{ Ом}$. Дальнейшая оптимизация параметров пленок из $Y-Ba-Cu-O$ путем увеличения $R_D(T_0)$ до $\sim 200\text{ Ом}$ и повышения T_c до температур T_{c0} исходных керамик может обеспечить реализацию при температурах кипения жидкого азота весьма чувствительных приемников излучения, несмотря на значительное повышение рабочих температур по сравнению с традиционными сверхпроводящими болометрами [6].

Л и т е р а т у р а

- [1] Bednorz J.G., Muller K.A. - Z.Phys., 1986, v. B64, p. 189-191.
- [2] Wu M.K. et al. - Phys. Rev. Lett., 1987, v. 58, N 9, p. 908-911.
- [3] Хребтов И.А. - ПТЭ, 1984, № 4, с. 5-23.
- [4] Гершензон Е.М. и др. - ЖЭТФ, 1984, т. 86, в. 2, с. 758-772.
- [5] Bertin C.L., Rose K. - J. Appl. Phys., 1971, v. 42, N 2, p. 631-642.
- [6] Nishino T. et al. - Jap. J. Appl. Phys., 1987, Pt. 2, v. 26, N 8, p. L1320-L1322.

Институт радиотехники и электроники
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
13 января 1988 г.