

05.4; 12

© 1991

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПУЧКОВ ИОНОВ ^{84}Kr
И $^{16}\text{O}_2$ НА ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
 YBaCuO МИКРОБОЛОМЕТРОВ

Д.В. Акиншин, А.А. Астапов,
Л.Н. Зайцев, А.Ю. Климов,
В.Н. Леонов, С.П. Молодняков,
Д.Г. Павельев, В.К. Панкратов,
В.А. Скуратов, И.А. Хребтов

Как показывают теоретические и экспериментальные исследования, антенные микроболометры из ВТСП материалов являются перспективными приемниками излучения в далекой ИК области спектра [1, 2]. Возможность применения этих приборов в потоках ионизирующих частиц различного происхождения вызвала необходимость начать исследование влияния ионного облучения на их характеристики [3].

Пороговые характеристики ВТСП микроболометров определяются термодинамическими шумами на высоких частотах (выше 10–100 кГц) и избыточным фликкер-шумом на более низких частотах. В работе [4] установлены по меньшей мере три источника избыточных токовых шумов, детали механизма которых требуют дальнейших исследований.

Особенностью высокотемпературных сверхпроводящих материалов, из которых изготавливаются чувствительные элементы болометров, является наличие структурного беспорядка. Такой беспорядок имеет место не только в керамике, но и в монокристаллах, например, за счет неупорядоченности распределения вакансий кислорода. Это приводит к существованию низкоэнергетических возбуждений, т.е. структурные дефекты такого типа являются источниками низкочастотных шумов [5].

Облучение микроболометров тяжелыми ионами может в значительной степени увеличить структурную неупорядоченность в их чувствительных элементах. Поэтому следует ожидать увеличения уровня низкочастотных шумов в облученных изделиях на основе ВТСП материалов.

В настоящей работе проведено исследование воздействия пучков ионов ^{84}Kr и $^{16}\text{O}_2$ на свойства YBaCuO микроболометров, в частности на температурные зависимости сопротивления и шума в области температур 79–93 К, а также на спектр шума в области частот 10 Гц–50 кГц при комнатной температуре.

В экспериментах были использованы пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ толщиной 150 нм, изготовленные при помощи лазерного напыления

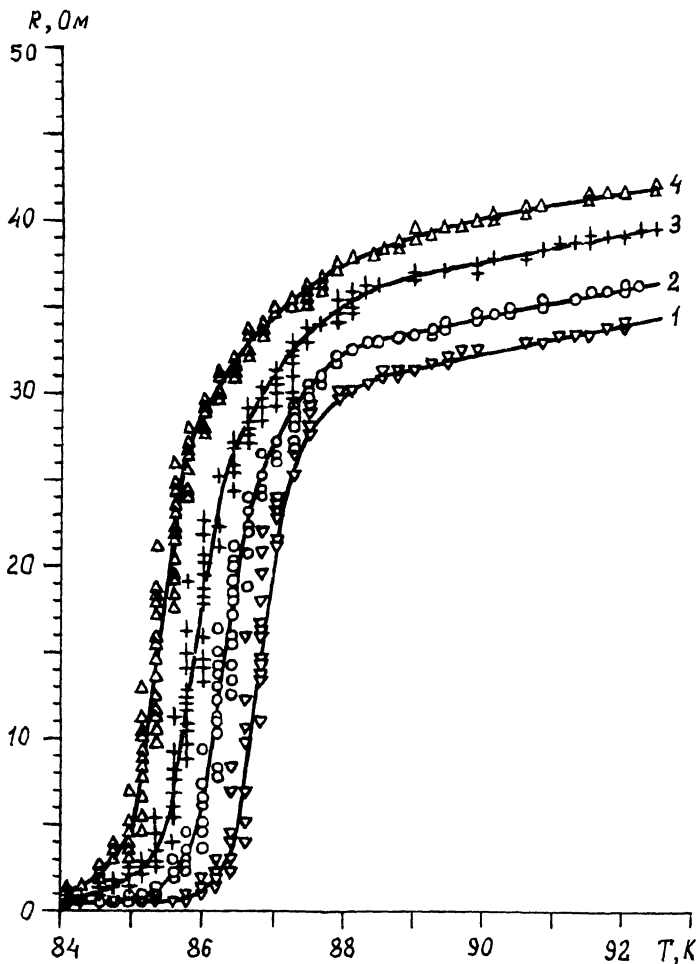


Рис. 1. Воздействие ионов ^{16}O на сверхпроводящий переход микроболметра № 1: 1 - исходный образец, 2 - $\Phi=1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, 3 - $\Phi=3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, 4 - $\Phi=6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$.

на подложках из ZrO_2 . Пленочные золотые контакты нанесены магнетронным напылением и фотолитографически сформированы поверх ВТСП пленки. В зазоре между контактами, расположенными на расстоянии 10 или 25 мкм друг от друга, при помощи лазерной ретуши формировали микроболметры, характеристики которых приведены в таблице.

Микроболметры № 1 и 2 облучали ионами кислорода. Распределение ионов ^{16}O по энергиям было близко к гауссовому с макси-

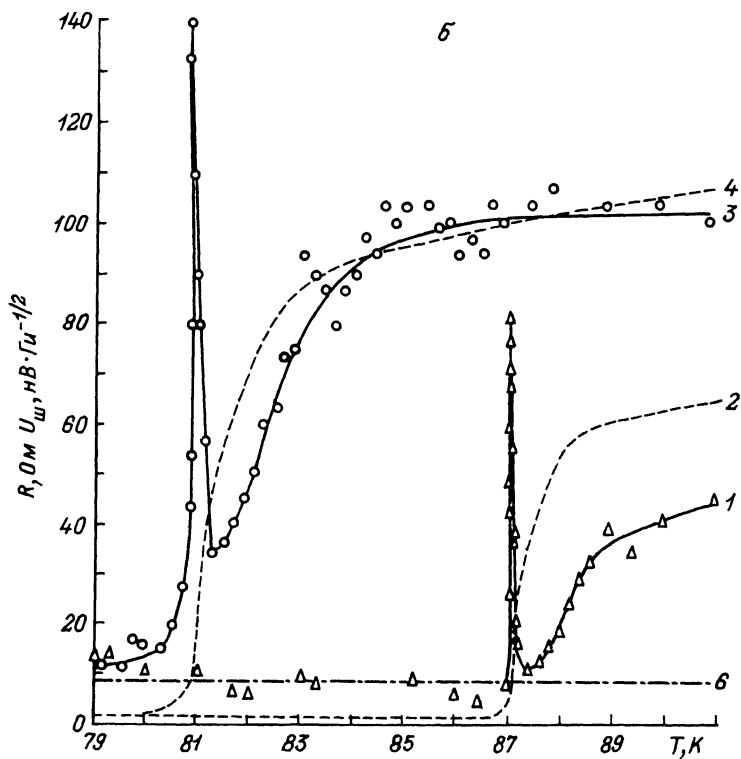
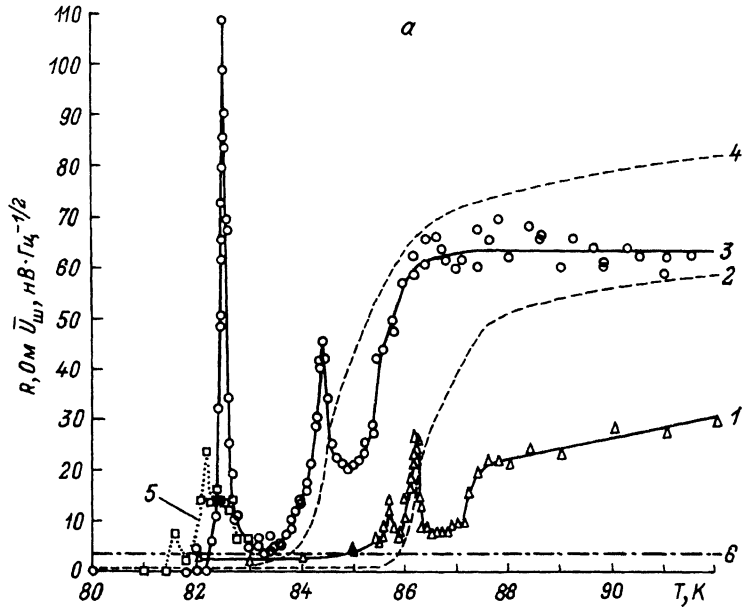
Болометр	Размеры, мкм	R , Ом (300 К)	I , мА
№ 1	4 x 10	115	0.3
№ 2	3 x 10	141	1
№ 3	13 x 25	169	2

мумов 2 МэВ и полушириной 1.2 МэВ. Микроболометры облучали в азотном кристате в охлажденном состоянии. Во время облучения у микроболометра № 2 периодически измеряли зависимость $R(T)$ с использованием автоматизированной измерительной системы на базе ПЭВМ „Правец-16“. На рис. 1 представлены эти кривые для различных флюенсов ионов кислорода. Разброс экспериментальных точек характеризует погрешность измерительной системы. На рис. 2 приведены сверхпроводящие переходы и температурные зависимости шума микроболометра № 2 на частоте $f = 20$ Гц до облучения и после набора флюенса $\Phi = 9.5 \cdot 10^{12}$ см⁻², а также микроболометра № 3 на частоте $f = 10$ Гц до и после облучения ионами ⁸⁶Kr с энергией 230 МэВ ($\Phi = 5 \cdot 10^{12}$ см⁻²). До облучения у микроболометра № 2 наблюдались все три составляющие избыточного шума [4]. Пик шума при температуре 86.2 К вызван температурным шумом ВТСП пленки [6]. Пик при 85.7 К, когда сопротивление болометра составляет около 3 % от сопротивления в нормальном состоянии, по-видимому, связан с движением вихрей смешанного состояния ВТСП пленки, переносящих магнитный поток. При охлаждении микроболометра более чем на 1.2 К ниже пика шума, расположенного в максимуме dR/dT , собственные его шумы становились меньше шума предусилителя (3.5 нВ·Гц^{-1/2}). Третья составляющая низкочастотного шума наблюдалась от области резистивного перехода до комнатной температуры. Ее связывают со структурой пленок и особенностью электропереноса [4]. После облучения сопротивление микроболометра № 2 и все три составляющие избыточных шумов заметно выросли (рис. 2, а). Сопротивление в нормальном состоянии, где преобладает структурный шум, увеличилось на 50 %, а шум – в 2.5 раза. Пик шума на середине перехода, который связан с равновесными флуктуациями температуры пленки, ведет себя согласно выражению [7]:

$$\bar{U}_T^2 \sim \frac{(I \cdot \frac{dR}{dT})^2}{f}, \quad (1)$$

где I – ток микроболометра. После облучения температурный шум возрос пропорционально увеличению крутизны в соответствии с выражением (1).

Самое сильное влияние облучение оказало на шум, наблюдаемый на „хвосте“ перехода. Этот шум стал появляться при более низких температурах по отношению к температуре середины перехода. Стабильный пик шума при $T = 85.7$ К у микроболометра № 2 исчез



и вместо него появились неповторяющиеся по величине и положению пики в области $T=81.5-83.5$ К (кривая 5 на рис. 2, а показывает зависимость шума в указанной области температур при очередном измерении кривой 3).

У микроболметра № 3 также наблюдали увеличение сопротивления в резистивном состоянии (при комнатной температуре до 226 Ом) и смещение сверхпроводящего перехода в сторону более низких температур (рис. 2, б). Следует отметить, что контактное сопротивление (1 Ом) при облучении не увеличилось. Отчетливо разделяются две составляющие фликкер-шума: структурный шум и острый пик температурного шума в области максимальной крутизны dR/dT сверхпроводящего перехода. Среднеквадратичное напряжение структурного шума после облучения выросло примерно в 2.5 раза при росте сопротивления в нормальном состоянии в 1.5 раза — как у микроболметра № 2.

Спектры шума микроболметров № 2 и 3 приведены на рис. 3. После облучения, как видно из рисунка, спектры сдвинулись параллельно вверх. При этом их классическая частотная зависимость f^{-1} сохранилась.

Из полученных результатов наибольший интерес с точки зрения работы микроболметров представляет пик температурного фликкер-шума на середине сверхпроводящего перехода. Поскольку, согласно (1), этот шум пропорционален dR/dT , то при облучении микроболметра его чувствительность будет расти пропорционально росту температурного шума. Поэтому пороговый поток микроболметра не изменится.

Рис. 3. Спектры шума микроболметров № 2 (1, 2) и № 3 (3, 4) до облучения (пунктир) и после него (сплошные линии) при $T=300$ К. 5 — шум предусилителя.

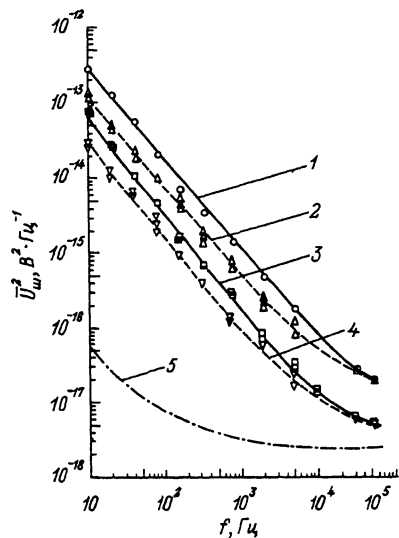


Рис. 2. Сверхпроводящие переходы (пунктир) и температурные зависимости шума (сплошные линии) до облучения (1, 2) и после него (3, 4), 6 — шум предусилителя. а — микроболметр № 2. Кривые 3 и 4 неоднократно сняты в течение 5-х, 6-х и 7-х суток после облучения. 5 — пример изменения шума на „хвосте“ перехода при снятии кривой 3. б — микроболметр № 3.

Сравнивая воздействие ионов ^{84}Kr и ^{16}O на YBaCuO пленку, следует заметить, что за период около 2 месяцев сопротивление микроболометра № 2 при комнатной температуре практически не изменилось, тогда как микроболометр № 3 постепенно деградировал вплоть до разрушения током во время очередного измерения.

Сопоставляя воздействие ионов криптона и кислорода на микроболометры, можно отметить, что наличие в спектре ^{16}O низкоэнергетичного „хвоста“, приводящего к имплантации кислорода в ВТСП пленку, по-видимому, вызывает их последующую постепенную деградацию. С другой стороны, радиационные повреждения вследствие бомбардировки ионами ^{84}Kr до флюенса $\Phi = 5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ заметно не влияют на пороговые характеристики микроболометров.

Авторы выражают благодарность Б.Д. Зельдовичу и В.И. Смирнову за помощь в проведении экспериментов, а также В.И. Лушикову и А.Д. Ткаченко за полезные советы и замечания.

Работа выполнена при поддержке проекта 421 в рамках Государственной программы по исследованию ВТСП.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Н и Г., Р и ч а р д с Р.Л. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 55. N 23. P. 2444-2446.
- [2] К л и м о в А.Ю., Л е о н о в В.Н., Х р е б т о в И.А. В сб.: Тепловые приемники излучения. Л., 1990. С. 22-23.
- [3] А с т а п о в А.А. и др. // ОИЯИ, Р7-90-241. Дубна, 1990.
- [4] Л е о н о в В.Н., Т к а ч е н к о А.Д., Х р е б т о в И.А. Тез. докл. XXУ1 Всесоюз. конф. по физике низких температур. Секция: Сверхпроводимость. Донецк, ДонФТИ АН УССР, 1990. С. 263-264.
- [5] Г а л ь п е р и н Ю.М., Г у р е в и ч В.Л., К о з у б В.И. // ФТТ. 1990. Т. 31. В. 5. С. 155-164.
- [6] V o s s R.F., C l a r k e J. // Phys. Rev. B. 1976. V. 13. N 2. P. 556-573.
- [7] Т к а ч е н к о А.Д., Х р е б т о в И.А. // Радиотехника и электроника. 1990. Т. 35. № 1. С. 182-191.

Поступило в Редакцию
2 октября 1990 г.