

05.4; 07; 09; 12

© 1992

АНТЕННЫЕ $YBaCuO$ -МИКРОБОЛОМЕТРЫ
ДЛЯ СУБМИЛЛИМЕТРОВОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРАА.Ю. Климов, В.Н. Леонов,
Д.Г. Павельев, И.А. Хребтов

В последнее время антенный прием субмиллиметрового излучения был успешно реализован в неохлаждаемых висмутовых микроболометрах [1]. Использование пленочных антенн позволило улучшить пороговый поток болометров субмиллиметрового диапазона в λ/\sqrt{A} раз, где λ — длина волны излучения, A — площадь микроболометра. С появлением высокотемпературных сверхпроводников начаты работы по созданию антенных микроболометров на основе ВТСП-пленок [2, 3].

Нами разработаны $YBaCuO$ -микроболометры на подложках из $ZrO_2:Y_2O_3$, исследованы их теплофизические характеристики, шумы и чувствительность как в классическом болометрическом режиме на $\lambda = 0.63$ мкм, так и в антенном режиме на $\lambda = 4.3-4.5$ мм.

Процесс изготовления образцов состоял в следующем. На подложку размером 1 x 1 x 0.12 мм лазерным напылением наносили $YBaCuO$ -пленку толщиной около 0.2 мкм, поверх него — пленку золота той же толщины и посредством фотолитографии формировали вначале бантовую антенну [4], а затем микроболометр (рис. 1).

Измерение коэффициента теплопотерь G проводили в нормальном состоянии при температуре $T \approx 100$ К из зависимости сопротивления микроболометра от мощности, выделяемой в нем протекающим током. При размерах микроболометра $\sim 7 \times 10$ мкм получили $G = 7.5 \cdot 10^{-5}$ Вт·К⁻¹. Это более чем в 2 раза превышает расчетную величину, полученную из модели радиального теплоотвода в подложку [1], что, по-видимому, связано как с теплоотводом в антенну, так и с возможным отличием теплопроводности использованного нами материала подложки от литературных данных [3].

Сверхпроводящий переход (рис. 2) был несколько растянут, что связано, вероятно, с воздействием фотолитографического процесса на $YBaCuO$ -пленку. Отметим, что в предыдущих исследованиях [2, 5, 6] при изготовлении микроболометров мы применяли лазерную ретушь и сверхпроводящие переходы были более узкие, следовательно, dR/dT и вольт-ваттная чувствительность были больше. Исходя из измеренных величин G и dR/dT , вольт-ваттная чувствительность составляет 490 В·Вт⁻¹ при токе 1 мА. На рис. 2 приведены температурные зависимости чувствительности приемника в разных областях спектра на частоте модуляции 400 Гц. Кривая 1 получена при облучении подложки нефокусированным пучком лазерного излучения с длиной волны 0.63 мкм. Микроболометр при

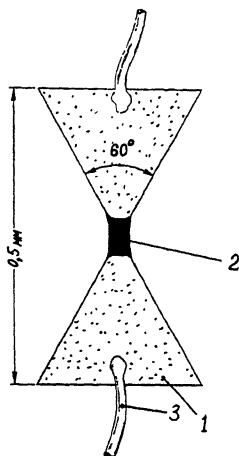


Рис. 1. Схема антенного микроболометра: 1 — антенна, 2 — микроболометр, 3 — контактные проволочки.

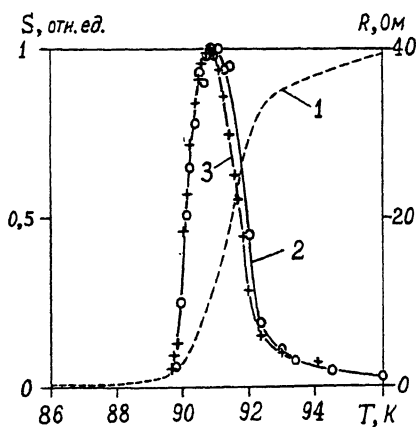


Рис. 2. Температурные зависимости сопротивления (1) и чувствительности (2, 3) микроболометра: 2 — на $\lambda = 0.63$ мкм, 3 — на $\lambda = 4.5$ мм.

этом реагировал на тепловой сигнал от подложки. Кривая 2 получена в антенном режиме на длине волны 4.5 мм. Ярко выраженный пик в середине перехода и практически идентичная форма кривых подтверждают, что в обоих случаях мы имели дело с тепловым механизмом преобразования сигнала микроболометром.

Это также подтверждается исследованием частотных характеристик микроболометров в различных условиях. На рис. 3, а кривая 1

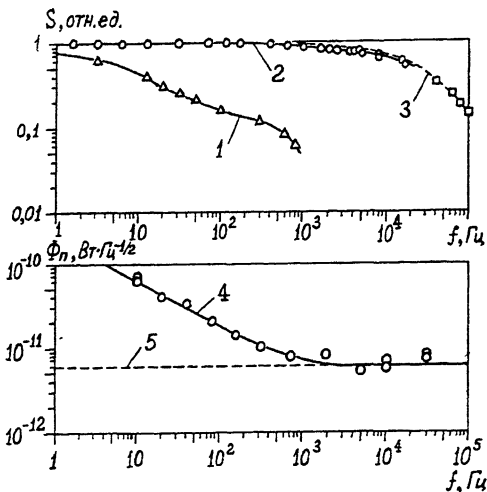


Рис. 3. Частотные зависимости чувствительности (1-3) и порогового потока (4, 5): 1 - на $\lambda = 0.63$ мкм, 2 - на $\lambda = 4.3$ мм, 3 - облучение через маску на $\lambda = 0.63$ мкм, 4 - эксперимент, 5 - расчет.

получена при облучении всей подложки модулированным лазерным излучением. При этом сигнал микроболометра формировался нагревом подложки и, соответственно, чувствительность падала, начиная с очень низких частот (< 1 Гц). В антенном режиме (кривая 2) частотная характеристика формируется в основном за счет теплоотвода в подложку от ВТСП-пленки микронных размеров. Экспериментальный ход частотной зависимости близок к теоретической, т. е. наблюдается плато до частот ~ 1 кГц, далее (до ~ 10 кГц) чувствительность пропорциональна $f^{-1/2}$.

Для измерения частотных характеристик на частотах выше 20 кГц использовали электрооптическую модуляцию лазерного излучения на $\lambda = 0.63$ мкм. При этом с помощью диафрагмы излучение подавали только на микроболометр. Тепловыделение в этом случае было идентично антенному режиму. Из рис. 3, а видно (кривая 3), что на частотах выше 20 кГц частотная зависимость приобретает вид $S \sim f^{-1}$, что не укладывается в упрощенную модель радиального теплоотвода, в которой не учитывается теплоемкость γBaCuO -пленки [7].

Из рис. 2, а видно, что спад чувствительности микроболометра до уровня 0.7 происходит на частоте ~ 6 кГц. Это соответствует постоянной времени $\tau \approx 2.6 \cdot 10^{-5}$ с, что близко к расчетной величине.

Измерения шумов показали, что в микроболометрах отсутствовал пик температурного фликкер-шума в максимуме dR/dT , наблюдаемый нами ранее [2, 5, 6]. Это, очевидно, связано с меньшей ве-

личиной dR/dT и, возможно, с иной технологией их изготовления (фотолитография вместо лазерной ретуши). На низких частотах наблюдался избыточный фликкер-шум со спектром $\overline{U_w^2} \sim f^{-1}$, на высоких частотах (выше 0.1–10 кГц, в зависимости от образца и тока) шум приближался к термодинамическому, обусловленному теплоотводом в подложку, а также к шуму предусилителя ($1.3 \text{ нВ} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$). С учетом измеренных чувствительности, шума и их частотной зависимости был определен пороговый поток Φ_n , который на высоких частотах был близок к расчетной величине, обусловленной коэффициентом G , т. е. $\Phi_n = (4 \text{ кТ}^2 G)^{1/2}$. Из рис. 3, 6, видно, что, например, на частоте 10 кГц $\Phi_n \approx 6 \cdot 10^{-12} \text{ Вт} \cdot \text{Гц}^{-1/2}$.

В работе получены следующие результаты. Продемонстрирован антенный режим микроболметра на основе YBaCuO -пленок и тепловой механизм преобразования принимаемого излучения. Определены временные характеристики приемника. Показано, что пороговая чувствительность может быть реализована на уровне термодинамических шумов чувствительного элемента.

Дальнейшее улучшение параметров должно идти по пути повышения вольт-ваттной чувствительности, что упрощает согласование по шумам с предусилителем, и по пути оптимизации согласования чувствительной пленки с антенной. Для использования микроболметров на низких частотах необходимо использование ВТСП-пленок с меньшим уровнем шумов. Продвижение же в область более высоких частот модуляции требует применения подложек из других материалов, например, Si , подложек мембранного типа, а также уменьшения размеров микроболметров.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Neikirk D.P., Lam W.W., Rutledge D.B. // Int. J. of Infrared and Millimeter Waves. 1984. V. 5. N 3. P. 245–278.
- [2] Иванов А.А. и др. В кн.: ВТСП. М.: ВИМИ, 1990. № 2. С. 80–91.
- [3] Nahum M. et al. // IEEE Trans. on Magnetics. 1991. V. 27. N 2. P. 3081–3084.
- [4] Rutledge D.B., Mutha M.S. // IEEE Trans. on Antennas and Propagation. 1982. V. 30. N 4. P. 535–540.
- [5] Леонов В.Н., Хребтов И.А. // СФХТ, 1991. Т. 4. № 7. С. 1371–1376.
- [6] Акиншин Д.В. и др. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. № 2. С. 9–14.
- [7] Hu Q., Richards P.L. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 55. N 23. P. 2444–2446.

Поступило в Редакцию
14 февраля 1992 г.