

УДК 53.082.64

Использование RuO_2 -резисторов как широкополосных низкотемпературных приемников излучения

С.А. Лемзяков^{1,2}, В.С. Эдельман¹

¹Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

В работе изучались возможности использования промышленных толсто пленочных резисторов поверхностного монтажа на основе оксида рутения в качестве широкополосных (0.5–2.5 ТГц) низкотемпературных приемников излучения. Такие резисторы широко используются в качестве вторичных термометров в практике низкотемпературных измерений. При этом они демонстрируют высокую чувствительность к перегреву и паразитным засветкам, что наталкивает на идею использования RuO_2 -резисторов в качестве болометров. Целью данной работы являлось исследование возможности реализации этой идеи и поиск путей улучшения соответствующих характеристик резисторов. Для этого при рабочих температурах около 100 мК были проведены измерения [1] теплоотвода и теплоемкостей резисторов производства фирмы Cinetech различных размеров и номиналов, их чувствительности к излучению, коэффициента поглощения для разных частот, времен отклика.

Эксперименты по измерению теплоотвода от резистора показывают наличие большого теплосопrotivления внутри него. Разность четвертых степеней температур резистивного слоя и держателя образцов (термостата) пропорциональна мощности, выделяемой в резистивном слое при его нагреве током, коэффициент пропорциональности по порядку величины равен 1 мкВт/К^4 для исследованных резисторов. Если считать, что подобное поведение вызвано наличием граничного теплового сопротивления между резистивным слоем и подложкой (от которой в итоге и отводится тепло), то соответствующее значение граничного сопротивления R_c равно $0,5\text{T}^{-3} \text{ м}^2 \text{ К}^4/\text{Вт}$, что более чем на порядок превышает характерные величины этого коэффициента для границ между двумя твердыми телами [2]. Поэтому такое поведение теплосопrotivления скорее всего связано с рассогласованием фононной и электронной систем непосредственно внутри резистивного слоя.

Отклик резистора по напряжению на излучение черного тела, нагретого до температур 5-40 К, зависит линейно от интегральной мощности излучения (рис. 1). Это свидетельствует о широкополосности приемника, так как при таком изменении температуры излучателя максимум мощности в спектре излучения приходится на частоты в диапазоне 0,5-

2,5 ТГц. Коэффициент поглощения излучения при этом оказался на уровне <10%, путем нанесения на тыльную сторону резистора пленки нихрома его удалось увеличить до 30%. Мощность падающего излучения, для которой соотношение сигнал-шум было около единицы, составила 2-3 пВ. Время нарастания выходного сигнала для разных температур лежит в интервале от нескольких единиц до десятков секунд, что вызвано большой теплоемкостью резистора - около 40 нДж/К при температуре 100 мК (что согласуется с данными из литературы [3]). Которая, в свою очередь, связана с большой теплоемкостью керамической подложки, при этом теплоемкость резистивного слоя менее 1 нДж/К.

Основным результатом работы является вывод о возможности использования промышленных толстопленочных RuO₂-резисторов в качестве низкотемпературных приемников излучения, мощность которого медленно меняется по времени. Также были получены результаты, позволяющие сделать вывод о возможности существенного усиления чувствительности таких болометров, в первую очередь за счет улучшения их коэффициента поглощения. Кроме того, важным результатом является обнаружение плохой тепловой связи между проводящими гранулами оксида рутения и диэлектрической стеклянной матрицей, которые вместе составляют резистивный слой, что накладывает ограничения на использование таких резисторов в термометрии.

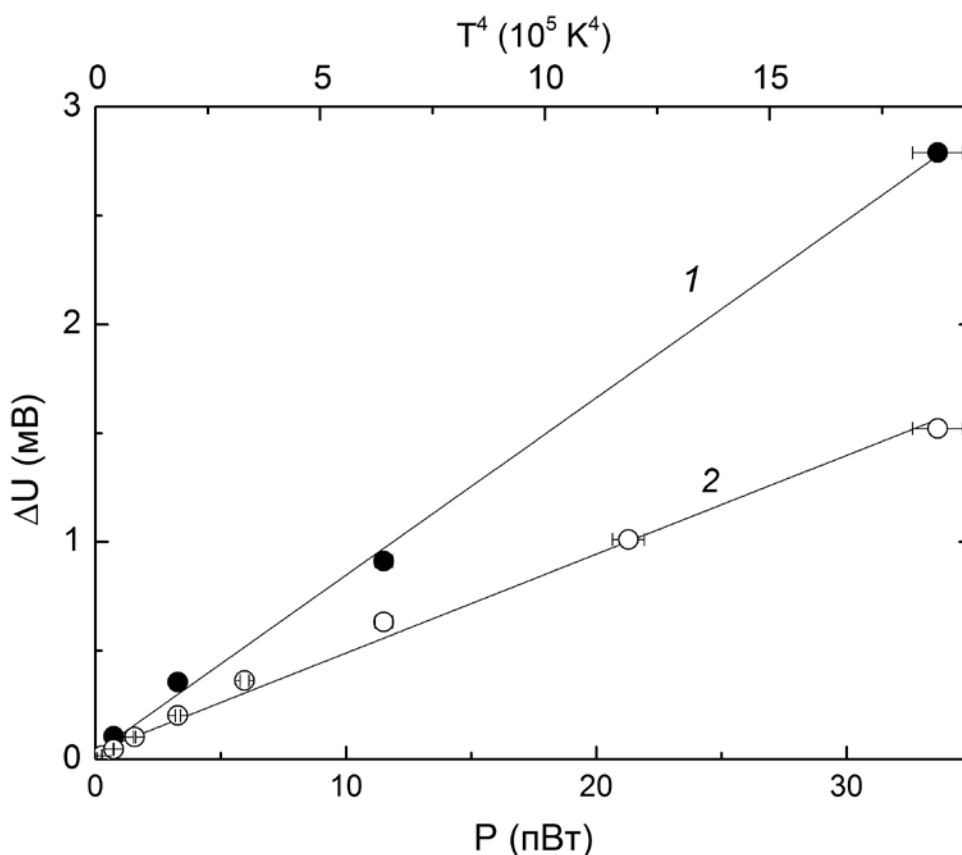


Рис. 1. Сравнение откликов по напряжению на излучение для резисторов с пленкой

нихрома (1) и без пленки (2). Температура резисторов при начальном уровне излучения 140 и 147 мК соответственно, температура держателя 0.08 К, ток через резистор 40 нА. Диапазон температур излучателя от 4.7 К (без нагрева) до 37 К. Измерения проводились на постоянном токе.

Литература

1. Лемзяков С.А., Эдельман В.С. Использование RuO₂-резисторов как широкополосных низкотемпературных приемников излучения // ПТЭ. 2016. № 4. С. 146–151.
2. Лоунасмаа О.В. Принципы и методы получения температур ниже 1К. Москва: Мир, 1977. 276 с.
3. Volokitin Y.E., Thiel R.C., De Jongh L.J. Heat capacity of thick-film resistor thermometers and pure RuO₂ at low temperatures.// Cryogenics. 1994. V. 34. N. 9. P. 771.