

ДЕТЕКТОР МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПЛЕНКИ $Bi_{1-x}Sb_x$

Плакий В. Т., Архипов А. В.

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины
ул. Ак. Проскуры 12, Харьков, 61085, Украина
тел.: (057)720-33-08*

Боцула О. В., Прохоров Э. Д., Дядченко А. В., Чуешков Д. П., Шалаев В. А.
*Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина
пл. Свободы 4, Харьков, 61077, Украина
тел.: (057)705-12-62*

Аннотация – Рассматривается конструкция термопарного детектора микроволнового излучения на основе пленки полуметалла $Bi_{1-x}Sb_x$ ($x=0,12$). Получено выражение для вольтваттной чувствительности и экспериментально исследована зависимость дифференциальной термоЭДС пленки $Bi_{1-x}Sb_x$ от ее толщины.

I. Введение

В работах [1-3] приведены расчетные и экспериментальные результаты исследования термопарных детекторов микроволнового излучения на основе точечного контакта металл-полуметалл $Bi_{1-x}Sb_x$ ($x=0,1; 0,12; 0,15$), вольтваттная чувствительность которых составляла несколько В/Вт. Конструктивно термопарный детектор микроволнового излучения состоит из полуметаллического кристалла с двумя различными по размерам контактами, но горячий спай термопары выполнен в виде точечного контакта. Принцип работы такого устройства заключается в следующем. При протекании высокочастотного тока через горячий спай температура последнего повышается в следствие большой плотности тока в приконтактной области полуметалла, в то время как температура холодного спаю, выполненного в виде контакта большой площади, практически не изменяется. В результате в полуметаллическом кристалле возникает градиент температуры и соответствующая ЭДС, которая служит мерой поглощенной микроволновой мощности. Применение в качестве рабочего тела полуметалла позволяло получить большее по сравнению с металлическими термопарами выходное напряжение, поскольку дифференциальная термоЭДС полуметалла на порядок выше дифференциальной термоЭДС металлов.

II. Основная часть

Нами исследуется конструкция термопарного детектора, представленная на рис. 1. Термопарный детектор содержит полуметаллический элемент (1), выполненный в виде полуметаллической пленки $Bi_{1-x}Sb_x$, диэлектрическую подложку (2), металлическое основание (3), металлический зонд (4). Детектор микроволнового излучения работает следующим образом. Один из контактов (малой площади) разогревается протекающим высокочастотным током и служит горячим спаем термопары, в то время как второй контакт (большой площади) не нагревается и остается равной температуре окружающей среды. При выполнении горячего спаю термопары в виде контакта тонкой полуметаллической пленки и погруженного в нее заостренного металлического зонда тепловыделение при поглощении микроволновой мощности происходит в основном в непосредственной близости от контакта малой площади.

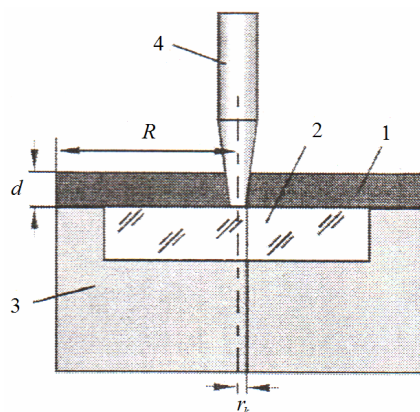


Рис. 1. Конструкция детектора.

Fig. 1. Detector design

Это позволяет увеличить чувствительность детектора за счет уменьшения объема полуметаллического элемента разогреваемого поглощенной мощностью. Тонкая полуметаллическая пленка (1) имеет толщину d и нанесена на диэлектрическую подложку (2), находящуюся в углублении металлического основания (3). Полуметаллическая пленка контактирует с металлическим основанием (3) по окружности радиусом R , образуя в месте контакта холодный спай термопары. Эта же полуметаллическая пленка контактирует с заостренным металлическим зондом (4) с малым радиусом закругления, который погружается в нее, прокалывая ее до диэлектрической подложки (2). Полуметаллическая пленка контактирует с заостренным металлическим зондом по окружности радиуса r_k , образуя в месте этого контакта горячий спай термопары. Условия для протекания высокочастотного тока через контакт малой площади практически не зависят от глубины погружения зонда в пленку. В любом случае линии тока радиально расходятся от контакта малой площади к контакту большой площади параллельно поверхностям пленки $Bi_{1-x}Sb_x$.

Не изменяются также условия для теплоотвода от контакта малой площади при полном и не полном погружении зонда в полуметаллическую пленку, теплоотвод в любом случае осуществляется, в основном, в диэлектрическую подложку. Однако, для увеличения устойчивости детектора к механическим воздействиям необходимо, чтобы металлический зонд механически контактировал с диэлектрической подложкой. При этом положение зонда фиксируется, т.е. возможность его перемещения параллельно поверхности пленки значительно уменьшается.

Сопротивление термопарного пленочного детектора СВЧ излучения составляет

$$R = \frac{\rho}{2\pi d} \ln \frac{R}{r_k} \quad (1)$$

При $\rho = 10^{-3}$ Ом·см, $R = 1$ мм, $r_k = 3$ мкм, $d = 3$ мкм, получаем $R = 12,2$ Ом.

Выражение для вольваттной чувствительности тонкопленочного детектора можно получить из решения стационарного уравнения теплопроводности для рабочего объема в цилиндрической системе координат

$$\frac{\chi}{C\delta} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{dT}{dr} \right) + \frac{P(r)}{C\delta} = 0, \quad (2)$$

где: χ - коэффициент теплопроводности, C - удельная теплоемкость, δ - плотность кристалла, $P(r)$ - распределение мощности тепловых источников. При этом полагаем, что на границе металл-полуметалл тепловой поток отсутствует

$$\overline{J_Q} \Big|_{r=r_k} = -\chi \text{grad} T \Big|_{r=r_k} = 0. \quad (3)$$

На контакте большой площади в виду его удаленности от спая температура остается неизменной и равной температуре окружающей среды.

$$T(R) = T_0. \quad (4)$$

В результате решения находим распределение температуры и вычисляем ее градиент. Затем получаем выражение для вольваттной характеристики пленочного детектора

$$U_T = \alpha \Delta T(r_k) = \frac{\alpha P}{4\pi d \chi} \ln \frac{R}{r_k}, \quad (5)$$

где α - дифференциальная термоЭДС, зависящая от толщины пленки (рис. 2).

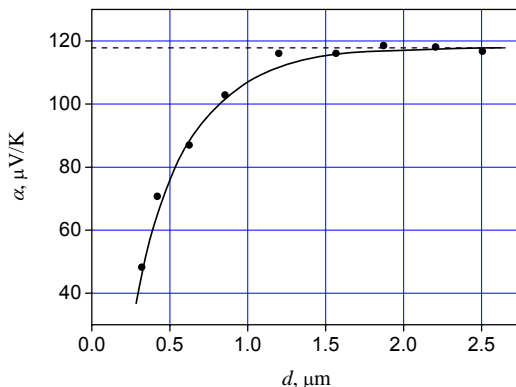


Рис. 2. Зависимость дифференциальной термоЭДС от толщины пленки.

Fig. 2. Differential thermal electromotive as a function of the film thickness

Для приведенных выше параметров детектора расчетная вольваттная чувствительность $\beta = \frac{\Delta U_T}{\Delta P}$ была постоянной и составила порядка 10В/Вт.

III. Заключение

Проведенный анализ пленочного детектора микроволнового излучения показал, что его чувствительность может быть выше, чем вольваттная чувствительность детекторов на основе точечного контакта металл-полуметалл.

IV. Список литературы

- [1] Плакий В. Т., Светличный В. М. Электрофизические свойства полуметаллов: Учебное пособие. – Х., 1980. – 90 с.
- [2] Светличный В. М., Плакий В. П., Сатюков А. И. Детекторы СВЧ излучения: Учебное пособие. – Х., 1992. – 140с.
- [3] Плакий В. Т., Архипов А. В., Прохоров Э. Д., Дядченко А. В., Чуешков Д. П. Детектор КВЧ-диапазона на основе полуметаллов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$. Материалы 17 Межд. Крымской конф. «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии», Севастополь, КрыМиКо-2007. С. 93-94.

DETECTOR OF MICROWAVE RADIATION ON THE BASIS OF $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ FILM

Plaksy V. T., Arkhipov A. V.
 Institute of Radiophysics and Electronics
 National Academy of Sciences of Ukraine
 12 Proskura Str., Kharkov, 61085, Ukraine
 Ph.: 38-057-7203308, e-mail obel@ire.kharkov.ua
 Botsula O. V., Prokhorov E. D., Dyadchenko A. V.
 Chueshkov D. P., Shalaev V. A.
 V. Karazin National University of Kharkov
 4 Svoboda Sq., Kharkov, 61077, Ukraine

Abstract – The design of the thermocouple detector of the microwave radiation on the basis of the semimetal film $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($x=0.12$) has been considered. The expression for the voltage-power sensitive has been obtained and dependence of the differential thermal electromotive for the film $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ via its thickness has been experimentally investigated.

I. Introduction

In the paper [1-3] the calculated and experimental investigations of the thermocouple detectors of the microwave radiation on the basis of metal-semimetal $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ point contact were presented. The mechanism of these devices consists of the following. When the radio-frequency current leaks through device in the $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ crystal the temperature gradient appears, because the thermal electromotive, which is used for the absorbed high-frequency power measures, appears.

II. Main Part

The thermocouple detector (Fig. 1) realized as of point contact of the metal-semimetal film $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($x=0.1; 0.12; 0.15$) has been investigated. The resistance of the film detector is calculated from formula (1). The expression for the voltage-power characteristic (5) was obtained from the solution of the heat conduction stationary equation (2). The dependence of the differential thermal electromotive α as a function of the film thickness d has been experimentally investigated (Fig. 2)

III. Conclusion

The traced analysis of the film detector shows that the sensitive of it can be higher than the sensitive of the detectors on the basis of the metal-semimetal point contact.