

## ДЕТЕКТИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ПОЛУМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛЕНКИ В 8-ММ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН

О.Н. Сухоручко, А.П. Корецкий  
(Институт радиофизики и электроники НАН Украины, Харьков)

*Приведены результаты аналитического и экспериментального исследования детектирующих свойств полуметаллической пленки в 8-мм диапазоне волн. Получены аналитические выражения для вольтваттной чувствительности и сопротивления точечных контактов металл-полуметаллическая пленка  $BiSb$ .*

***полуметаллическая пленка, вольтваттная чувствительность***

**Введение.** Тепловые детекторы СВЧ излучения имеют ряд достоинств, что и обусловило их широкое практическое применение – от низкочастотной радиотехники до оптики. У этих типов детекторов ширина рабочего диапазона частот, в которой они работают без перестройки, составляет величину порядка самой центральной частоты. Особенно ценным свойством тепловых приборов является возможность не только регистрировать с их помощью наличие сигнала, но и с большой степенью точности измерять его мощность. В ряде случаев возможно проведение абсолютных измерений, что делает такие приборы эталонами при градуировке других типов индикаторов. Вместе с тем, поскольку работа тепловых индикаторов связана с нагревом довольно массивного рабочего тела, они имеют сравнительно невысокую чувствительность и большую инерционность. Повышение чувствительности, в принципе возможное за счет уменьшения массы нагреваемого тела, неизбежно ведет к снижению устойчивости приборов к механическим и электрическим перегрузкам. Другой путь повышения чувствительности - ухудшение теплоотвода от рабочего тела, вступает в конфликт с требованием малой инерционности приборов. Несмотря на отмеченные недостатки тепловых индикаторов, они и сейчас остаются основными приборами, применяемыми для измерения мощности немодулированного СВЧ излучения, а при известных временных характеристиках сигнала – и мощности модулированного излучения.

**Целью работы** является аналитическое и экспериментальное исследование детектирующих свойств контактов металл-полуметаллическая пленка в миллиметровом диапазоне волн.

## Конструкция и принцип работы чувствительного элемента детектора. Существенное снижение инерционности термопарных детекторов при

© О.Н. Сухоручко, А.П. Корецкий  
ISSN 1681-7710. СИСТЕМЫ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ, 2005, ВИПУСК 6 (46) 173

сохранении характерной для них чувствительности получено в термопарах с точечным контактом металл-полуметалл, в которых используется обычный термоэлектрический эффект в полуметаллах. Все процессы в них обусловлены разогревом кристаллической решетки. Разработка этих устройств приобретает особое значение при применении в приемниках прямого усиления для систем связи, телеметрии, некоторых видов радиолокационных станций и в измерительной технике для индикации и измерения параметров сигналов СВЧ. На рис. 1 представлена конструкция чувствительного элемента термопарного датчика СВЧ мощности.

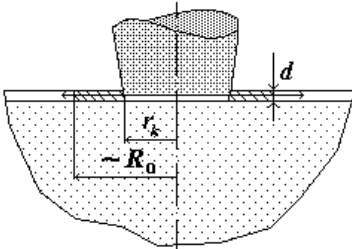


Рис. 1. Конструкция чувствительного элемента датчика

Здесь тонкая полуметаллическая пленка имеет толщину  $d$  и нанесена на диэлектрическую подложку, находящуюся в углублении массивного металлического основания. Полуметаллическая пленка контактирует с металлическим основанием по окружности радиусом  $R_0$ , образуя в

месте контакта холодный спай термопары. Эта же полуметаллическая пленка контактирует с заостренным зондом малого радиуса закругления, который, погружаясь в нее, прокалывает ее до диэлектрической подложки. Полуметаллическая пленка контактирует с заостренным металлическим зондом по окружности радиуса  $r_k$ , образуя в месте этого контакта горячий спай термопары. При воздействии высокочастотного сигнала на контакт металл-полуметаллическая пленка энергия электромагнитного поля выделяется в виде тепла, рассеиваемого пленкой и температура пленки  $\text{BiSb}$  в приконтактной области радиусом  $r_k$  увеличивается, в то время как температура контакта радиусом  $R_0$  практически не изменяется и остается равной температуре окружающей среды. По истечении определенного времени устанавливается определенный градиент температуры  $\Delta T$ , приводящий к появлению термо-ЭДС  $U_T$ , которая служит мерой поглощенной СВЧ мощности  $P$ .

В работах [1, 2] приведены расчеты вольтваттной чувствительности  $\beta$  для контактов металл-полуметаллический монокристалл  $\text{BiSb}$  с учетом геометрии контакта горячего спая  $r_k$  и параметров монокристаллов  $\text{BiSb}$  с различным процентным содержанием  $\text{Sb}$  в  $\text{Bi}$ .

**Основной материал исследований.** Для определения вольтваттной чувствительности  $\beta$  данного устройства рассмотрим случай, когда вся поглощенная датчиком мощность  $P$  выделяется в тонком слое металл-полуметаллическая пленка. Из решения уравнения теплопроводности

$$\frac{X_0}{C_0 \delta_0} \left( \frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dT}{dr} \right) + \frac{P(r)}{C_0 \delta_0} = 0$$

следует, что в непосредственной близости от контакта радиусом  $r_k$  температура пленки определяется как

$$T(r_k) = T_0 + \frac{P}{2\pi X_0 r_k},$$

где  $X_0$  – коэффициент теплопроводности пленки,  $C_0$  – удельная теплоемкость пленки,  $\delta_0$  – плотность пленки.

Поскольку разность температур холодного и горячего контактов

$$\Delta T = \frac{P}{2\pi X_0 r_k},$$

то выходное напряжение на датчике определяется как

$$U_T = \frac{\alpha P}{2\pi \chi_0 r_k},$$

а его вольтваттная чувствительность определяется по формуле

$$\beta = \frac{\alpha}{2\pi X_0 r_k},$$

где  $\alpha$  – дифференциальная термо-ЭДС.

Как видим, в отличие от данных, приведенных в работе [1], вольтваттная чувствительность датчика с пленкой *BiSb* увеличивается в два раза.

Оценим величину  $U_T$  и, соответственно,  $\beta$ . Для пленок сплава  $Bi_{90}Sb_{10}$  при комнатной температуре  $X_0 = 7,0 \cdot 10^{-2}$  Вт·град $^{-1}$ ·см $^{-1}$ ,  $\alpha = 0,85 \cdot 10^{-4}$  В·град $^{-1}$ . Радиус контакта принимаем равным  $(1 \div 2) \cdot 10^{-6}$  м. Тогда при поглощении СВЧ мощности  $P = 1 \cdot 10^{-3}$  Вт, термоэлектрическое напряжение  $U_T$ , развиваемое на контакте металл-полуметаллическая пленка *BiSb*, равно  $(0,6 \div 1,0) \cdot 10^{-3}$  В, т.е. вольтваттная чувствительность  $\beta$  имеет величину порядка нескольких В/Вт.

**Экспериментальные результаты.** Конструктивно чувствительные элементы изготавливались в бескорпусном исполнении и помещались в волноводную камеру [3]. Сопротивление контактов металл-полуметаллическая пленка составляло величину порядка 20 Ом, что хорошо согласуется с данными работы [4]. Вольтваттная характеристика детектора исследовалась в 8-мм диапазоне и приведена на рис. 2.

В интервале мощностей 1 – 5 мВт выходное напряжение  $U_T$  прямо пропорционально мощности входного сигнала  $P$ . При дальнейшем увеличении  $P$  зависимость  $U_T=f(P)$  становится нелинейной и  $U_T$  стремится к насыщению. Такое поведение  $U_T=f(P)$  можно объяснить, как и для случая с монокристаллом BiSb, увеличением отвода тепла от приконтактной области кристалла через металлический зонд [5].

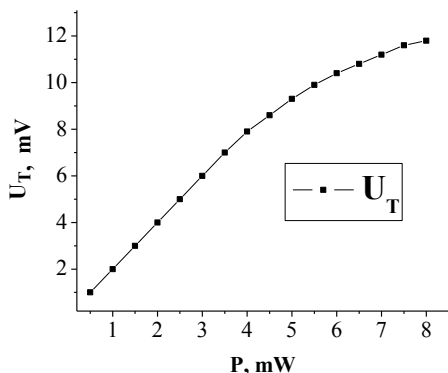


Рис. 2. Вольтваттная характеристика термоэлектрического детектора

**Выводы.** Таким образом, применение контактов металл-полуметаллическая пленка BiSb в качестве чувствительного элемента датчика СВЧ мощности перспективно и позволяет создать детектор излучения в мм диапазоне длин волн. С учетом вышеизложенного можно констатировать, что при оптимальном согласовании с волноводным трактом данные термопарные датчики имеют вольтваттную чувствительность

порядка нескольких В/Вт и являются датчиками поглощающего типа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Плаксий В.Т., Прохоров Э.Д., Дядченко А.В., Мишнев А.А., Сухоручко О.Н. Геометрия контактов и ее влияние на чувствительность термоэлектрических детекторов СВЧ излучения // *Вестник СГУ. Физика, математика, механика*. – Сумы: СГУ. – 2003. – № 8 (54). – С. 28 – 37.
2. Плаксий В.Т., Сухоручко О.Н., Касьяненко А.П., Ефимов Б.П. Свойства сплавов висмут-сурьма в СВЧ диапазоне // *СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. 11-я Межд. НТК*. – Севастополь. – 2001. – С. 498 – 499.
3. Сухоручко О.Н., Плаксий В.Т., Корецкий А.П. Детектор 8-мм диапазона длин волн на основе точечной термопары металл-полуметалл BiSb. Ч. 1 // *Системы обробки інформації*. – 2004. – Вип.8 (36). – С. 201 – 205.
4. About Some Characteristics of Thermocouple Sensors (Pickup) of Microwave Power Based on Point Contact of Metal-Semiconductor BiSb / О.Н. Sukhoruchko, V.T. Plakhsy, V.A. Shalaev, A.V. Daydchenko, I.O. Belous // *The Fifth International Kharkov Symposium "Physics and Engineering of Millimeter and Sub-Millimeter Waves"*. – Kharkov, June 21-26 2004. – Vol. 2. – P. 561 – 563.
5. Вольтваттная чувствительность контактов металл-полуметалл BiSb с учетом теплового потока через границу контакта / В.Т. Плаксий, О.Н. Сухоручко, А.П. Касьяненко, Б.П. Ефимов // *Вестник СГУ. Физика, математика, механика*. – Сумы: СГУ. – 2001. – № 3 (24) – 4 (25). – С. 132 –136.

*Поступила 8.06.2005*

**Рецензент:** доктор физико-математических наук, ст. научный сотрудник В.К. Иванов,  
Институт радиофизики и электроники НАН Украины, Харьков.

---