

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОЧЕЧНОЙ ТЕРМОПАРЫ $W - BiSb$ В 3-ММ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

О.Н. Сухоручко

*Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины,
ул. Ак. Проскуры, 12, г.Харьков, 61085*

E-mail: oniks@ire.kharkov.ua

В работе приведены результаты экспериментального исследования тепловой постоянной времени и чувствительности точечной термопары вольфрам - сплав висмут-сурьма в 3-мм диапазоне длин волн. Приведены экспериментальные характеристики вольт-ваттной чувствительности и АЧХ детектора по промежуточной частоте.

ВВЕДЕНИЕ

В тепловых детекторах используется изменение какой-либо характеристики материала рабочего тела, возникающее вследствие разогрева его принимаемым излучением, либо явления, возникающие вследствие неоднородного разогрева этого тела. Тепловые детекторы СВЧ излучения имеют ряд достоинств, что и обусловило их практическое применение. Диапазон их применения очень широк – 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 относительно массивного рабочего тела, они имеют сравнительно невысокую чувствительность и большую инерционность. Несмотря на отмеченные недостатки тепловых индикаторов они остаются основными приборами, применяемыми для измерения мощности немодулированного СВЧ излучения, а при известных временных характеристиках сигнала – и мощности модулированного излучения.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В работе [1] была показана возможность использования точечных контактов металл-полуметалл висмут-сурьма ($BiSb$) с процентным содержанием Sb от 8 % до 25 % в качестве чувствительных элементов детекторов СВЧ диапазона волн, в которых используется термоэлектрический эффект. Принцип действия таких индикаторов основан на возникновении градиента температуры в полуметаллическом кристалле $BiSb$, имеющем два контакта различной площади при пропускании электрического тока (рис.1). Горячий спай термопары 2 образуется приведением в контакт с полуметаллическим кристаллом 1 металлического заостренного зонда 3 с радиусом закругления острия в несколько микрон.

Холодный спай термопары 4 представляет собой контакт большой площади, получаемый при пайке полуметаллического кристалла к кристаллодержателю 5. При протекании тока любого направления через точечный контакт температура последнего повышается вследствие большой плотности тока в приконтактной области, в то время как температура контакта большой площади практически не изменяется.

В результате в полуметаллическом кристалле возникают градиент температуры и соответствующая ему термо-ЭДС между контактами, которая служит мерой поглощенной мощности данным устройством.

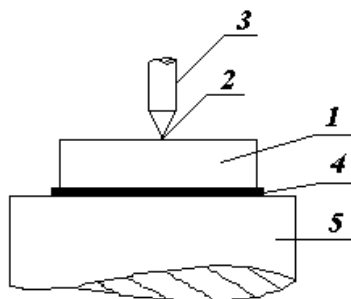


Рисунок 1 - Чувствительный элемент термоэлектрического детектора

Нужно отметить, что требования высокой чувствительности и малой инерционности в случае термопарных датчиков, как и в случае других тепловых датчиков, противоречивы. Чтобы повысить чувствительность таких датчиков, необходимо, насколько это возможно, ухудшить теплоотвод от рабочего контакта термопары, что ведет к увеличению инерционности датчика. И наоборот, чтобы снизить инерционность датчиков, необходимо увеличивать теплоотвод от рабочего спая, что ведет к уменьшению чувствительности. Одновременно повышать чувствительность и снижать инерционность можно лишь за счет уменьшения рабочего спая термопары, что и делается в современных наиболее чувствительных и наименее инерционных промышленных термопарах. Однако такая миниатюризация приводит к снижению механической и электрической прочности датчиков СВЧ мощности. Повышение чувствительности в термоэлектрических детекторах с использованием точечных контактов металл-полуметалл *BiSb* достигается уменьшением объема, в котором происходит эффективный разогрев полуметаллического кристалла, до нескольких десятков кубических микрон [2]. Увеличение быстродействия достигается благодаря хорошему теплоотводу от разогреваемого объема в полуметаллический кристалл. Применение в качестве материала рабочего тела полуметалла позволяет получить большее по сравнению с металлическими термопарами выходное напряжение, т.к. дифференциальная термо-э.д.с. у полуметаллов на порядок больше, чем у металлов.

Целью статьи является экспериментальное исследование чувствительности и инерционности термоэлектрических детекторов с точечной термопарой вольфрам - сплав висмута с сурьмой в коротковолновой части мм диапазона длин волн.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Контакт малой площади термопары создавался прикосновением электролитически заточенного зонда из вольфрама к сколу монокристалла *BiSb*, а также вплавлением металлического шарика в кристалл [3]. Чувствительные элементы помещались в волноводной вставке (рис. 1), где 1 – монокристалл *BiSb*, 2 – контактный металлический зонд, 3 – изолятор, 4 – выход ПЧ детектора. Затем волноводная вставка помещалась в детекторную камеру 3-мм диапазона волн (рис.3).

Одним из основных параметров детекторов электромагнитного излучения является его вольт-ваттная чувствительность β , определяемая по наклону вольт-ваттной характеристики прибора $U_T=f(P)$.

Экспериментальная кривая вольт-ваттной характеристики реализованного детектора, полученная на частоте 86 ГГц, приведена на рис. 4.

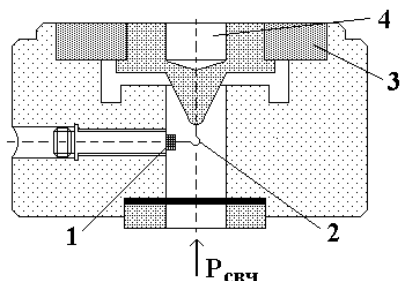


Рисунок 2 - Конструкция волноводной вставки

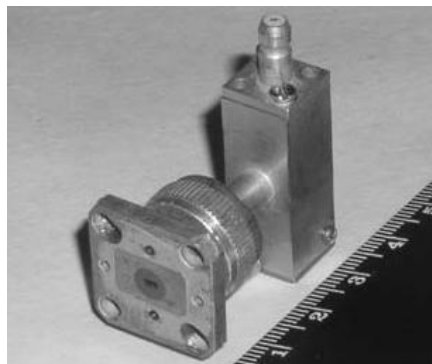


Рисунок 3 - Внешний вид детекторной камеры

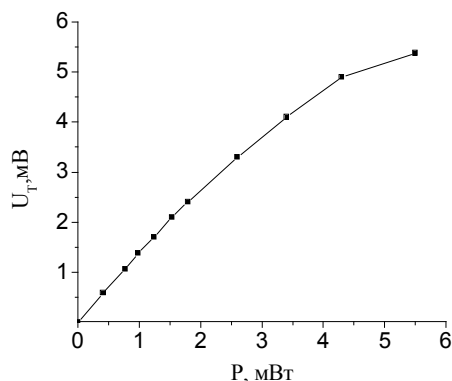


Рисунок 4 - Вольт-ваттная чувствительность детектора

В интервале мощностей 1-5 мВт выходное напряжение детектора практически 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 увеличением отвода тепла от приконтактной области кристалла через металлический зонд [4].

Инерционность детекторов экспериментально определялась супергетеродинным методом в 3-мм диапазоне длин волн [5]. Постоянная времени детектора измерялась по амплитудно-частотной характеристике промежуточной частоты. Блок-схема измерений постоянной времени термоэлектрического детектора представлена на рис. 5.

Исследуемый детектор VD использовался в качестве смесительного элемента, на который подавались сигналы опорного генератора G_1 и сигнал гетеродина G_2 через развязывающие вентили, аттенюаторы WV_1 и WV_2 , и направленный ответвитель WE . Сигнал регистрировался высокочастотным вольтметром V . В качестве источников G_1 и G_2 были использованы генераторы ГКГ-3 3-мм диапазона волн на диодах Ганна из фосфида индия, стабилизированных сферо-углово-эшелеттным открытым резонатором.

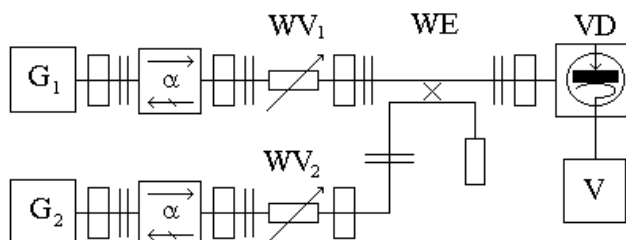


Рисунок 5 - Блок-схема измерений постоянной времени термоэлектрического детектора

Частота генерации составляла 85,983 ГГц при выходной мощности не ниже 10 мВт. Долговременная температурная стабильность частоты, оцениваемая по электронно-счетному частотомеру, составляла $\Delta f/f = 3 \cdot 10^{-8}$ [6]. При изменении промежуточной частоты сигнала от 1 до 10 МГц ее амплитуда оставалась практически постоянной (рис. 6). Это указывает на то, что у таких образцов постоянная релаксация тепловых процессов не превосходит величину 10^{-7} .

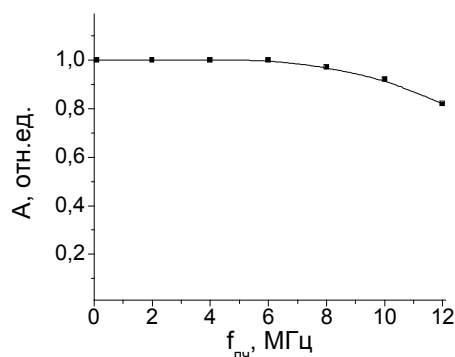


Рисунок 6 - АЧХ детектора по промежуточной частоте

Экспериментальные данные удовлетворительно совпадают с величиной постоянной времени, найденной аналитическим путем [7].

ВЫВОДЫ

В результате экспериментального исследования термоэлектрических детекторов на основе точечной термопары $W - BiSb$ показано, что реализованные макеты имеют вольт-ваттную чувствительность в 3-мм диапазоне порядка 1-2 В/Вт. Инерционность составляет величину не более 10^{-7} с, что на несколько порядков меньше, чем у известных типов тепловых детекторов. Применение термопар металл-полуметалл в качестве чувствительных элементов датчиков СВЧ мощности перспективно и позволяет создать малоинерционный детектор излучения в коротковолновой части мм диапазона длин волн.

SUMMARY

FEATURES OF THE POINT THERMOCOUPLE $W - BiSb$ OUT AT THE 3-MM WAVELENGTH

O.N. Sukhoruchko

A.Ya. Usikov Institute of Radio Physics and Electronics of National Academy of Sciences of Ukraine, Proskura Str., 12, Kharkov, 61085, Ukraine

Results of experimental study of the heat time constant and sensitivity of the pointed alloy bismuth-stibium-tungsten thermocouple have been carried out at the 3-mm wavelength. The experimental voltage-power sensitivity and amplitude-frequency characteristic are presented.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. № 336617 СССР МКИ⁴ G01 R 29/00. Термопарный индикатор СВЧ - излучения /В.Т.Плакий, В.М.Светличный // Открытия. Изобретения. –1972. - № 4. – С.72.
2. V.T. Plaksiy, V.M. Svetlichniy, O.N. Sukhoruchko, V.A. Solodovnic. Bismuth-antimony alloys and their application in microwave engineering // The Fourth International Kharkov Symposium "Physics and Engineering of Millimeter and Sub-Millimeter Waves". - Kharkov, June 4-9, 2001. - Vol.1. - P.331-332.
3. Сухоручко О.Н., Плакий В.Т., Корецкий А.П. Детектор 8-мм диапазона длин волн на основе точечной термопары металл-полуметалл *BiSb*. Часть 1 // Системи обробки інформації. - 2004. - Вип.8 (36). - С. 201–205.
4. Plaksiy V.T., Sukhoruchko O.N., Yefimov B.P., Kasyanenko A.P. Account of Thermal Flow Through Metal-Semimetal BiSb contact Boundary for Determination of EHF Detector Volt-Watt Sensitivity // International Journal of Infrared and Millimeter Waves. – 2002. - Vol.23, №4. - P. 645-650.
5. Измерения на миллиметровых и субмиллиметровых волнах. Методы и техника // Валитов Р.А., Дюбко С.Ф., Фисун А.И. и др. / Под ред. Валитова Р.А. и Макаренко Б.И. –М.: Радиосвязь, 1984. –295 с.
6. Белоус О.И., Сухоручко О.Н., Фисун А.И. Энергетические и спектральные характеристики квазиоптического твердотельного генератора миллиметрового диапазона волн // Радиофизика и электроника. – 2007. - Т. 12, № 1. - С. 236-242.
7. Плакий В.Т., Светличный В.М. Об инерционности точно-контактных СВЧ детекторов на основе сплава BiSb // Известия вузов СССР, Радиоэлектроника. – 1991. - Т. 14, № 5. – С. 588 – 589.

О.Н. Сухоручко, кандидат физико-математических наук, ст. научный сотрудник ИРЭ им. А.Я. Усикова НАНУ

Поступила в редакцию 27 сентября 2007 г.