

## ДЕТЕКТОР 8-ММ ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН НА ОСНОВЕ ТОЧЕЧНОЙ ТЕРМОПАРЫ МЕТАЛЛ-ПОЛУМЕТАЛЛ *BiSb* Часть II

О.Н. Сухоручко, к.ф.-м.н. В.Т. Плаксий, к.ф.-м.н. А.П. Корецкий  
(представил д.т.н. В.К. Иванов)

*В статье приведены результаты экспериментального исследования термоэлектрических детекторов с точечным контактом металл-полуметалл *BiSb* в 8-мм диапазоне волн. Определена вольт-ваттная чувствительность и инерционность, которая на несколько порядков меньше, чем у известных типов тепловых детекторов.*

**Введение.** В [1] описан экспериментальный макет термоэлектрического детектора, на котором проводились экспериментальные исследования, описанные ниже.

Одним из основных параметров детекторов электромагнитного излучения является его вольт-ваттная чувствительность  $\beta$  [2 – 4], определяемая по наклону вольт-ваттной характеристики прибора  $U_T = f(P)$ . Блок-схема установки, на которой проводилось определение вольт-ваттной характеристики детекторов в 8-мм диапазоне, приведена на рис. 1.

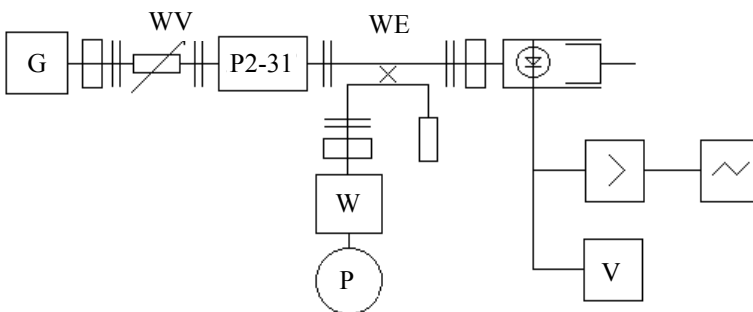


Рис. 1. Блок-схема установки для определения вольт-ваттной характеристики детекторов в 8-мм диапазоне

Генератор *G* типа Г4-141 работал как в режиме немодулированных колебаний, так и в импульсном режиме. Ослабление сигнала в тракте

осуществлялось аттенуатором поглощающим  $WV$ . При помощи измерительной линии P2-31 определялось КСВ в тракте. Часть высокочастотной мощности ответвлялась через 10 дБ направленный ответвитель WE и фиксировалась измерителем мощности P типа Я2М-69 с термисторной головкой W типа M5-49. Зная величину КСВ и мощности, падающей на образец, по формуле

$$P_{\text{погл}} = P_{\text{пад}} \left[ 1 - \left( \frac{\varphi - 1}{\varphi + 1} \right)^2 \right],$$

где  $\varphi$  – КСВ в тракте, определялась мощность, рассеиваемая в нагрузке. Термоэлектрическое напряжение, развиваемое детектором, измерялось цифровым вольтметром V типа В7-34. При работе генератора в импульсном режиме напряжение, снимаемое с детектора, усиливалось усилителем типа У2-8 и подавалось на осциллограф типа С1-71 для визуального наблюдения формы огибающей видеосигнала.

**Экспериментальные результаты.** Экспериментальные вольт-ваттные характеристики термоэлектрических детекторов СВЧ излучения на основе точечного контакта металл-полуметалл *BiSb* исследовались в 8-мм диапазоне и приведены на рис. 2 ( $1 - R = 3,0$  Ом;  $2 - R = 4,0$  Ом;  $3 - R = 5,0$  Ом). В интервале мощностей 1 – 5 мВт (в зависимости от сопротивления образца) выходное напряжение детектора прямо пропорционально мощности 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 [2].

Вольт-ваттная чувствительность  $\beta$  детекторов зависит от величины сопротивления контакта металл-полуметалл [5], что показано на рис. 3.

С увеличением сопротивления контакта  $\beta$  увеличивается и для  $R = 10,0$  Ом составляет величину порядка 4,0 мВ/мВт.

Исследование влияния смещения по постоянному току на вид вольт-ваттной характеристики также представляет интерес [3], так поскольку при изменении направления постоянного тока через контакт металл-полуметалл выходное напряжение в одном случае увеличивается, в другом – уменьшается, достигая минимума, а затем вновь увеличивается с изменением полярности выходного сигнала. Такую зависимость  $U_T$  от величины смещения по постоянному току (рис. 4) качественно можно объяснить изменением высоты потенциального барьера на контакте металл-полуметалл при одновременном воздействии СВЧ сигнала и мощности постоянного тока, а также влиянием тепловых эффектов

Пельтье и Томсона, возникающих при протекании постоянного тока через контакт.

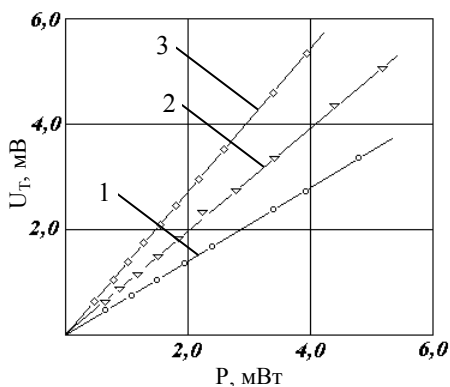


Рис. 2. Вольт-ваттные характеристики термоэлектрических детекторов

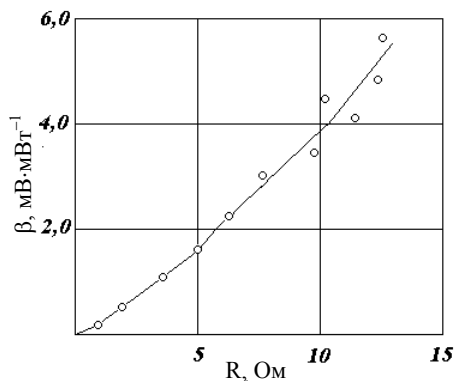


Рис. 3. Зависимость вольт-ваттной чувствительности детектора от сопротивления контакта металл-полуметалл

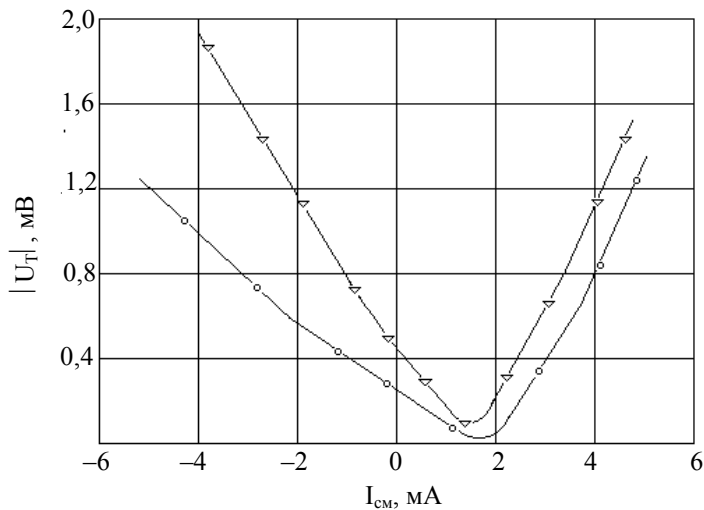


Рис. 4. Зависимость выходного напряжения детектора от величины смещения по постоянному току

Действительно, если работа выхода металла больше работы выхода полуметалла, при приложении внешнего напряжения (в полярности

+ зонд, – кристалл) электрическое поле, обусловленное контактной разностью потенциалов (– зонд, + кристалл), является тормозящим полем для носителей заряда (за направление тока принято направление движения положительных зарядов) и на контакте металл-полуметалл выделяется тепло Пельтье, приводящее к дополнительному разогреву контакта. При этом превышение температуры контакта  $\Delta T(r_k)$  возрастает, что вызывает увеличение выходного термоэлектрического напряжения. За счет наличия градиента температуры кристаллической решетки в объеме кристалла будет поглощаться тепло Томсона, приводящее к дальнейшему увеличению  $\Delta T(r_k)$ . Значит, если направление внешнего электрического поля противоположно  $E_k$ , выходное термоэлектрическое напряжение возрастает.

При изменении полярности приложенного внешнего напряжения (– зонд, + кристалл) за счет протекающего тока контакт металл-полуметалл охлаждается,  $\Delta T(r_k)$  уменьшается и, соответственно, уменьшается  $U_T$ . При определенном значении  $I$ , т.е. когда тепло Пельтье  $Q_P$  и тепло Томсона  $Q_T$  компенсирует  $P$  СВЧ сигнала,  $U_T$  будет равно нулю, затем с дальнейшим ростом тока  $T(r_k) < T_0$ , следует увеличение  $U_T$  с изменением полярности выходного сигнала.

Инерционность детекторов экспериментально определялась супергетеродинным методом, а также визуально по форме огибающей видеоимпульсов. В супергетеродинном методе исследуемые детекторы использовались в качестве смесительных элементов, на которые подавался опорный сигнал  $U_c$  и сигнал гетеродина  $U_g$ . При сложении двух сигналов  $U_c$  и  $U_g$  выделяется промежуточная частота  $\Omega$ . Феноменологическую постоянную времени детектора можно определить по ее амплитудно-частотной характеристике  $U_\Omega = f(\Omega)$ . При изменении промежуточной частоты сигнала от 30 до 10 МГц амплитуда промежуточной частоты оставалась практически постоянной, если сопротивление контакта металл-полуметалл было более 15 Ом. Это указывает на то, что у таких образцов постоянная релаксация тепловых процессов не превосходит  $10^{-7}$ . Для детекторов с сопротивлением порядка несколько Ом уровень  $0,71 U_\Omega$  соответствовал промежуточной частоте 300 КГц, что соответствует постоянной релаксации тепловых процессов  $10^{-5} - 10^{-6}$ . Экспериментальные данные удовлетворительно совпадают с расчетными постоянной времени, приведенными в [4]. При модуляции СВЧ сигнала от внешнего источника длительностью 1 мкс с крутизной фронтов  $\sim 10$  нс экспериментальные образцы детекторов с сопротивлением более 10 Ом выделяли огибающую видеоимпульсов без заметного искажения перед-

него и заднего фронтов, что также свидетельствует о том, что постоянная тепловой релаксации не превосходит величину  $10^{-7}$ .

**Выводы.** В результате экспериментального исследования термоэлектрических детекторов показано, что при реально достижимых размерах точечного контакта металл-полуметалл *BiSb* в несколько микрометров реализованные макеты имеют вольт-ваттную чувствительность в 8-мм диапазоне порядка 4 – 6 В/Вт. Инерционность составляет величину не более  $10^{-7}$  с, что на несколько порядков меньше, чем у известных типов тепловых детекторов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сухоручко О.Н., Плаксий В.Т., Корецкий А.П. Детектор 8-мм диапазона длин волн на основе точечной термонапы металл-полуметалл *BiSb*. Ч. I // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вып. 8 (36). – С. 201 – 205.
2. Bismuth-antimony alloys and their application in microwave engineering / V.T. Plakсий, V.M. Svetlichnyi, O.N. Sukhoruchko, V.A. Solodovnic // The Fourth International Kharkov Symposium "Physics and Engineering of Millimeter and Sub-Millimeter Waves". – Kharkov, Ukraine. – June 4-9, 2001. – Vol. 1. – P. 331 – 332.
3. Вольт-ваттная 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 Сумского государственного университета, серия "Физика, математика, механика". – 2001. – № 3 (24) – 4 (25). – С. 132 – 136.
4. Вольтваттная чувствительность контактов металл-полуметалл *BiSb* с учетом смещения по постоянному току / В.Т. Плаксий, О.Н. Сухоручко, Б.П. Ефимов, А.П. Касьяненко // Вестник Сумского государственного университета, серия "Физика, математика, механика". – 2002. – № 5 (38) – 6 (39). – С. 29 – 33.
5. Плаксий В.Т., Светличный В.М. Об инерционности точечно-контактных СВЧ детекторов на основе сплава *BiSb* // Известия вузов СССР. Радиоэлектроника. – 1971. – Т. 14, № 5. – С. 588 – 589.

Поступила 20.09.2004

**СУХОРУЧКО Олег Николаевич**, м.н.с. ИРЭ НАН Украины. В 1987 году окончил Харьковский институт радиоэлектроники. Область научных интересов – физика приборов, элементов и систем, твердотельная электроника миллиметрового диапазона волн.

**ПЛАКСИЙ Владимир Тихонович**, канд. физ.-мат. наук, доц. Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина. В 1965 году окончил Харьковский государственный университет. Область научных интересов – радиофизика, физика полупроводников.

**КОРЕЦКИЙ Анатолий Павлович**, канд. физ.-мат. наук, с.н.с. ИРЭ НАН Украины. В 1974 году окончил Харьковский государственный университет. Область научных интересов – электродинамика открытых резонансных структур, генераторная и антенная техника миллиметрового диапазона волн.