

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

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

*Приведены результаты экспериментального исследования термоэлектрических детекторов с точечным контактом металл-полуметалл BiSb в 8-мм диапазоне волн. Определена вольт-ваттная чувствительность и инерционность.*

**Введение.** Электрические свойства висмута, сурьмы и их сплавов значительно отличаются от свойств обычных металлов, что определяется сложностью их зонной структуры и наличием сравнительно слабо вырожденных носителей заряда – электронов и дырок. Необходимо также отметить большую подвижность носителей заряда и их малую концентрацию, резкую анизотропию многих кинетических коэффициентов. Слабое перекрытие валентной и свободной зон, характерное для полуметаллического состояния, позволяет управлять взаимным расположением зон многими воздействиями – магнитным полем, давлением, легированием различными примесями. Полуметаллы являются весьма перспективными материалами с точки зрения возможного их применения в различных приборах и устройствах. Уже сейчас полуметаллические сплавы висмут-сурьма находят широкое применение в термоэлектрических генераторах и холодильниках. Они оказались удобным объектом для изучения распространения электромагнитных волн в твердотельной плазме. Полуметаллы являются также перспективными материалами для низкотемпературной электроники.

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 миллиметрового диапазона длин 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 возникает градиент температуры и соответствующая ему термо-ЭДС между контактами, которая служит мерой поглощенной мощности данным устройством.

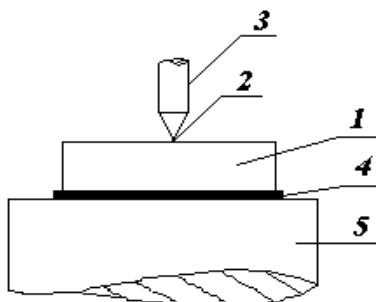


Рис. 1. Чувствительный элемент термоэлектрического детектора с точечным контактом металл-полуметалл

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 вольт-ваттной чувствительности. Одновременно повышать чувствительность и снижать инерционность можно лишь за счет миниатюризации рабочего спая термопары (контакта металл-полуметалл BiSb), 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, так как дифференциальная термо-э.д.с. у полуметаллов на порядок больше, чем у металлов.

Конструкция детектора и методика измерений. Контакт малой площади термопары создавался прикосновением электролитически заточенного зонда к сколу монокристалла BiSb, а также вплавлением металлического шарика в кристалл [3]. Конструктивно чувствительные элементы изготавливались в бескорпусном исполнении в волноводной камере. При этом последовательность операций была следующая.

Пластина BiSb, толщиной 0,4 – 0,6 мм, сколотая со слитка, разрезалась на кристаллы размерами  $0,8 \times 0,8 \text{ мм}^2$ . Кристаллы припаивались индием к металлическим кристаллодержателям. В качестве флюса при пайке кристаллов использовался хлористый цинк, остатки которого снимались при кипячении кристаллодержателей с кристаллами в перекиси водорода и промыванием в дистиллированной воде и спирте. В течение 6 – 12 часов кристаллодержатели с кристаллами сушились в сушильном шкафу при температуре 50 – 60°C. Такой длительный отжиг кристаллов необходим для снятия остаточных напряжений, возникающих при разрезании сколотой пластины на кристаллы. В качестве зондов использовались никелевая, вольфрамовая проволоочки и проволочка из бериллиевой бронзы. Проволочки затачивались электролитическим способом после пайки на иглодержатели. В качестве электролита для заточки никелевой проволоочки использовался 40%-ный раствор ортофосфорной кислоты, а для заточки вольфрамовой и бронзовой проволоочки – 30%-ный раствор едкого калия. Время заточки проволоочки зависело от величины тока, протекающего через контакт зонд – электролит, и было равным 1 – 2 мин. Таким способом получались зонды с радиусом закругления в несколько микрон.

Для создания контактов кристаллодержатели с кристаллами помещались в детекторную секцию. В зависимости от прижима зонда к кристаллу сопротивление контакта варьировалось в широких пределах – от единиц до десятков Ом. Прижимные контакты металл-полуметалл были механически нестабильными. Для получения механически и электрически устойчивых контактов применялся метод сварки никелевой проволоочки с кристаллом при пропускании через контакт импульсов тока регулируемой амплитуды и длительности. Схема установки для формирования таких импульсов приведена на рис. 2.

В ее состав входит генератор типа Г5-63, включенный в режиме формирования одиночных импульсов, истоковый повторитель на поле-

вом транзисторе типа IRF-630 и цифровой вольтметр типа В7-34, включенный в режиме омметра. Длительность импульсов сварки регулируется от нескольких миллисекунд до десятых долей секунды с помощью генератора, а амплитуда – напряжением источника питания повторителя. Нагрузкой повторителя является контакт проволочка-кристалл. В цепь стока включен токоограничивающий резистор. Процесс сварки контролируется с помощью микроскопа.

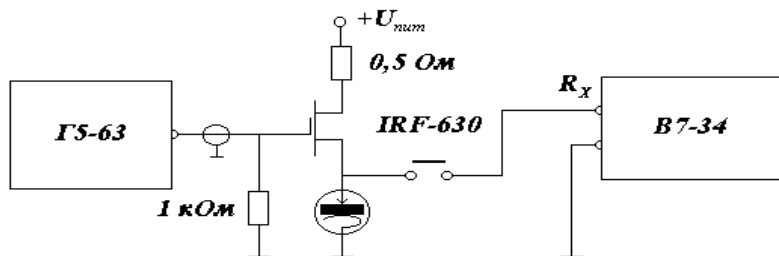


Рис. 2. Схема установки для формирования импульсов сварки металлического зонда с кристаллом

Кристаллодержатели и иглодержатели с зондами длиной 1,5 – 2,5 мм с S-образным изгибом ввинчивались в волноводную камеру (рис. 3), где слева показан вид в разрезе по широкой стенке волновода, справа – по его узкой стенке.

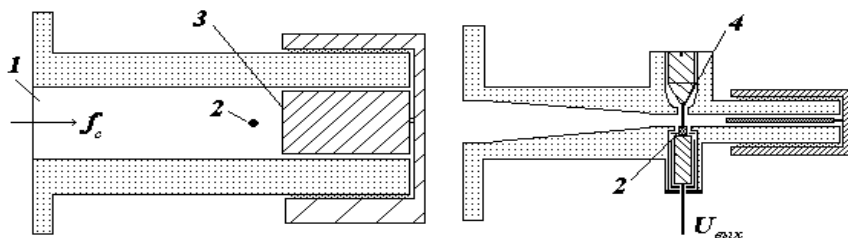


Рис. 3. Конструкция детектора

Для 8-мм диапазона входной волновод 1 был выполнен сечением  $7,2 \times 3,4$  мм с дальнейшим переходом на сечение  $7,2 \times 0,6$  мм для оптимального согласования с чувствительным элементом 2. Узел контактной иглы 4 содержит винтовой механизм перемещения и исключает потери СВЧ мощности. Детекторная секция заканчивалась короткозамыкающим поршнем 3, позволяющим производить согласование детекторов с волноводным трактом.

**Результат.** На рис. 4 представлена фотография разработанного экспериментального макета термоэлектрического детектора.

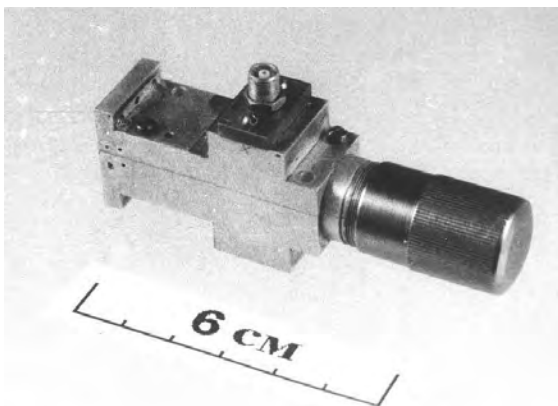


Рис. 4. Фотография экспериментального макета термоэлектрического детектора

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Свойства сплавов висмут-сурьма в СВЧ диапазоне / В.Т. Плаксий, О.Н. Сухоручко, А.П. Касьяненко, Б.П. Ефимов // Тез. докл. 11-й Международной конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". – Севастополь. – 2001. – С. 498 – 499.
2. 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.
3. 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 Сумского государственного университета, серия "Физика, математика, механика". – 2003. – № 8(54). – С. 28 – 37.

Поступила 18.08.2004

**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, доцент 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.