

09;12

## **Сверхпроводниковый смеситель на эффекте электронного разогрева как элемент матрицы системы построения тепловых изображений**

© Р.В. Ожегов, К.Н. Горшков, О.В. Окунев, Г.Н. Гольцман

Московский педагогический государственный университет  
E-mail: kostochkin@rblab.ru

Поступило в Редакцию 1 июня 2010 г.

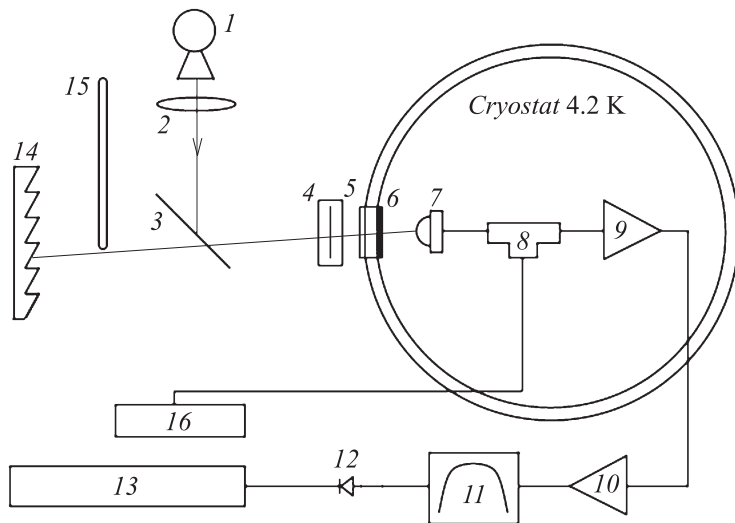
Исследована возможность использования матрицы чувствительных элементов на гиперполусферической линзе диаметром 12 mm в тепловизоре терагерцевого диапазона частот. Получены размеры области на линзе, приемлемой для расположения матрицы, в которой шумовая температура приемника меняется в пределах 16% от средней. Диаметр этой области составил 3.3% диаметра линзы. Получены отклонения основного лепестка диаграммы направленности, которые составили  $\pm 1.25^\circ$  от направления с оптимальным положением смесителя. Флуктуационная чувствительность приемника в эксперименте составила 0.5 K на частоте 300 GHz.

Интерес к исследованиям в области терагерцевых частот связан с большим количеством применений, в которых техника этого диапазона частот может играть решающую роль по сравнению с техникой радиодиапазона и инфракрасного диапазона электромагнитных волн. Такие устройства могут применяться в астрофизике при изучении распределения вещества во вселенной, изучении темной материи, реликтового излучения, излучения газопылевых облаков. При этом, как правило, в радиотелескопах для разных частот используются чувствительные элементы, работающие на разных физических принципах. В области терагерцевых частот зарекомендовали себя НЕВ-смесители (Hot electron bolometer mixer или смеситель на эффекте разогрева электронов в тонкой пленке сверхпроводника), установленные в ряде высокогорных и космических телескопов, в том числе и в телескопе Hershel [1–3]. Также представляет интерес исследование возможностей других применений НЕВ-приемников в медицине, интроскопии промышленных

конструкций, воздушной и морской навигации в условиях плохой видимости, пожарной охране, службах экологического мониторинга, системах безопасности [4-6].

На данный момент существует множество решений для получения тепловых изображений как в СВЧ-, так и в ИК-диапазонах [7]. Однако эти решения малоэффективны ввиду плохого пространственного разрешения у СВЧ-систем и значительного поглощения ИК-излучения одеждой, различными материалами и пылью в атмосфере. Наиболее оптимальным решением является использование излучения терагерцевого диапазона, который занимает промежуточное место между СВЧ- и ИК-диапазонами и сочетает их лучшие качества. Приемники этого диапазона частот позволяют получать изображения скрытых объектов и определять материалы, из которых они изготовлены, а также ввиду малой длины волны обладают высоким пространственным разрешением и, как следствие, большей информативностью получаемых изображений.

Системы тепловидения можно разделить по наличию или отсутствию источника облучения исследуемого объекта на активные [8,9] и пассивные системы [6] соответственно. Мы выбрали для разработки пассивный метод с использованием смесителя на эффекте электронного разогрева, поскольку данный метод позволяет, в принципе, получать спектральные характеристики объекта по методу построения изображений: на основе сложной сканирующей системы с одним чувствительным элементом и на основе матрицы чувствительных элементов с простым сканирующим устройством. Основным недостатком первого подхода является скорость построения изображения. Во втором подходе имеется ряд сложностей — согласование матрицы с принимаемым излучением и системой построения изображений. Прежде чем разрабатывать подобную матрицу из чувствительных элементов, целесообразно провести измерения, позволяющие определить возможность использования НЕВ-смесителя в качестве элементов матрицы, расположенной на плоскости гиперполусферической линзы. Для проведения таких измерений нет необходимости в смесителях с рекордными характеристиками, поэтому в рамках этой работы использовались смесители с шумовой температурой много выше квантового предела для 300 GHz. Данная работа направлена на изучение зависимости шумовых характеристик приемника от расположения чувствительного объекта на гиперполусферической линзе.



**Рис. 1.** Схема эксперимента: 1 — лампа обратной волны 300 GHz; 2 — тефлоновая линза; 3 — майларовый делитель луча; 4 — диафрагма; 5 — тефлоновое окно; 6 — инфракрасный фильтр Zitex; 7 — смесительный блок; 8 — адаптер смещения; 9 — охлаждаемый усилитель ПЧ; 10 — усилитель ПЧ; 11 — полоснопропускающий фильтр; 12 — детектор; 13 — устройство сбора данных; 14 — фоновая нагрузка при 77 K; 15 — сигнальная нагрузка при 293 K; 16 — источник напряжения смещения.

В рамках проведенного исследования НЕВ-смеситель был включен в радиометрический тракт. Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. НЕВ-смеситель, согласованный с планарной спиральной антенной, закреплен на гиперполусферической линзе, изготовленной из высокоомного кремния. Смеситель устанавливался на плоской поверхности линзы с различным смещением относительно центра линзы, точность позиционирования образца составляла примерно  $50 \mu\text{m}$ . При помощи адаптера смещения смеситель согласовывался с источником смещения и трактом промежуточных частот (ПЧ). Тракт ПЧ представляет собой охлаждаемый усилитель с циркулятором, полосно-пропускающий фильтр и усилители, работающие при комнатной температуре. Коэффициент усиления тракта ПЧ соста-

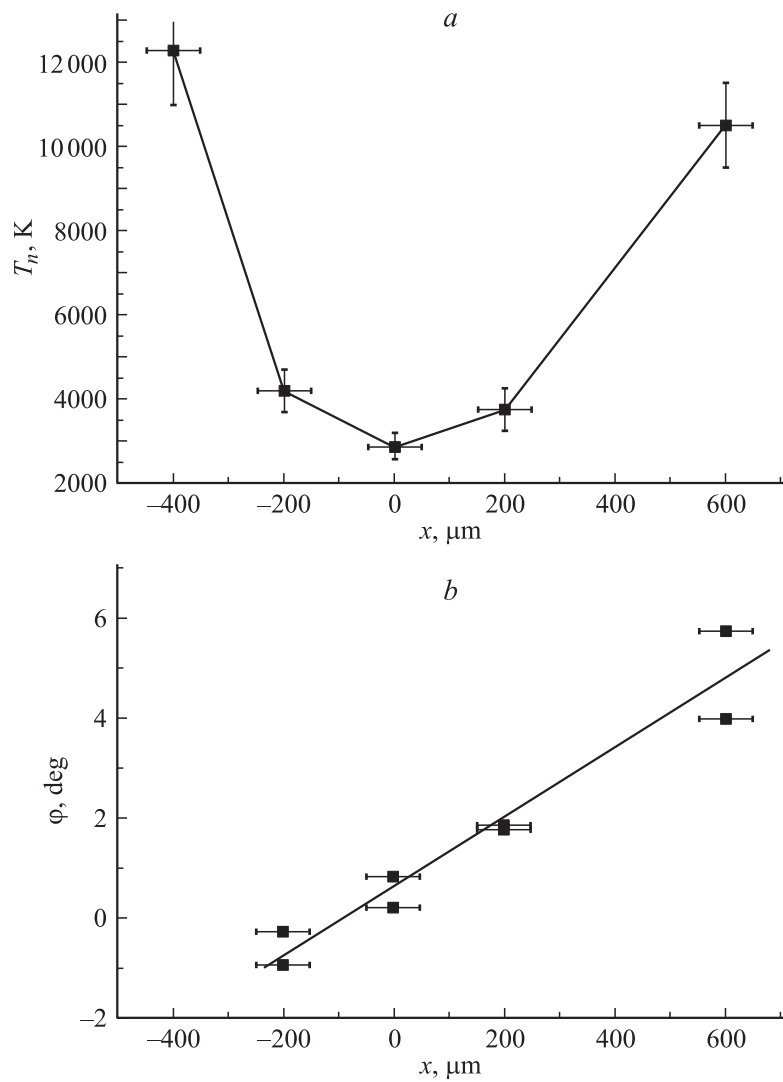
вил  $\sim 70$  dB в полосе тракта ПЧ 1.25–1.75 GHz. На выходе тракта ПЧ стоял квадратичный детектор. Сигнал с детектора измерялся при помощи синхронного детектора и обрабатывался на компьютере при помощи оригинального программного обеспечения, предназначенного для записи зависимостей выходного сигнала радиометрического тракта от времени с последующим их анализом. В качестве гетеродина использовалась лампа обратной волны ОВ-30, измерения проводились на частоте гетеродина 300 GHz. В качестве сигнального источника с изменяемой температурой использовалась нагрузка из материала ECCOSORB, являющаяся абсолютно черным телом в терагерцевом диапазоне частот. Согласование излучения гетеродина с излучением нагрузки и смесителем обеспечивалось майларовым делителем луча.

Установка позволяет измерять шумовую температуру приемника методом взаимозаменяемых холодной и горячей нагрузок, используя стандартную методику измерения  $Y$ -фактора. Настройка по шумовой температуре оптимальной рабочей точки смесителя производится изменением мощности гетеродина и величины постоянного тока смещения по методике, изложенной в [10]. Оптимальная шумовая температура на частоте 300 GHz для выбранного приемника составляла  $\sim 3000$  K.

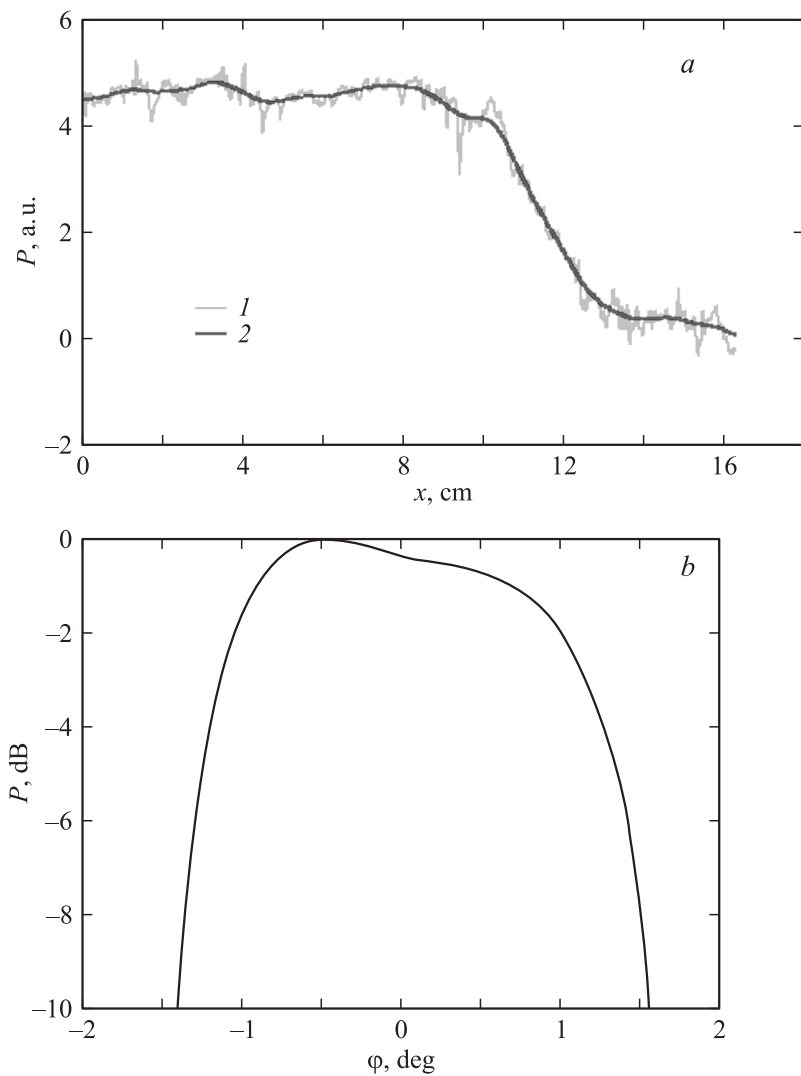
Для получения диаграммы направленности использовались диафрагма в виде тонкой горизонтальной прорези в экране, расположенная у окна криостата для ограничения области видимости приемника, и плоская сигнальная нагрузка при температуре 293 K, которая перемещалась по горизонтали с высокой точностью, постепенно закрывая холодную фоновую нагрузку. Ширина прорези составляла 2 mm. Сигнальная нагрузка передвигалась на расстоянии 580 mm от криостата. Сигнал модулировался с частотой 20 Hz и детектировался синхронным детектором EG&G Model 124A.

Была проведена серия измерений шумовой температуры приемника с одним НЕВ-смесителем при различных положениях смесителя относительно центра линзы методом  $Y$ -фактора. Как видно из рис. 2, *a*, шумовая температура незначительно меняется при смещении смесителя в области диаметром 400  $\mu$ m относительно оптимального положения и сильно возрастает за пределами этой области.

В этой же серии экспериментов также были проведены измерения диаграмм направленности приемника при различных смещениях



**Рис. 2.** *a* — зависимость шумовой температуры от смещения смесителя от центра линзы; *b* — зависимость отклонения основного лепестка диаграммы направленности смещения смесителя от центра линзы.



**Рис. 3.** 1 — зависимость величины сигнала от положения нагретой нагрузки. 2 — сплайн интерполяция зависимости 1 (а). Типичная диаграмма направленности, получаемая в эксперименте на расстоянии 580 mm от криостата до нагретой нагрузки (б).

смесителя относительно центра линзы. При помощи компьютера записывалась зависимость мощности выходного сигнала от положения сигнальной нагрузки. Типичная зависимость представлена на рис. 3, *a*. Затем эти зависимости были продифференцированы по координате и приведены к угловым зависимостям, и в результате были получены диаграммы направленности, типичная из них представлена на рис. 3, *b*. При этом для диаграмм направленности при разных положениях смесителя на линзе наблюдалось отклонение главного лепестка. На рис. 2, *b* представлены результаты измерений зависимости отклонения главного лепестка диаграммы направленности от смещения образца на линзе.

Таким образом, удалось определить область на линзе, в которой должна находиться матрица чувствительных элементов. Учитывая, что размер НЕВ-смесителя, интегрированного с планарной спиральной антенной, составляет около  $200\ \mu\text{m}$ , то в этой области можно разместить матрицу из  $2 \times 2$  элементов. Как видно из рис. 2, *b*, максимальное отклонение главного лепестка диаграммы направленности для найденной области составило примерно  $2.5^\circ$ . Таким образом, разместив матрицу из четырех НЕВ-смесителей на гиперполусферической линзе, мы можем создать систему машинного зрения, позволяющую на расстоянии 20 м разрешить небольшой объект в области диаметром 15 мм без сканирующей системы.

Представленная работа направлена на разработку и применение матрицы НЕВ-смесителей в системах машинного зрения. Результаты представляют интерес для дальнейших разработок систем машинного зрения терагерцевого диапазона на основе матриц НЕВ-смесителей и позволяют надеяться на создание матриц с большим числом элементов.

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства по образованию в рамках Государственного контракта № П2133 на выполнение поисковых научно-исследовательских работ для государственных нужд от 5 ноября 2009 г.

## Список литературы

- [1] Сайт проекта Herschel <http://herschel.esac.esa.int/links.shtml>
- [2] Сайт проекта Миллиметрон <http://www.asc.rssi.ru/millimetron>
- [3] Рябов В.А., Царев В.А., Цховребов А.М. // УФН. 2008. Т. 178. С. 1129.

- [4] *Huguenin R.G.* // Millivision Technologies. 2005.
- [5] *Robertson D.A.* // Joint 29<sup>th</sup> Int. Conf. on IR and MM Waves and 12<sup>th</sup> Int. Conf. on THz Electronics: Conference Digest. Karlsruhe, 2004. P. 519–520.
- [6] *Yujiri L., Shoucri M., Moffa P.* // IEEE Microwave Magazine. 2003. V. 4. Issue 3. P. 39–50.
- [7] *Сизов Ф.Ф.* Фотоэлектроника для систем видения в „невидимых“ участках спектра. Киев: Академперіодика, 2008.
- [8] *Activ Terahertz Imaging for Security (TeraSec).* H.-W. Hübers. SRC 07. Berlin, 27.03.2007.
- [9] *Zimdars D., White J., Stuck G et al.* // International J. High Speed Electronics and Systems. 2007. V. 17. N 2.
- [10] *Gol'tsman G.N., Vachtomin Y.B., Antipov S.V. et al.* // Proc. SPIE. 2005. V. 5727. P. 95–106.