

А.В. БАРКО, А.В. ВОЙЦЕХОВСКИЙ, А.Г. ЛЕВАШКИН, А.П. КОХАНЕНКО

**Расчет параметров детекторов терагерцового диапазона на основе системы иммерсионная линза-планарная антенна-полупроводниковый датчик**

В данной работе приводятся результаты расчетов параметров детекторов терагерцового диапазона на основе полупроводникового материала теллурида-кадмия-ртути (КРТ). Для улучшения связи с излучением детекторов, предложено использовать систему иммерсионная линза - планарная антенна - полупроводниковый датчик. Рассмотрены зависимости чувствительности приемника от частоты для образцов КРТ различного типа проводимости. Также проведены расчеты по выбору оптимальных параметров системы иммерсионная линза-планарная антенна для детекторов в диапазоне частот от 1 до 5 ТГц.

*Ключевые слова:* детекторы терагерцового диапазона, иммерсионная линза, планарная антенна, КРТ

Терагерцовым излучением называется электромагнитное излучение в интервале частот от 0,3 до 10 ТГц, т.е.  $0,3 \cdot 10^{12} - 10 \cdot 10^{12}$  Гц (длина волны 1 мм – 30 мкм). Этот частотный интервал занимает часть электромагнитного спектра между инфракрасным (ИК) и микроволновым диапазонами, поэтому его часто также называют дальним ИК или субмиллиметровым диапазоном.

Однако терагерцовый диапазон все еще недостаточно «освоен» твердотельными приборами, которые могли бы испускать и детектировать излучение селективным образом. Такие приборы могли бы иметь широкое применение, например, для формирования ТГц-изображения в медицине, в качестве химических и биологических сенсоров, в широкополосной связи, радиоастрономии, для диагностики атмосферы со спутников и др. [1].

Фотодетекторы на основе узкозонных твердых растворов теллурида-кадмия-ртути (КРТ) широко используются при создании фотоприемных устройств ИК диапазона. Одним из основных преимуществ этого материала является возможность изменения значений запрещенной зоны КРТ путем изменения соотношений HgTe к CdTe. В тоже время, КРТ является потенциальным материалом для изготовления полупроводниковых болометров на горячих электронах (НЕВ) из-за узкой запрещенной зоны, высоких значений подвижности электронов  $\mu_n$  и относительно небольшой времени релаксации электронов  $\tau_{нЕ}$  и времени жизни свободных электронов  $\tau$  [2].

Для характеристики приемников с прямым детектированием используется эквивалентная шумовая мощность (NEP). NEP равна мощности излучения, создающего на входе приемника сигнал, равный шуму [2]:

$$NEP = \frac{U_N}{S_V (\Delta f)^{1/2}},$$

где  $U_N$  – напряжение шума;  $S_V$  – вольт-ваттная чувствительность детектора;  $\Delta f$  – ширины полосы измерительного тракта вблизи центральной частоты.

Результаты расчетов, проведенных на основе модели (Рис. 1) применяемой при рассмотрении детекторов НЕВ на основе полупроводников, и сравнение с литературными данными приведены в таблице.



Рис. 1. Конфигурация болометра на КРТ

Как видно из таблицы, детекторы на основе КРТ могут составить конкуренцию существующим неохлаждаемым детекторам за счет большой частоты модуляции и большому диапазону рабочих частот.

Таблица 1

Сравнение неохлаждаемых детекторов терагерцового диапазона

Характеристики Виды приемников	Модуляция частоты (Гц)	Рабочая частота (ТГц)	NEP (Вт/Гц <sup>1/2</sup> )
Ячейка Голея [3]	<20	<30	$10^{-9} - 10^{-10}$
Детекторы на барьерах Шоттки [3]	< $10^{10}$	< 10	$>10^{-10}$
SIS детекторы [3]	$3 \cdot 10^4$	0.645	$\approx 3 \cdot 10^{-10}$
НЕВ детекторы на основе КРТ	< $10^8$	$\approx 0,5-5$	$\approx 5.58 \cdot 10^{-10}$

В терагерцовом диапазоне помимо детектирующего элемента важную роль играет система антенна-подложка-линза [2, 3]. Рис. 2 показывает схематическое представление антенны на основании полусферической линзы [4].

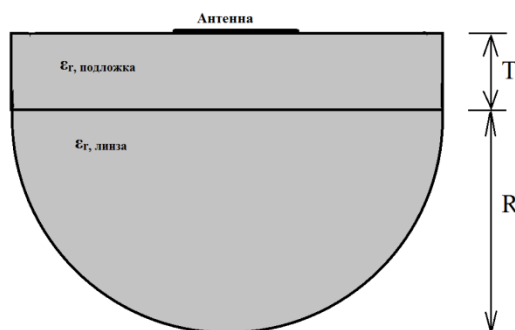


Рис. 2. Система антенна-подложка-линза [4]

Геометрия линзы играет важную роль в максимизации направленности, в то время как ширина полосы пропускания управляется структурой антенны.

При моделировании проектируемые антенны не должны иметь систем возбуждения, так как их основное приложение – фотопроводящие антенны, которые будут возбуждены с помощью терагерцового источника. В работе проводился расчет параметров бабочкообразной и логопериодической антенн с различными параметрами (Рис. 3).

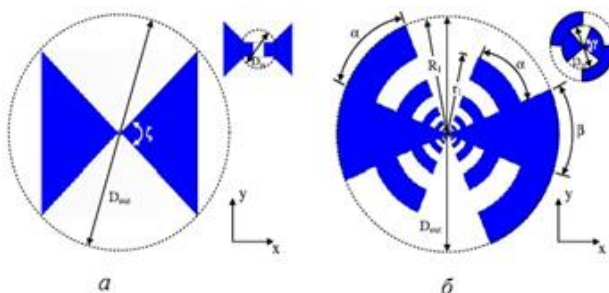


Рис. 3. Самодополнительные антенны: а – бабочкообразная, б – логопериодическая

В работе проводились расчеты по зависимости усиления от частоты при различных размерах антенн (Рис. 4, 5). Кроме этого проводилась оптимизация геометрии логопериодической антенны. Был предложен свой вариант построения зубцов логопериодической антенны.

На рис. 4,5 представлены результаты для логопериодической и бабочкообразной антенн с различными радиусами ( $r=75$  мкм соответствует верхней границы длины волны при  $L=\lambda/4$ ,  $r=300$  мкм соответствует верхней границы длины волны при  $L=\lambda$ ). Видно, что значение величины усиления зависит от размеров антенны и растет с ростом частоты во всем диапазоне от 1 ТГц до 5 ТГц. Значительных отличий в результатах в зависимости от типа антенны не наблюдается.

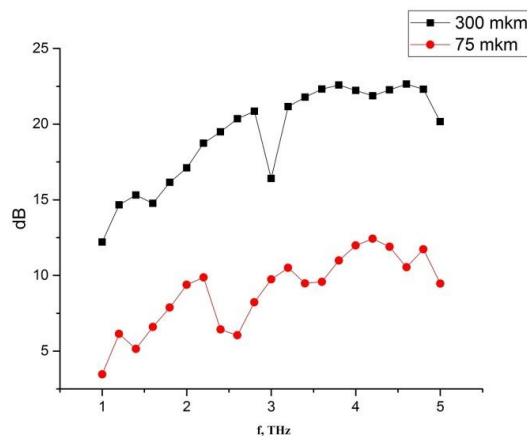


Рис. 5. Зависимость усиления логопериодической антенны при радиусе 300 мкм и 75 мкм.

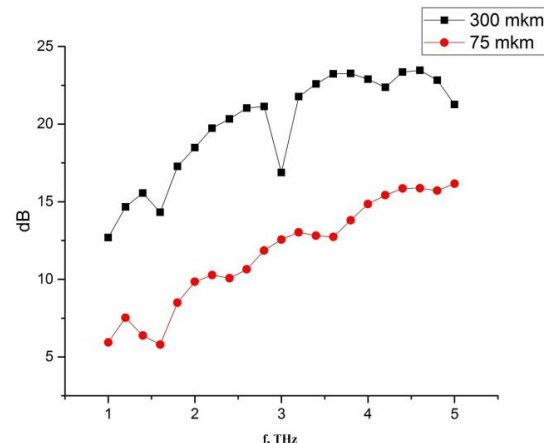


Рис. 6. Зависимость усиления бабочкообразной антенны при радиусе 300 мкм и 75 мкм.

Таким образом в работе рассмотрена возможность создания детекторов терагерцового диапазона на основе КРТ. Проведены расчет чувствительности НЕВ детекторов на основе КРТ и анализ системы иммерсионная линза - планарная антенна - полупроводниковый датчик. Показана возможность и перспективность использования такой системы для создания чувствительных НЕВ приемников терагерцового диапазона на основе узкозонных твердых растворов КРТ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генерация и регистрация терагерцового лазерного излучения ультракороткими лазерными импульсами: Учебное пособие / Сост.: М. В. Царев. - Нижний Новгород: Нижегородский университет, 2011. - 75 с.
2. F. Sizov, A. Rogalski THz detectors // Progress in Quantum Electronics. - 2010. - №34. - P. 278-348.
3. Hohlfield R. G., Cohen N. Self-similarity and the geometric requirements for frequency independence in antenna // Fractals. - 1999. - T. 7. - №. 01. - С. 79-84.
4. Nguyen T. K. et al. Numerical study of self-complementary antenna characteristics on substrate lenses at terahertz frequency // Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves. - 2012. - T. 33. - №. 11. - С. 1123-1137.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия  
E-mail: kokh@mail.tsu.ru

Барко Алексей Владимирович, студент;  
Войцеховский Александр Васильевич, д.ф.-м.н., зав. каф., профессор;  
Левашкин Андрей Генъевич, д.ф.-м.н., профессор;  
Коханенко Андрей Павлович, д.ф.-м.н., профессор.

### Calculation of parameters of detectors of terahertz range based on the system immersion lens-planar antenna-semiconductor sensing unit

In this work results of calculation of parameters of detectors of terahertz range based on mercury-cadmium telluride (MCT) semiconductor material are given. For increasing the connection with emission of detector it is proposed to use the system immersion lens-planar antenna-semiconductor sensing unit. The dependence of sensitivity of detector on frequency for MCT samples with different types of conductivity is considered. Estimations of optimal parameters of system immersion lens-planar antenna-semiconductor sensing unit for detectors of 1 to 5 THz range are conducted.

**Keywords:** detectors of terahertz range, detectors of terahertz range, planar antenna, MCT

#### REFERENCES

1. Generacia i registracia teragercovogo lazernogo izlychenia ultrakorotkimi lazernimi impulsami: Ychebnoe posobie / Sost. M. V. Tcarev. - Nizhnii Novgorod: Nizhegorodskii universitet, 2011. - 75 s. (In Russ.)
2. F. Sizov, A. Rogalski THz detectors // Progress in Quantum Electronics. - 2010. - №34. - P. 278-348.
3. Hohlfield R. G., Cohen N. Self-similarity and the geometric requirements for frequency independence in antenna // Fractals. - 1999. - T. 7. - №. 01. - С. 79-84.
4. Nguyen T. K. et al. Numerical study of self-complementary antenna characteristics on substrate lenses at terahertz frequency // Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves. - 2012. - T. 33. - №. 11. - С. 1123-1137.

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia  
E-mail: kokh@mail.tsu.ru

---

Barco Alexsey Vladimirovich, student;  
Voitsekhovskii Alexander Vasilievich, Prof., Dr. Sc.;  
Levashkin Andrey Genyovich, Ass. Prof., PhD;  
Kokhanenko Andrey Pavlovich, Prof., Dr. Sc..