

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ИНФРАКРАСНЫЙ ДЕТЕКТОР С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ

А.К. Есман, В.К. Кулешов, Г.Л. Зыков, В.Б. Залесский

Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси, пр. Независимости 68, Минск 220072, Беларусь, тел. +375 (17) 283-91-12, E-mail: lomoi@inel.bas-net.by

Предложена оригинальная конструкция диода Шоттки с балочными выводами и показано, что при оптимизации размеров его элементов и расположении в эластичном слое диэлектрика периодических решеток можно достичь потерь на отражение – -38,81 дБ, эффективности преобразования 97,32 % и резонансной частоты детектирования - 36,5 ТГц.

### Введение

Совершенствование квантовых инфракрасных детекторов идет по пути увеличения широкополосности, расширения частотного диапазона в длинноволновую область, повышения надежности, уменьшения габаритов и массы, создания многофункциональных приборов. Сегодня микроволновые методы исследований применяются практически во всех областях фундаментальной и прикладной науки. Освоение новых, более высокочастотных диапазонов имеет важное значение в связи с широкой практической востребованностью техники субмиллиметрового диапазона. Одним из предложенных ранее путей развития инфракрасных СВЧ-устройств, была конструкция, сочетающая в себе использование GaAs-структуры  $i-n-p$ -типа и воздушной изоляции анодного вывода, т. е. диод Шоттки с балочными выводами, встроенный в планарные антенны [1, 2].

### Основная часть

Целью настоящей работы является выбор, обоснование и реализация конкретных конструктивно-технологических решений обеспечивающих улучшение основных параметров и характеристик диода Шоттки с балочными выводами.

В работе рассматривается один из возможных путей решения поставленной задачи за счет совершенствования структуры эластичного диэлектрика низкобарьерного диода Шоттки с легированием и балочными выводами без смещения [3]. Предложенная конструкция диода Шоттки с балочными выводами представлена на рис. 1, где в полупроводниковой подложке 9 друг над другом сформированы  $n^+$ -слой 8 и  $n$ -слой 7. На поверхности  $n$ -слоя 7, нанесена пленка диэлектрика 6 с вырезом, над которым расположен анодный балочный вывод 5 с контактом 11 к слою полупроводника 7. А катодный балочный вывод 4 расположен на пленке диэлектрика 6 с катодным контактом 10 к слою полупроводника 8. Сверху на катодном 4 и анодном 5 балочных выводах выполнен слой эластичного диэлектрика 2, имеющий в центре над подложкой 9 окно 3, а по краям – периодические решетки 1, каждая из которых содержит четыре отверстия прямоугольной формы.

Компьютерный эксперимент по исследованию параметров и характеристик предложенного диода проводился с использованием программы

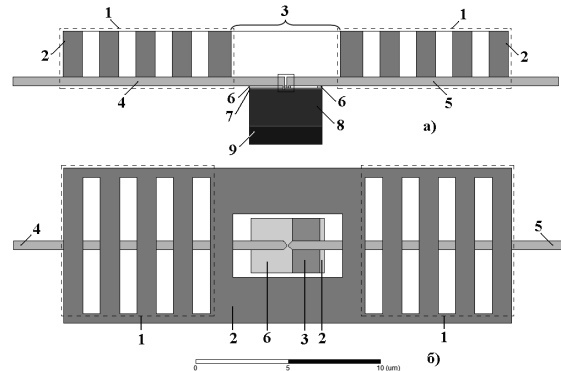


Рис. 1. Схематическое изображение сечений диода Шоттки с балочными выводами по горизонтали - (а) и вертикали - (б), где: 1 – периодические решетки, 2 – слой эластичного диэлектрика, 3 – окно, 4 – катодный балочный вывод, 5 – анодный балочный вывод, 6 – пленка диэлектрика, 7 –  $n$ -слой, 8 –  $n^+$ -слой, 9 – подложка, 10 – катодный контакт, 11 – анодный контакт

HFSS [4, 5]. При моделировании использовались следующие данные: геометрические размеры подложки 9,  $n^+$ -слоя 8,  $n$ -слоя 7 и пленки диэлектрика 6 в окне 3 составляли  $4 \text{ мкм} \times 3 \text{ мкм}$  с толщинами соответственно - 1 мкм, 2 мкм, 0,1 мкм и 0,1 мкм. Пленка диэлектрика 6 выполнена из диоксида кремния, а  $n^+$ -слой 8 и  $n$ -слой 7 – из арсенида галлия с объемными проводимостями  $14,3 \times 10^4 \text{ См/м}$  и  $45,45 \times 10^3 \text{ См/м}$  соответственно. Размеры выреза в пленке диэлектрика 6 под анодным балочным выводом 5 выбраны -  $1,5 \text{ мкм} \times 3 \text{ мкм} \times 0,1 \text{ мкм}$ . Оптимальные общие геометрические размеры (длина, ширина и толщина) балочных выводов 4 и 5, выполнены из золота, составляли  $30 \text{ мкм} \times 0,5 \text{ мкм} \times 0,5 \text{ мкм}$ . Слой эластичного диэлектрика 2 выполнен из полиимида длиной 24,5 мкм, шириной 8,5 мкм, а толщина его варьировалась в пределах от 2 мкм до 3 мкм. Оптимизация рассматриваемой конструкции диода Шоттки осуществлялась за счет введения в слой эластичного диэлектрика 2 периодических решеток 1 и выбора соответствующих размеров выреза в пленке диэлектрика 6, балочных выводов 4, 5 и окна 3.

Численный расчет проводился в ограниченной области с размерами не менее одной четверти резонансной длины волны принимаемого электромагнитного излучения мощностью 1 мВт.

На рис. 2 приведены зависимости резонансной частоты  $f_{\text{res}}$  и потерь на отражение  $S_{11}$  диода Шоттки от толщины слоя эластичного диэлектрика. Из приведенных на рис. 2 зависимостей ука-

занных выше величин от толщины слоя эластичного диэлектрика  $d$  с периодическими решетками (сплошная линия) и без них (штриховая линия) следует, что максимальные значения  $f_{\text{res}}$  и  $S_{11}$  достигаются при  $d = 2,5$  и  $2,3$  мкм и составляют 36,5 и 30,9 ТГц, -35,05 и -38,81 дБ соответственно. При этом расчетным путем получено, что резонансная частота  $f_{\text{res}}$  диода Шоттки с периодическими решетками 1 принимает максимальное значение 36,5 ТГц при ширине прямоугольных отверстий периодических решеток, равной 1,1 мкм.

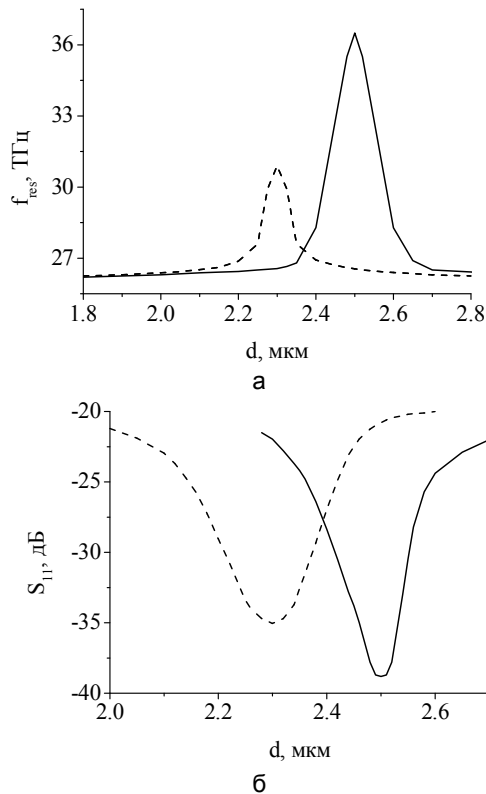


Рис. 2. Зависимость резонансной частоты  $f_{\text{res}}$  (а) и потерь на отражение  $S_{11}$  (б) диода Шоттки от толщины слоя эластичного диэлектрика с периодическими решетками (сплошная линия) и без них (штриховая линия)

Частотные зависимости потерь на отражение  $S_{11}$  и коэффициента полезного действия (КПД) детекторного диода с указанными выше размерами приведены на рис. 3. На резонансных частотах  $f_{\text{res}}$  потери на отражение для диода с периодическими решетками в эластичном диэлек-

трике составляют -38,81 дБ и без них - -35,05 дБ, а КПД – 97,32% и 96,22% соответственно.

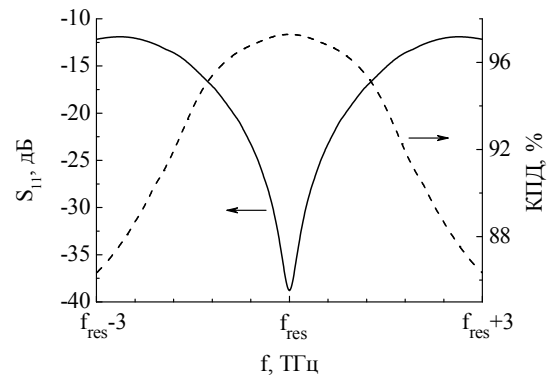


Рис. 3. Частотная зависимость потерь на отражение  $S_{11}$  (сплошная линия) и коэффициента полезного действия (штриховая линия) диода Шоттки с периодическими решетками

### Заключение

Проведенный компьютерный эксперимент показал, что при расположении в эластичном слое диэлектрика диода Шоттки с балочными выводами периодических решеток и оптимизации его конструкции можно повысить резонансную частоту диода Шоттки до 36,5 ТГц при уменьшении потерь на отражение до -38,81 дБ и увеличить КПД до 97,32%. Предложенный диод Шоттки может быть использован не только при создании высокоэффективных, малогабаритных неохлаждаемых приемников ТГц излучения, но и в качестве детекторных и смесительных диодов вплоть до миллиметрового диапазона длин волн.

### Список литературы

1. Кораблёва Т.В., Жарков Ю.П., Малаховский О.Ю. и др. // Электронная промышленность. - 1993. - № 9. - С. 56.
2. Sassen S., Witzigmann B., Wolk C., Brugger H. // IEEE Transaction on Electron Devices. - 2000. - Vol. 47. - P. 24-32.
3. Пат. на пол. модель 8037 РБ, МПК Н 01L 29/86 Детекторный диод с балочными выводами / А.К. Есман, В.К. Кулешов, Г.Л. Зыков, В.Б. Залесский, В.М. Кравченко; Заявка и 20110667; заявл. 30.08.11; Опубл. 28.02.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. - 2012. - № 1. - С. 259.
4. HFSS v12.0 User Manual. Pittsburgh, PA: Ansoft Corporation, 2009.
5. Tang A. Y., Stake J. // IEEE Transactions on Electron Devices. - 2011. - Vol. 58, No. 10. - P. 3260-3269.

## HIGH-EFFICIENCY INFRARED DETECTOR WITH A SCHOTTKY BARRIER

Alexander Esman, Vladimir Kuleshov, Gregory Zykov, Valery Zaleski  
 B.I. Stepanov Institute of Physics of NASB, 68 Nezavisimosti Ave., 220072 Minsk, Belarus,  
 phone: +375 (17) 283-91-12, e-mail: lomoi@inel.bas-net.by

An original design of a Schottky diode with beamed outputs is proposed. It is shown that the optimization the sizes of its elements and location of the periodic lattices in the layer of elastic dielectric can reach the reflection losses -38.81 dB, conversion efficiency 97.32 % and resonance frequency detection of 36.5 THz.