

ПРИЕМНИК ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МИКРОРЕЗОНАНСНЫХ СТРУКТУР

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: lotoi@inel.bas-net.by*

Приведена оригинальная конструкция болометрического приемника антенного типа для электромагнитных волн среднего инфракрасного спектрального диапазона. Показано, что выполнение антенны неохлаждаемого приемника указанного излучения в виде двухзаходной спирали и расположение микрорезонансных структур вдоль обеих внешних сторон термочувствительного элемента в строго геометрическом порядке позволяет достичь потерь на отражение - - 10,95 дБ, коэффициента стоячей волны - 1,79 и эффективности преобразования - ~ 92 %.

Введение

Возрастание интереса к некогерентным приемникам в средневолновой области инфракрасного диапазона обусловлено тем, что они фактически не имеют принципиальных ограничений при использовании их на все более коротких длинах волн. Практическая востребованность приемников инфракрасного излучения в различных областях человеческой деятельности (биология, астрономия, медицина, системы безопасности и т.д.) стимулирует развитие исследований в данном направлении как по пути разработки нового класса таких приемников, так и за счет развития уже известных.

Один из подходов к конструированию быстродействующих и в то же время высокочувствительных приемников инфракрасного диапазона длин волн основан на использовании интегральных планарных антенн. Антенный прием излучения в тепловом приемнике впервые был продемонстрирован в схеме с терморезистором в качестве нагрузки антенны, что позволило существенно уменьшить размеры термочувствительного элемента [1, 2]. Среди всех известных и практически используемых типов планарных антенн, спиральные имеют самый большой показатель по соотношению усиление-размеры и конструктивно нечувствительны к погрешностям изготовления, а также способны работать в более широком частотном диапазоне длин волн [3]. Кроме того, антенны указанного типа отличаются от других антенн, обладающих направленным излучением, в первую очередь тем, что их поле имеет поляризацию, близкую к круговой. Применение таких антенн в современных неохлаждаемых приемниках электромагнитных волн инфракрасного диапазона позволяет улучшить их основные параметры [4].

Основная часть

Целью настоящей работы является развитие путей повышения эффективности преобразования электромагнитного излучения микроболометрическим приемником антенного типа на основе планарной архимедовой двухзаходной спирали для средней инфракрасной области спектра.

Для повышения эффективности преобразования электромагнитных волн указанного диапазона нами предложено расположить вдоль обеих внешних сторон нагрузки антенны - термочувст-

вительного элемента - микрорезонансные структуры в строго геометрическом порядке [5].

Конструктивное исполнение предложенного приемника среднего инфракрасного излучения и расположение его элементов приведено на рис. 1. На кремниевой подложке 1 расположены двухзаходная спиральная антенна 2, внутренние концы которой подключены к двум сторонам термочувствительного элемента 3, под которым выполнена воздушная полость 4, и микрорезонансные структуры 5 в виде спиралей, размещенных вдоль двух других сторон термочувствительного элемента 3.

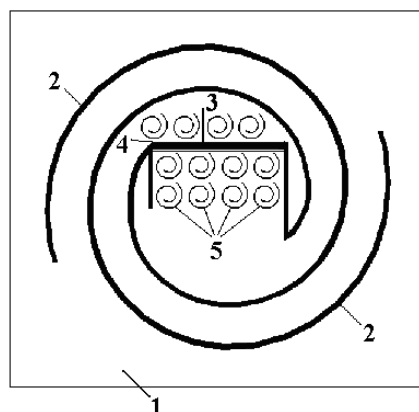


Рис. 1. Приемник инфракрасного излучения на основе микрорезонансных структур. 1 – подложка, 2 – двухзаходная спиральная антенна, 3 – термочувствительный элемент, 4 – воздушная полость, 5 – микрорезонансные структуры

Проектирование и исследование основных параметров и характеристик модели рассматриваемого микроболометрического приемника проведены в пакете САПР Ansoft HFSS v. 12. Применение данного пакета программ позволяет перейти от проектирования сложной трехмерной конструкции к моделированию виртуального прототипа с параметрами и характеристиками реальной конструкции. Проведение компьютерного анализа исследуемого приемника и оптимизация его конструкции в пакете программ HFSS перед разработкой реального устройства позволяет сократить время и затраты на разработку опытных образцов. Пакет HFSS является стандартизованным в промышленности инструментом для моделирования трехмерных электромагнитных полей и

вычисления многомодовых S-параметров [6-8]. HFSS использует для решения уравнений электродинамики метод конечных элементов, включающий адаптивное генерирование и деление ячеек. Адаптивный метод уплотнения сетки является мощным средством повышения точности решения. Начальное разбиение пространства на тетраэдральные ячейки осуществляется с помощью базовых элементов из библиотеки HFSS. При этом разбиении выделяются области с высокой напряженностью или с большими градиентами электромагнитных полей. Для минимизации затрат на вычисления и повышения точности получаемых результатов разбиение на ячейки уплотняется только в тех местах, где электромагнитные поля претерпевают значительные изменения. Решающая программа в HFSS позволяет с заданной точностью рассчитать все параметры и характеристики рассматриваемого устройства [6-8].

При моделировании были использованы следующие данные: подложка 1 выполнена из кремния толщиной 2,5 мкм; термочувствительный элемент 3 имел форму прямоугольника 40 нм × 920 нм; двухзаходная спиральная антенна 2 с числом витков 1,1 изготовлена из хрома радиусом 0,6 мкм и толщиной 0,2 мкм. Микрорезонансные структуры 5 выполнены из хрома в виде трех строк спиралей по четыре в каждой строке с числом витков 1,5 радиусом 40 нм. Причем первая строка этих спиралей расположена вдоль одной стороны термочувствительного элемента 3 на расстоянии 11 нм, а две других – на расстоянии 17 нм между собой и от термочувствительного элемента 3 с другой стороны. Расстояние между крайними спиральями микрорезонансных структур 5 в двух строках и внутренними концами двухзаходной спиральной антенны 2 составляет 17 нм. Размеры и конфигурация двухзаходной спирали 2 и термочувствительного элемента 3 определяют диапазон рабочих частот приемника. В качестве источника излучения использовался волновой порт (Wave Port), возбужденный сигналом, равным одному 1 мВт.

Компьютерный эксперимент проводился для двух вариантов выполнения приемника: с термочувствительным слоем 3, возле которого на заданном фиксированном расстоянии расположены микрорезонансные структуры 5, и с термочувствительным элементом 3 без этих структур. Толщину термочувствительного элемента 3 варьировали от 100 до 500 нм.

В таблице 1 приведены результаты расчета основных параметров приемника инфракрасного излучения с микрорезонансными структурами, расположенными вдоль обеих внешних сторон нагрузки антенны - термочувствительного элемента 3 в две, три и четыре строки, а также без них. Зависимость мощности, поглощаемой термочувствительным элементом 3, и эффективности преобразования приемника инфракрасного излучения от толщины термочувствительного элемента 3 приведена в таблице 2. Из приведенных результатов видно, что при толщине термочувствительного элемента 3, равной 100 нм достигается максимальная эффективность преоб-

образования электромагнитных волн приемником – 92, 24 %, а максимальная мощность излучения, поглощаемая термочувствительным элементом - $12,6 \times 10^9$ Вт/м² при толщине термочувствительного элемента 3, равной 240 нм.

На рис. 2 - 4 показано, что предложенный приемник с микрорезонансными структурами 5 на резонансной частоте $f_{рез} = 54$ ТГц (в частотном диапазоне 48,55 – 56,9 ТГц) и без них $f_{рез} = 54,4$ ТГц (в частотном диапазоне 47,4 – 57,1 ТГц) имеет: потери на отражение - -10,95 дБ и - -9,24 дБ;

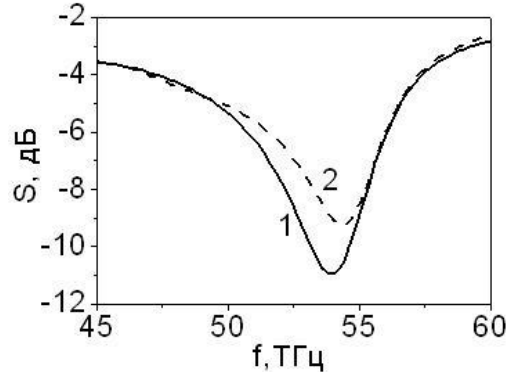


Рис. 2. Частотные зависимости потерь на отражение S приемника инфракрасного излучения с микрорезонансными структурами (1) и без них (2)

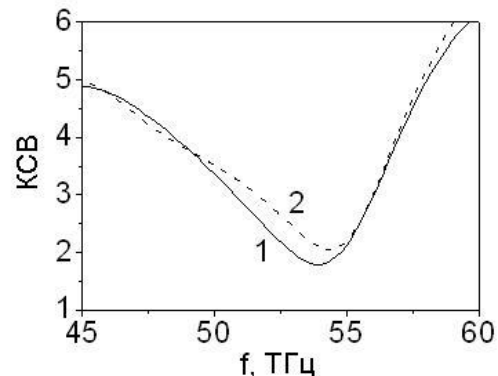


Рис. 3. Частотные зависимости коэффициента стоячей волны приемника инфракрасного излучения с микрорезонансными структурами (1) и без них (2)

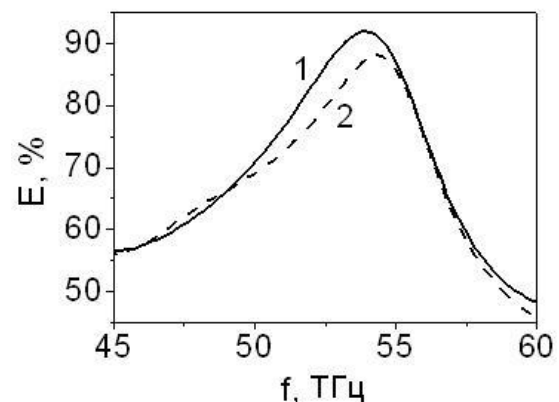


Рис. 4. Частотные зависимости эффективности преобразования E приемника инфракрасного излучения с микрорезонансными структурами (1) и без них (2)

Таблица 1 - Основные параметры приемника инфракрасного излучения с микрорезонансными структурами и без них на резонансной частоте

| Основные параметры | Приемник инфракрасного излучения | | | |
|--------------------------------------|--|-----------|-----------|-------------------------------|
| | с микрорезонансными структурами в виде спиралей, состоящих из: | | | без микрорезонансных структур |
| | 2-х строк | 3-х строк | 4-х строк | |
| S, дБ | -10,42 | -10,95 | -10,85 | -9,21 |
| KCB | 1,86 | 1,79 | 1,8 | 2,05 |
| P, 10 ⁹ Вт/м ² | 6,48 | 11,15 | 5,80 | 6,91 |
| E, % | 90,19 | 91,96 | 91,78 | 88,1 |

Таблица 2 - Значения основных параметров приемника инфракрасного излучения с микрорезонансными структурами

| Толщина термочувствительного элемента, нм | Эффективность E преобразования входного электромагнитного излучения, % | Мощность, поглощаемая термочувствительным элементом, 10 ⁹ Вт/м ² |
|---|--|--|
| 100 | 92,24 | 7,38 |
| 120 | 92,22 | 7,59 |
| 140 | 92,19 | 7,93 |
| 160 | 92,14 | 8,58 |
| 180 | 92,07 | 9,54 |
| 200 | 91,96 | 11,15 |
| 220 | 91,60 | 12,30 |
| 240 | 91,05 | 12,60 |
| 260 | 90,78 | 12,46 |
| 280 | 90,66 | 11,66 |
| 300 | 90,62 | 10,29 |
| 320 | 90,66 | 8,57 |
| 340 | 90,76 | 7,62 |
| 360 | 90,91 | 7,01 |
| 380 | 91,20 | 6,56 |
| 400 | 91,46 | 6,26 |

коэффициент стоячей волны - 1,79 и - 2,05; эффективность преобразования входного электромагнитного излучения порядка 92% и 88 % соответственно. Представленные выше результаты

получены для толщины термочувствительного элемента 3, равной 200 нм.

Заключение

В предложенном приемнике инфракрасного излучения величина поглощаемой мощности определяется площадью антенны, а тепловые потери – малой площадью термочувствительного элемента, вдоль обеих сторон которого расположены микрорезонансные структуры в строго геометрическом порядке.

Анализ представленных результатов показывает, что расположение микрорезонансных структур в виде спиралей вдоль обеих внешних сторон термочувствительного элемента в строго геометрическом порядке позволяет оптимально согласовать термочувствительный элемент с входным электромагнитным излучением, повысить эффективность преобразования приемника инфракрасного излучения на ~ 4 % и мощность, поглощаемую термочувствительным элементом в ~ 1,6 раза.

Предлагаемый приемник может быть использован для мониторинга концентрации тяжелых органических молекул, для контроля качества медикаментов и продуктов питания, в современных системах безопасности, экологического мониторинга для поиска и обнаружения взрывчатых и т.д.

Список литературы

1. Hwang T.L., Schwarz S.E., Rutledge D.B. // Appl. Phys. Lett. - 1979. - V. 34, Iss. 11. - P. 773-776.
2. Gurtler A., Meijer A.S., van der Zande W. // Appl. Phys. Lett. - 2003. - Vol. 83. - P. 222-224.
3. Семенухина Д.В., Маркина Ю.И. // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2010. - № 2. - С. 46-50.
4. Уваров А.В., Кузьмин А.А., Шитов С.В., Коваленко А.Г. // Журнал радиоэлектроники. - 2011. - № 3. - С. 2.
5. Пат. на пол. модель 7433 РБ, МПК G 01 J 5/02 Болометрический приемник / А.К. Есман, В.К. Кулешов, Г.Л. Зыков. Заявка и 20110005; заявл. 04.01.11; опубл. 30.08.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. - № 4. – С. 212-213.
6. Банков С.Е., Курушин А.А. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft. – М.: ЗАО «НПП «РОДНИК», 2009.
7. HFSS v12.0 User Manual. Pittsburgh, PA: Ansoft Corporation, 2009.
8. Банков С.Е., Гутцайт Э.М., Курушин А.А. Решение оптических и СВЧ задач с помощью HFSS. – М.: ООО «Оркада», 2012. – 250 с.

INFRARED RECEIVER BASED ON THE MICRORESONANCE STRUCTURES

Alexander Esman, Vladimir Kuleshov, Gregory Zykov, Valery Zalesski
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

Original design of the antenna type bolometer receiver for the electromagnetic waves of mid-infrared spectral range is proposed. It is shown that the antenna implementation of an uncooled receiver of specified radiation in the form of double-threaded helix and location of the microresonance structures along the two outer sides of a thermal element in a strictly geometric pattern can achieve return loss of – 10.95 dB, the standing wave ratio - 1.79 and conversion efficiency - ~ 92%.