



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 108104

(13) U

(51) МПК

G01J 1/42 (2006.01)

G01J 5/20 (2006.01)

H01L 31/04 (2014.01)

H01L 27/142 (2014.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: а 2014 08873

(22) Дата подання заявки: 05.08.2014

(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: 11.07.2016(41) Публікація відомостей 10.02.2016, Бюл.№ 3  
про заяву:(46) Публікація відомостей 11.07.2016, Бюл.№ 13  
про видачу патенту:

(72) Винахідник(и):

Сизов Федір Федорович (UA),  
Цибрій Зіновія Федорівна (UA),  
Петряков Володимир Олексійович (UA),  
Забудський В'ячеслав Володимирович  
(UA),  
Голенков Олександр Генадійович (UA),  
Андрєєва Катерина Вікторівна (UA),  
Бунчук Світлана Григорівна (UA),  
Смолій Марія Іванівна (UA)

(73) Власник(и):

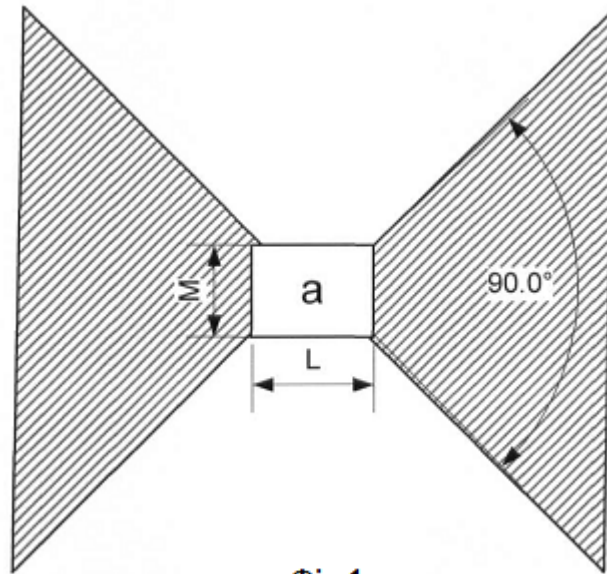
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ  
ІМ. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ  
АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ,  
просп. Науки, 41, м. Київ-28, 03680 (UA)

## (54) ДВОДІАПАЗОННИЙ НАПІВПРОВІДНИКОВИЙ ПРИЙМАЧ ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ІЧ ТА ТГЦ/СУБ-ТГЦ ДІАПАЗОНІВ СПЕКТРА

## (57) Реферат:

Напівпровідниковий приймач терагерцового та субтерагерцового випромінювання містить чутливий елемент на основі епітаксійного шару напівпровідника  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $x \sim 0,2 \div 0,3$ ) з двома струмовими контактами, які служать антеною для вводу випромінювання у чутливий елемент. Струмові контакти, які служать антеною для вводу терагерцового та субтерагерцового випромінювання у чутливий елемент, симетричні, мають однакову площу, виконані у метеликоподібній формі з кутом розходження сторін антени від центра чутливого елемента  $90^\circ$  і є також струмовими контактами для вводу інфрачервоного випромінювання в чутливий елемент.

UA 108104 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до фізики та техніки інфрачервоного (ІЧ) та терагерцового/субтерагерцового (ТГц/суб-ТГц) діапазонів спектра, а саме до проблеми реєстрації випромінювання у цих діапазонах, і може бути використана при створенні мультиспектральних оптоелектронних систем.

Відомо, що в області створення елементної бази фотоприймальних пристроїв для відображення відеоінформації існує багато розробок, проте вони стосувались односпектральних (однокольорових) систем [1]. Як оптоелектронні засоби розпізнавання та виявлення вони мають певну привабливість та функціональну придатність при виконанні ряду задач, однак, в багатьох випадках їм бракує достатньої гнучкості та захисту від перешкод у порівнянні з мультиспектральними (багатоколірними) системами [2].

Аналізуючи стан в галузі мультиспектральних систем, слід відзначити, що такі системи були оптимізовані під окремі піддіапазони, наприклад, 3-5 та 8-12 мкм для ІЧ діапазону. Такі системи можуть бути реалізовані за рахунок квантово-розмірних структур, в яких можливість варіювати область їх спектральної чутливості можна шляхом зміни ширини квантової ями та її глибини, яка залежить від величини розриву країв зони провідності широкозонного та вузькозонного напівпровідникових матеріалів [1]. Недоліком приймачів на основі квантово-розмірних ефектів є необхідність дотримання умов вводу випромінювання, поляризованого вздовж шарів із розміщеними в них квантовими ямами, в чутливий елемент [1, 3]. Крім цього, для отримання квантово-розмірних структур необхідно забезпечити підтримку товщини шару з точністю не гірше, ніж 0,5 моношару, що є складною технологічною задачею.

Іншим варіантом створення мультиспектральних структур може бути використання надграток [4], однак їм притаманний ряд недоліків, зокрема складність одержання високоефективних довгохвильових фотоприймачів. Наприклад, для надграток InAs-GaAs неможливо отримати високий коефіцієнт поглинання для довгохвильової області спектральної чутливості, оскільки він зменшується із зростанням довжини хвилі [4].

Можливість детектування випромінювання одним приймачем у двох сусідніх спектральних діапазонах - ІЧ та ТГц/суб-ТГц дозволить його широке практичне застосування з використанням переваг даних двох спектральних діапазонів. А саме це дасть можливість у подальшій перспективі використовувати єдиний пристрій, наприклад, для тепловізійного бачення (ІЧ діапазон), так і у системах безпеки, для виявлення скритих предметів, вибухівки і наркотиків, в медицині - як альтернатива рентгенівському випромінюванню (ТГц/суб-ТГц діапазон).

Існуючі структури для приймачів інфрачервоного випромінювання не можуть використовуватись для детектування терагерцового/субтерагерцового випромінювання, оскільки вони не мають приймальної антени для вводу сигналу в чутливий елемент. При створенні ж приймачів для ТГц/суб-ТГц діапазону спектра особлива увага приділяється таким факторам як чутливість та швидкодія приймача, зниження мінімальної потужності, що виявляється, розширення робочого діапазону частот.

Матеріалом, який може бути використаний завдяки своїм фізичним властивостям (можливість варіації складу, концентрації носіїв, рухливості носіїв заряду, типу провідності) для створення приймача ТГц/суб-ТГц випромінювання, є епітаксійні шари напівпровідника  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  (KPT) [5]. Цей матеріал є одним із найбільш поширених для створення приймачів ІЧ діапазону спектра [2].

Не існує аналогів дводіапазонних приймачів випромінювання ІЧ та ТГц/суб-ТГц діапазонів спектра. Тому за прототип приймача випромінювання вибрано однодіапазонний в міліметровому та субміліметровому діапазоні напівпровідниковий болометр, як чутливий елемент, в якому використовується тонкий шар напівпровідника  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $0,17 \leq x \leq 0,3$ ), а струмові контакти виконують функцію приймальних антен [6]. В основу роботи прототипу покладено явище амбіполярної дифузії. В даному приладі два струмові антени - контакти мають різну форму і площа одного з струмових контактів вдвічі менша від площі другого. При опромінюванні чутливого елемента субміліметровим випромінюванням (0,19-8 мм) виникає контактна різниця потенціалів. Однак чутливість прототипу є відносно низькою порядку 2 В/Вт при  $T=300\text{K}$  і підвищення його чутливості.

В основу корисної моделі поставлена задача створення дводіапазонного напівпровідникового приймача випромінювання на основі епітаксійного шару напівпровідника  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  для ІЧ та ТГц/суб-ТГц діапазонів спектра, який може працювати в інтервалі температур 78÷300 K та мати підвищену чутливість.

Для вирішення поставленої задачі запропоновано напівпровідниковий приймач терагерцового та субтерагерцового випромінювання, що містить чутливий елемент на основі епітаксійного шару напівпровідника  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $x \sim 0,2 \div 0,3$ ) з двома струмовими контактами, які служать антеною для вводу випромінювання у чутливий елемент, у якому, згідно з корисною

моделлю, струмові контакти, які служать антеною для вводу терагерцового та субтерагерцового випромінювання у чутливий елемент, симетричні, мають однакову площу, виконані у метеликоподібній формі з кутом розходження сторін антени від центра чутливого елемента  $90^\circ$  і є також струмовими контактами для вводу інфрачервоного випромінювання в чутливий елемент.

Симетричні, однакової площі струмові контакти, виконані у метеликоподібній формі з кутом розходження сторін від центра чутливого елемента  $90^\circ$  являють собою антену, яка дозволяє вводити в чутливий елемент більшу кількість падаючого ТГц/суб-ТГц випромінювання, що приводить до підвищення чутливості напівпровідникового приймача. Щоб зменшити вплив болометра на гарячих носіях (епітаксійний шар КРТ) на параметри антени в такій структурі, розміри чутливого елемента мають бути значно меншими за розміри антени, а площа антени повинна бути оптимізована до частоти падаючого випромінювання. Водночас, така конструкція приймача дозволяє використовувати симетричні, однакової площі струмові контакти, виконані у метеликоподібній формі з кутом розходження сторін від центра чутливого елемента  $90^\circ$  для реєстрації фотоструму, збудженому у чутливому елементі приймача, при детектуванні випромінювання в ІЧ діапазоні спектра. Тобто, запропонований приймач може працювати як дводіапазонний напівпровідниковий приймач випромінювання.

На фіг. 1 представлено схему дводіапазонного напівпровідникового приймача випромінювання для ІЧ області, який є одночасно і болометром на гарячих носіях заряду для ТГц/суб-ТГц діапазонів спектра. Тут заштриховані області - струмові металічні контакти, які одночасно виконують роль симетричної "bow-tie" антени, сторони якої розходяться від центра чутливого елемента під кутом  $90^\circ$ . Розміри чутливого елемента "а" нами виконані у форматі  $M \times L = 35 \times 50$  мкм<sup>2</sup>. Площа металічної антени оптимізована для частоти випромінювання 128-144 ГГц і її геометричні розміри становлять  $1,5 \times 1,5$  мм<sup>2</sup>.

Нами були виготовлені дводіапазонні напівпровідникові приймачі випромінювання для ІЧ та ТГц/суб-ТГц діапазонів спектра на основі епітаксійних шарів вузькощілинного напівпровідника  $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $x=0,216$ ), n-типу провідності з концентрацією дірок  $2 \cdot 10^{14}$  см<sup>-3</sup>, товщина шарів становила  $\leq 2,3$  мкм. На фіг. 2 приведена мікрофотографія дводіапазонного напівпровідникового приймача випромінювання на основі КРТ, зроблена за допомогою високороздільного оптичного мікроскопа. Приймачі формувались за допомогою фотолітографічних процесів з витравлюванням мези у бромному травнику та нанесенням металічних антен методом електрохімічного осадження індію. Далі структура розрізалась на одиночні приймачі, які монтувались у спеціальні корпуси, в яких методом термічної мікропайки формувались контактні виводи.

Пристрій працює таким чином. Під дією ІЧ випромінювання у активному елементі приймача генеруються фотозбуджені носії заряду, які рухаються до електричних контактів і спричинюють фотострум. В цьому випадку приймач працює як ІЧ фоторезистор, при цьому демонструючи чутливість як при кімнатній температурі, так і при температурі рідкого азоту. Активний опір таких приймачів становив  $\sim 400$  Ом (300 К). Відношення сигнал/шум при  $T=78$ К становило 750 ( $\lambda=6,5$  мкм), а при  $T=300$ К становило 50 ( $\lambda=5$  мкм). На фіг. 3 приведені спектральні залежності фотопровідності дводіапазонного напівпровідникового приймача випромінювання на основі КРТ для ІЧ області спектра при  $T=78$ К (а) і 300К (б) відповідно. Як видно з фіг. 3, приймач є фоточутливим до випромінювання у середньому 14 діапазоні спектра.

Детектування у ТГц/суб-ТГц діапазоні спектра відбувається за рахунок розігріву електронів у активному елементі приймача (тонкому шарі КРТ, область "а" на фіг. 1) під дією падаючої електромагнітної хвилі, яка вводиться у чутливий елемент за допомогою приймальної антени. Внаслідок цього виникає зміна опору активного елемента приймача випромінювання, яка фіксується системою реєстрації. Вимірювання чутливості запропонованого приймача були проведені у спектральному діапазоні 140-150 ГГц. Еквівалентна шуму потужність (NEP) та вольт-ватна чутливість приймача показані на фіг. 4. З фіг. 4 видно, що при  $T=300$  К (фіг. 4, в) і струмі зміщення 0,4 мА чутливість приймача є  $\sim 130$  В/Вт, що значно вище за чутливість прототипу (2 В/Вт). Вольт-ватна чутливість приймача при  $T=78$ К складає 20 В/Вт (фіг. 4, г). NEP оцінювався за формулою [7] при значенні коефіцієнта підсилення антени  $G=1$ :  $NEP_{300K} \approx 2,5 \cdot 10^{-10}$  Вт/Гц<sup>1/2</sup> і  $NEP_{78K} \approx 2,7 \cdot 10^{-9}$  Вт/Гц<sup>1/2</sup>. Гірші значення NEP при  $T=78$ К можуть бути пояснені різним вкладом компонент у відгук КРТ болометра на гарячих носіях [7]. Стосовно температур, при яких може спостерігатись максимум відгуку для даного типу приймачів, існує залежність від хімічного складу та концентрації носіїв  $Cd_xHg_{1-x}Te$ . Як правило, ця температура зростає із збільшенням  $x$  та концентрації носіїв [7].

Отже, запропонований нами дводіапазонний напівпровідниковий приймач випромінювання на основі КРТ повністю відповідає поставленій задачі - може працювати у двох спектральних

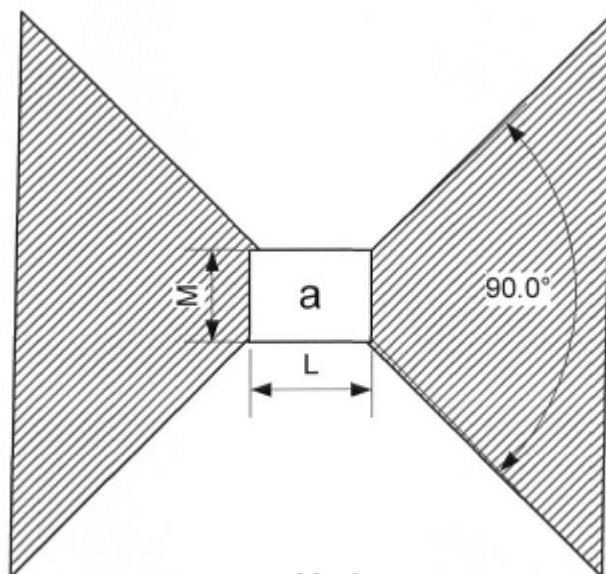
діапазонах (ІЧ та ТГц/суб-ТГц) в інтервалі температур  $78\pm 300\text{K}$  та демонструє підвищену чутливість до випромінювання з частотою 140-150 ГГц.

Джерела інформації:

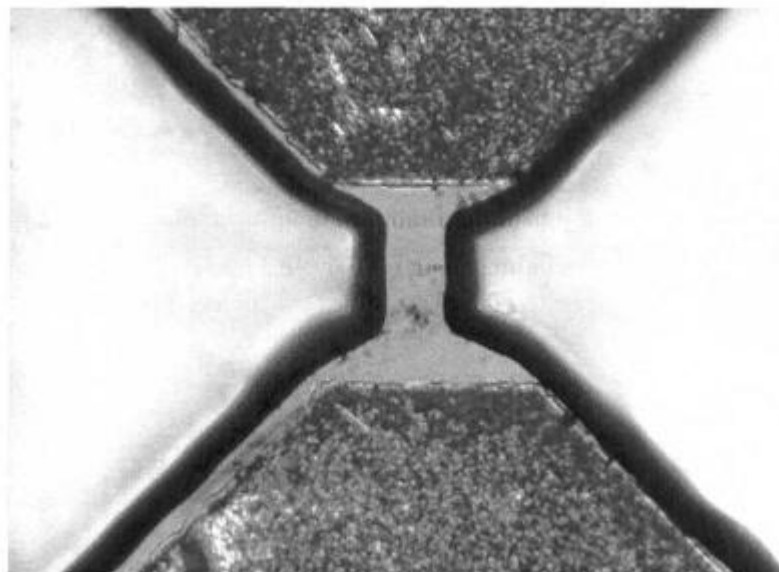
1. Дмитриев Е. Фотоприемники для работы в мультиспектральных оптоэлектронных системах // Электроника. - 2005. - №8. - С.36-39.
2. A. Rogalski, Infrared Detectors 2<sup>nd</sup> Ed., New York, Taylor & Francis, Boca Raton (2011).
3. Овсяк В.Н. и др. Матричные фотоприемные устройства инфракрасного диапазона. - Новосибирск: Наука, 2001, с. 243.
4. Bauer G., Clemence H. Physics and applications of IV-VI compound quantum well and superlattice structures // Semicond. Sci. Technol. - 1990. - V.5. - P. 122-130.
5. F. Sizov, V. Dobrovolsky, V. Zabudsky, N. Momot, Z. Tsybrii, N. Michailov, S. Dvoretiskii. THz/sub-THz narrow-gap semiconductor detector // Proc. Of SPIE Vol. 7854 785433-1.
6. Пат. №89075 Україна, (51) МПК (2009), G01J1/42, G01J5/20, H01L31/00, H01L27/142. Напівпровідниковий болометр міліметрового та субміліметрового діапазонів / Сизов Ф.Ф., Добровольський В.М., Каменєв Ю.Ю.; заявник і власник Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України. - № а 2007 09681, заявл. 27.08.07, опубл. 25.12.09, бюл. № 24.
7. V. Zabudsky, F. Sizov, N. Momot, Z. Tsybrii, N. Sakhno, S. Bunchuk, N. Michailov and V. Varavin. THz/sub-THz direct detection detector on the base of electrons/holes heating in MCT layers, Semicond. Sci. Technol., 27, 045002 (2012).

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

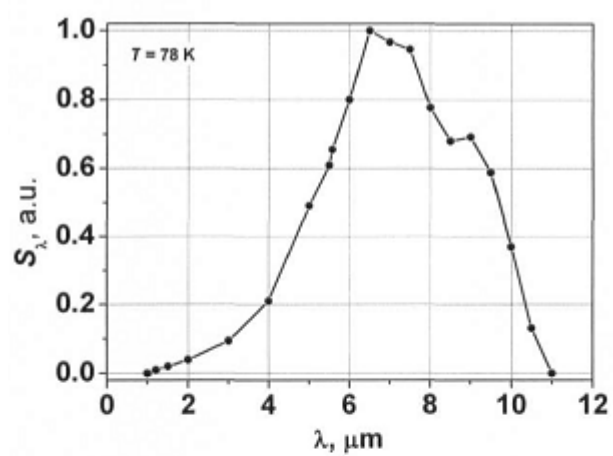
Напівпровідниковий приймач терагерцового та субтерагерцового випромінювання, що містить чутливий елемент на основі епітаксійного шару напівпровідника  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$  ( $x\sim 0,2\div 0,3$ ) з двома струмовими контактами, які служать антеною для вводу випромінювання у чутливий елемент, який **відрізняється** тим, що струмові контакти, які служать антеною для вводу терагерцового та субтерагерцового випромінювання у чутливий елемент, симетричні, мають однакову площу, виконані у метеликоподібній формі з кутом розходження сторін антени від центра чутливого елемента  $90^\circ$  і є також струмовими контактами для вводу інфрачервоного випромінювання в чутливий елемент.



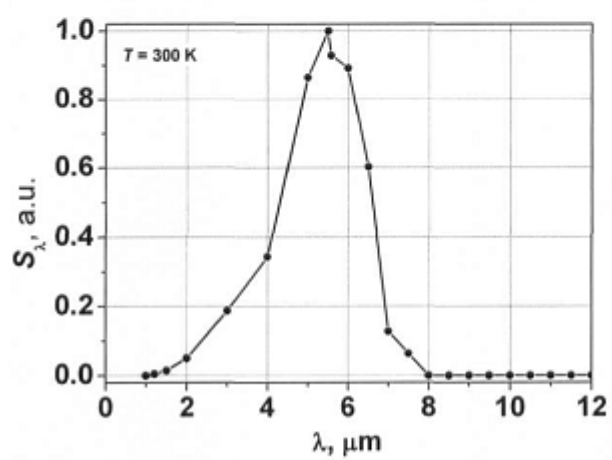
Фіг. 1



Фиг. 2

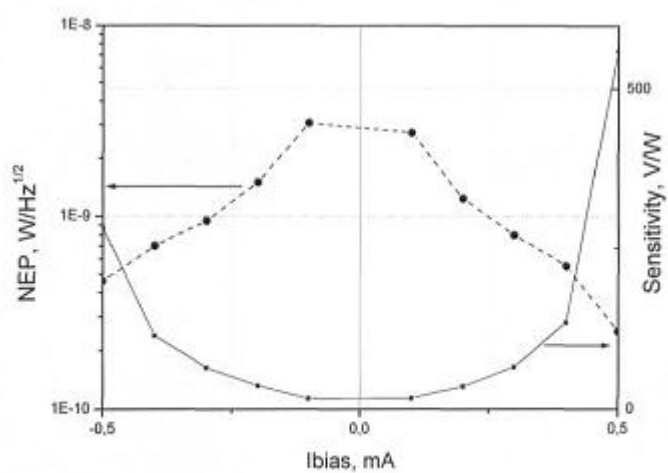


a)

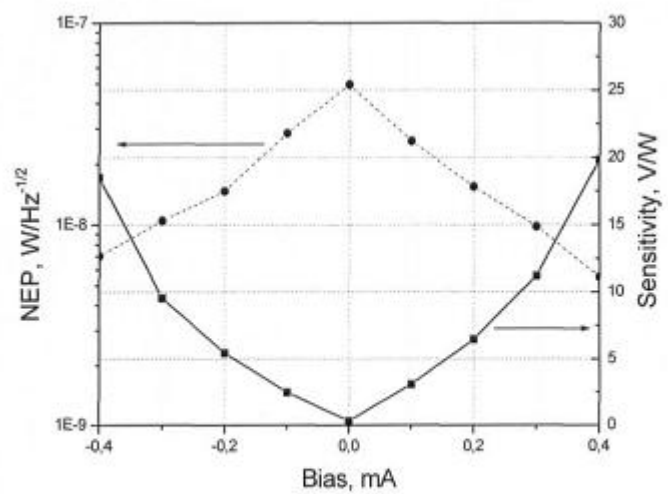


б)

Фиг. 3



В)



г)

Фиг. 4

Комп'ютерна верстка Д. Шеверун

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601