



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **89074** (13) **U**
(51) МПК (2014.01)
H01L 31/10 (2006.01)
G02F 1/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

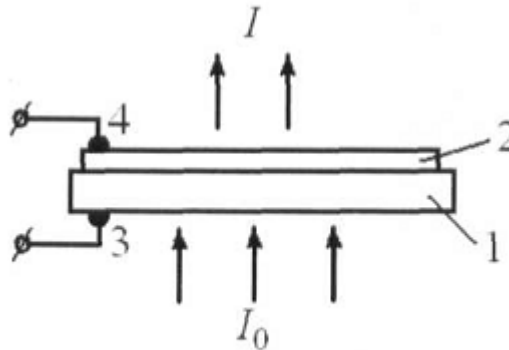
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

| | |
|--|--|
| (21) Номер заявки: u 2013 12863 | (72) Винахідник(и): Курмашев Шаміль Джамашевич (UA), Вікулін Іван Михайлович (UA), Софронков Олександр Наумович (UA) |
| (22) Дата подання заявки: 04.11.2013 | (73) Власник(и): ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ІМ. О.С. ПОПОВА, вул. Ковальська, 1, м. Одеса, 65029 (UA) |
| (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.04.2014 | |
| (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.04.2014, Бюл.№ 7 | |

(54) ОПТИЧНИЙ МОДУЛЯТОР

(57) Реферат:

Оптичний модулятор, виготовлений з напівпровідникової структури, містить р-п-перехід, а також омичні контакти до р- і п-областей. Р-п-перехід виготовлено з напівпровідників з різною шириною забороненої зони.



Фіг. 1

UA 89074 U

Корисна модель належить до напівпровідникової електроніки, а саме до конструкцій оптичних модуляторів - приладів для керування інтенсивністю світла, і може бути використана в системах вимірювальних приладів, автоматики та оптичного зв'язку.

Відомі конструкції напівпровідникових оптичних модуляторів, що містять напівпровідниковий кристал з р-п-переходом на одній грані і омичним контактом на протилежній грані [1]. Принцип дії заснований на поглинанні інфрачервоного (ІЧ) випромінювання вільними носіями заряду (електрони та дірки) в об'ємі напівпровідника. Керуючи концентрацією вільних носіїв у напівпровіднику шляхом електричної інжекції, можна змінити прозорість середовища стосовно ІЧ випромінювання. Якщо до р-п-переходу і омичного контакту підключити зовнішнє джерело напруги, то при прикладенні прямого зміщення через р-п-перехід в базу діода інжектуються неосновні носії заряду, що знижують прозорість кристала в ІЧ області, оскільки має місце внутрішньозонне поглинання ІЧ світла вільними носіями. Таким чином відбувається амплітудна модуляція інтенсивності ІЧ випромінювання. Ступінь модуляції світла, що проходить крізь кристал, залежить від рівня інжекції носіїв, ефективність модуляції $m=(I_0-I)/I_0$, де I_0 - світловий потік на вході модулятора, I - світловий потік на виході, є одним з головних параметрів, що характеризують амплітудну модуляцію світла. Недоліком такого модулятора є мала величина ефективності модуляції.

Найближчим аналогом (прототипом) є оптичний модулятор, виготовлений з напівпровідникової структури, що містить р-п-перехід, а також омичні контакти до р-п-областей [2]. Прототип виконано з монокристалічного германію n-типу провідності у вигляді паралелепіпеда з розмірами $3 \times 3 \times 4$ мм. р-п-перехід розташовано на одній грані напівпровідникового кристала, а омичний контакт - на протилежній грані. Питомий опір вихідного германію складає 10...40 Ом см. р-п-Перехід отримували дифузійною акцепторної домішки (фосфор). Довжина високоомної бази діода (відстань між р-п-переходом і омичним п+-контактом) дорівнює 4 мм і перевищує дифузійну довжину носіїв заряду (0,5...1,0 мм). В разі відсутності зовнішнього електричного зміщення, ІЧ випромінювання, що проходить крізь напівпровідниковий кристал (базу діода) між р-п-переходом і омичним п⁺-контактом, практично не поглинається внаслідок малої концентрації вільних (рівноважних) носіїв заряду. Якщо до діодної структури прикладено пряме зміщення, то крізь р-п-перехід в базу діода інжектуються неосновні носії заряду, внаслідок чого збільшується ступінь поглинання світла вільними носіями заряду в базі. Прозорість кристала по відношенню до оптичного випромінювання знижується. Глибина модуляції світла, який проходить через кристал, залежить від концентрації інжекттованих носіїв, тобто від рівня інжекції, від величини прикладеної в прямому напрямку напруги. Рівень інжекції визначається коефіцієнтом інжекції - відношенням струму інжекттованих з емітера в базу діода неосновних носіїв заряду до повному струму через р-п-перехід.

Недоліком цього модулятора (прототипу) є недостатньо значна величина ефективності модуляції (~25 %). Рівень інжекції в такому гомогенному р-п-переході можна підвищити, збільшуючи концентрацію легуючої домішки в емітерній частині р-п-переходу. Однак домішки мають межу розчинності в напівпровідниках, тому вводити їх у великих концентраціях не вдається. Крім цього велика концентрація домішки призводить до збільшення дефектності напівпровідника і збільшення рекомбінаційної складової струму через р-п-перехід. Сильно підвищувати пряму напругу, що прикладається до структури, також не можна, оскільки кристал розігрівається зростаючим струмом і інжекційні властивості р-п-переходу погіршуються.

В основу корисної моделі поставлено задачу забезпечити підвищення ефективності модуляції світла. Поставлена задача вирішується тим, що оптичний модулятор, виготовлений з напівпровідникової структури, що містить р-п-перехід, а також омичні контакти до р- і п-областей, виготовлено з напівпровідників з різною шириною забороненої зони. Це спроможне забезпечити підвищення ефективності модуляції ІЧ світла.

На фіг. 1 показано схематичну конструкцію оптичного модулятора.

На фіг. 2 показано енергетичну зонну діаграму оптичного модулятора при прямому зміщенні.

На фіг. 3 приведено залежність ефективності модуляції від густини інжекційного струму: 1-р-GaAs-n-Al_xGa_{1-x}As- модулятор, 2-р-GaAs-n-GaAs - структура (прототип).

Оптичний модулятор (фіг. 1) складається з напівпровідникового кристала (база) р-типу провідності 1, ширина забороненої зони якого E_{g1} , епітаксійного шару напівпровідника (емітер) п-типу провідності 2 з шириною забороненої зони E_{g2} , омичних контактів 3 і 4 до р- та п-областей відповідно. На фіг. 1 I_0 - світловий потік на вході модулятора, I - світловий потік, який пройде крізь модулятор. Оскільки $E_{g1} \neq E_{g2}$, ясно, що контакт між напівпровідниками р- та п-типу є гетеропереходом.

Робота оптичного модулятора пояснюється за допомогою енергетичної зонної діаграми (фіг. 2). При малому прямому зміщенні через р-п-гетероперехід протікає невеличкий струм,

концентрація нерівноважних носіїв заряду в базі мала і ІЧ світло проходить крізь базу, практично не поглинаючись. Із зростанням струму має місце інжекція нерівноважних носіїв - електронів із n-області в р-напівпровідник та дірок із р-напівпровідника в n-область. Оскільки в даному випадку $E_{g1} < E_{g2}$, то потенційний бар'єр для електронів, які інjektуються в р-область, значно нижчий, ніж бар'єр для дірок, які переходять із р-напівпровідника в n-область.

Коефіцієнтом інжекції є співвідношення $\gamma = \frac{J_n}{J_n + J_p}$, де J_n та J_p - струми електронів та дірок

крізь р-n-перехід, відповідно. Для структури модулятора, яка пропонується (гетероперехід), коефіцієнт інжекції нерівноважних носіїв в базу (р-область), як відомо [3], набагато вищий в порівнянні з гомогенним р-n-переходом. Тому концентрація інжектованих в базу гетеропереходу нерівноважних носіїв заряду є надзвичайно високою. Інфрачервоне світло, яке проходить крізь структуру модулятора, що пропонується, поглинається на цих носіях дуже інтенсивно. Ефективність модуляції структури на базі гетеропереходу (фіг. 3, крива 1) значно перевищує ефективність модуляції гомогенною структурою (фіг. 3, крива 2).

Експериментальні зразки оптичного модулятора являли собою гетеропереходи р-GaAs-n- $Al_xGa_{1-x}As$. Тверді розчини $Al_{0,3}Ga_{1-0,7}As$ n-типу отримували на підкладках з р-GaAs охолодженням в струмі водню розчину розплаву галій-алюміній-миш'як від температури початку кристалізації 800...900 °С зі швидкістю охолодження розплаву в межах 50...150 °С/г в температурному інтервалі 20...30 °С, після чого розчин вилучати з поверхні епітаксійного шару і система охолоджувалася до кімнатної температури. Такий режим епітаксійного вирощування дозволяв керувати складом твердого розчину на поверхні структури, змінюючи вміст Al в рідкій фазі. Основним при виборі конкретного температурного режиму є створення умов, за яких забезпечується збіг границі р-n-переходу з гетеропереходом. Легування твердого розчину здійснювали додаванням в розплав донорних (телур, олово, кремній) домішок. При легуванні оловом (концентрація в розплаві 0.1...10 ат. %) епітаксійні шари твердих розчинів $Al_{0,3}Ga_{1-0,7}As$ мали концентрацію носіїв струму $\sim 1,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Як підкладки використовували р-GaAs, легований цинком до концентрації $\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Крім цього використовувалися структури з р-областю, легованою германієм. Для отримання таких структур на підкладці GaAs р-типу, легованої цинком, спочатку нарощували епітаксійний шар GaAs, легованого германієм до концентрації 10^{18} см^{-3} (концентрація германію в розплаві 0,01...5 ат. %), а потім шар твердого розчину $Al_{0,3}Ga_{1-0,7}As$ n-типу. Склад твердих розчинів на межі розділу визначали методом мікрорентгеноспектрального аналізу і на основі вивчення спектрів електролюмінесценції. Товщина р-шару $Al_{0,3}Ga_{1-0,7}As$ становила 0,3 мкм (товщина області просторового заряду в ньому - 0,04 мкм); товщина р-шару GaAs становила 0,5 мкм (товщина ОПЗ - 0,02 мкм). Для отримання омичних контактів методом вплавлення використовували метали Ag, Au або Ni з добавками телуру або олова для n-напівпровідника і цинку або марганцю для р-області.

Для порівняльної дослідної перевірки було виготовлено також оптичний модулятор на основі гомогенного р-GaAs-n-GaAs-переходу (прототип) з такими ж геометричними розмірами.

Джерелом ІЧ випромінювання служив лазер ЛГ-47 ($\lambda=10,6$ мкм). В окремих випадках використовували спектрометр ІКС-21 з глобаром і призмою з NaCl, а також модель абсолютно чорного тіла з температурою порожнини 500 К. Рівень потужності падаючого на модулятор ІЧ світла регулювали за допомогою градуйованих фільтрів з CaF_2 , а також за допомогою неселективних ослаблювачів (металеві сітки, кремнієві платівки). Потужність променя від ІЧ джерела не перевищувала 200 мВт/см². Як фотоприймачі на виході оптичного модулятора служили термостовпчик, який було відградуйовано по випромінненню абсолютно чорного тіла (температура порожнини 500 К), чи фоторезистор на основі твердого розчину CdHgTe.

Вимірювання показали, що ефективність модуляції ІЧ світла для структур, що пропонуються (р-GaAs-n- $Al_xGa_{1-x}As$), майже вдвічі вища, ніж для структури-прототипу (р-GaAs-n-GaAs). На фіг. 3 показана залежність ефективності модуляції від інжекційного струму для цих пристроїв. Насичення величини m при густині струму $I \geq 5 \text{ А/см}^2$ обумовлене тим, що при таких струмах починається перехід структури в режим інжекційної електролюмінесценції, тобто гетероперехід починає працювати, як світловипромінюючий діод. В базі має місце інтенсивна рекомбінація носіїв заряду і концентрація нерівноважних вільних носіїв, на яких поглинається ІЧ випроміннення, вже не збільшується.

Технологія виготовлення оптичного модулятора на базі гетеропереходу не відрізняється від технології звичайних модуляторів (гетеропереходи), вони можуть виготовлятися на будь-якому підприємстві електронної промисловості.

Економічна ефективність при впровадженні корисної моделі полягає в тому, що для застосування одного приладу дає можливість отримати глибину модуляції, яку можна отримати включенням двох звичайних модуляторів. Користь напівпровідникового оптичного модулятора

на базі р-п-гетеропереходу полягає в тому, що вартість його виготовлення співпадає з вартістю модуляторів на базі гомогенних р-п-структур в той час, як ефективність його набагато вища.

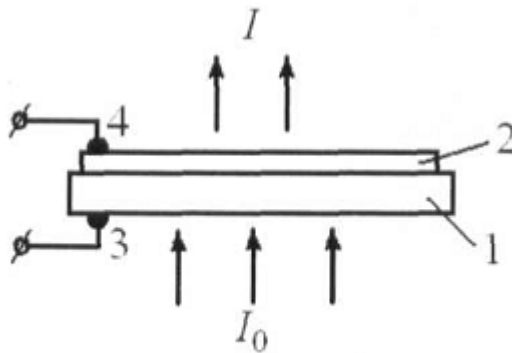
Джерела інформації:

1. R.B. McQuistan, J.W. Shultz. Modulation of infrared by the free carrier adsorption // J. Appl. Phys., 1964. - V. 36. - P. 1243-1248.
2. Патент Японії № 59-24402, кл. G02F, 1984.
3. Ж.И. Алферов. История и будущее полупроводниковых гетероструктур // ФТП. - 1998.- Т. 32, В. 1. - С. 3-18.

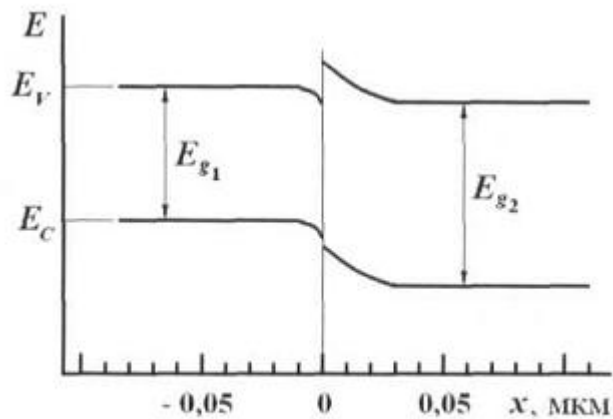
10

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

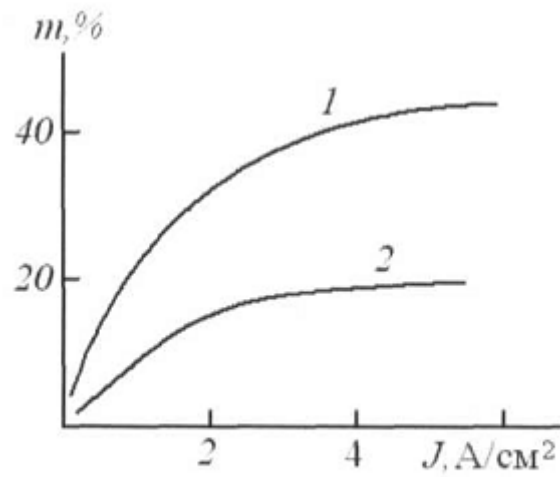
Оптичний модулятор, виготовлений з напівпровідникової структури, що містить р-п-перехід, а також омичні контакти до р- і n-областей, який **відрізняється** тим, що р-п-перехід виготовлено з напівпровідників з різною шириною забореної зони.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

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

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