



УКРАЇНА

(19) UA (11) 10133 (13) U

(51) 7 G02F3/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ЦИФРОВИЙ ПРИСТРІЙ З ОПТОЕЛЕКТРОННИМ БЛОКОМ

1

2

(21) u200500239

(22) 11.01.2005

(24) 15.11.2005

(46) 15.11.2005, Бюл. № 11, 2005 р.

(72) Проскурін Микола Петрович, Білявська Олена
Станіславна, Демиденко Олена Олександрівна(73) Проскурін Микола Петрович, Білявська Олена
Станіславна, Демиденко Олена Олександрівна

(57) Цифровий пристрій з оптоелектронним блоком для логічного перетворення і/або розподілу оптичних/електричних потоків цифрових сигналів на основі цифрової інтегральної мікросхеми і оптоелектронних напівпровідникових елементів, що складається з М вхідних оптичних/електричних каналів, що є оптичними/електричними логічними входами, і N вихідних каналів, що є оптичними/електричними логічними виходами, одного світлодіода в кожному із М вхідних каналів, що оптично зв'язані з ізольованими між собою вихідними N р-і-п фотодіодами, що розташовані під вхідними світлодіодами на кристалі GaAs або Si, підсилювачів-формуєвих кожного з N р-і-п фотодіодів, областей ізоляції та металевих виводів, розподіл цифрового потоку в одному із М каналів на N напрямків - вихідних каналів відбувається внаслідок процесу, при якому модульоване випромінювання кожного М-того світлодіода попадає на N фотодіодів, у яких при їх освітленні з'являється фотострум, після підсилювання сигналів з фотодіодів відбувається опитування потрібного N каналу, подальша логічна обробка цифрових електричних сигналів виконується електронною інтегральною мікросхемою, який відрізняється тим, що розподіл вхідних М оптичних потоків сигналів на N вихідних потоків здійснюється оптоелектронною цифровою інтегральною схемою на основі мікропотужних адаптивних оптоелектронних логічних вентилів базису N АБО-НІ (з оптичними М входами і N виходами, що створюють схеми логічного

перетворення - тригери, суматори, лічильники, генератори і т.д.), яка містить матриці регулярних структур світлодіодів (СД) та інтегральних фотоприймачів (ІФП), що сформовані на кристалах GaAs і Si відповідно, причому на один СД припадає 1-4 ІФП, логічні оптичні входи (виходи) виконані у вигляді М (N) волоконно-оптичних кабелів (ВОК) і зв'язані з М вхідними ІФП, електричний вихід першого з них з'єднано з анодом першого СД, який має оптичний зв'язок з першим внутрішнім ІФП, електричний вихід першого внутрішнього ІФП з'єднано з анодом другого СД, який має оптичний зв'язок з другим внутрішнім ІФП, електричний вихід другого внутрішнього ІФП з'єднано з анодом третього СД, який має оптичний зв'язок з третім внутрішнім ІФП, електричний вихід даного ІФП з'єднано з анодом вихідного СД, який з'єднаний з першим вихідним ВОК і є логічним виходом першого із N каналів (і далі до останнього вихідного N-того каналу), при цьому сукупність вхідних, вихідних ВОК, СД і ІФП, що оптично зв'язані, резисторів, контактних площин та електричних зв'язків між ними формує в кристалі мікропотужні адаптивні оптоелектронні логічні елементи базису 1, 2...N АБО-НІ, що зв'язані між собою виключно оптично, створюють схеми логічного перетворення (тригери, суматори, лічильники, генератори і т.д.) і виконують логічне перетворення потоків цифрових сигналів (ЦС) із вхідних М каналів згідно з функцією перетворення в N вихідних каналів, вхідні М ВОК є оптичними (логічними) входами, вихідні N ВОК є оптичними (логічними) виходами оптоелектронної цифрової інтегральної схеми, що підключаються стандартними оптичними роз'ємами до неї з можливістю передачі по N, М ВОК кількох потоків ЦС на різній довжині хвилі λ_1 , електричне з'єднання контактів матриць між собою забезпечується збіркою (методом перегорнутого кристалу).

Корисна модель відноситься до області оптоелектроніки і може бути використана для створення оптоелектронних приладів обробки оптичних цифрових потоків в волоконно-оптичних лініях (ВОЛЗ) та системах зв'язку (ВОСЗ) у видимому, інфрачервоному (ІЧ), ультрафіолетовому діапазо-

нах на базі елементів височастотних (ВЧ) оптопар, створених по мікроелектронним технологіям.

Відомі оптоелектронні інтегральні пристрої на основі електронних інтегральних схем (ІС), двох або більшої кількості процесорів на основі ІС, демультимплексорів та прийомопередавачів, які з'єд-

(19) UA (11) 10133 (13) U

нані між собою та перетворюють вихідні електронні сигнали процесорів з N паралельних виходів, кожен з яких має швидкість 10-50 Мбіт/с, на послідовний оптичний сигнал, що передається зі швидкістю 1-5 Гбіт/с по волоконно-оптичним каналам (ВОК) між ними [1, с.161]. На виході електронного мультиплексора першого процесора його електричні цифрові сигнали (ЦС) підсилюються в підсилувачах-формувацях (ПФ) і перетворюються в оптичні за допомогою інжекційних лазерів (ІЛ), суперлюменесцентних чи світлодіодів СЛД, СД відповідно). На вході демультимплексора другого процесора оптичні ЦС детектуються і перетворюються в електричні, які потім розподіляються по M паралельним входам. Обмін діє і в зворотному напрямку між другим і першим процесорами, причому роль електронних мультиплексорів, демультимплексорів може виконувати один пристрій. Використання таких схем дозволяє замінити K електричних каналів зв'язку на один (два) оптичних, наприклад, з двома обраними довжинами хвилі (для прямого, зворотного зв'язку процесорів).

Переваги: висока швидкодія оптоволоконного каналу, надійність захисту інформації від впливу електромагнітних завад (ЕМЗ), можливість передачі по каналу кількох потоків ЦС на різній довжині.

Недоліки: необхідність додання до обладнання на основі цифрових ІС додаткових оптоелектронних елементів (випромінювачів, фотоприймачів, охолоджувальних пристроїв лазерів), низька завадостійкість елементів логіки ІС, обмеження на високих частотах перемикання (вплив R , L , C параметрів через "гонку сигналів") за рахунок наявності металевих інформаційних входів/виходів в ІС.

Відомі також оптоелектронні інтегральні схеми-пульсири, які складаються з кремнієвих пластин, зв'язаних між собою оптичним каналом зв'язку за допомогою фотоприймачів та фотопередавачів [2, с.51-77]. Пластина є сукупністю однокітних процесорів (ОП) на електронних елементах, кожен з яких має вісім інформаційних електричних зв'язків-шин, по яким забезпечується вхід/вихід даних від/до сусідніх ОП одного пульсира. Структура забезпечує обробку інформації під час виходу з ладу одного (або кількох ОП) шляхом його тестування і перепрограмування на зв'язки з неушкодженими сусідніми ОП. В результаті перепрограмування подаються логічне перетворення інформації здійснюються без перетворення по іншому шляху), оминаючи неробочі елементи пульсиру. Таким чином структура електричне зв'язаних ОП виконує функції логічної обробки (перетворення), зберігання та передачі інформації з можливістю відновлення функціонування. Кожна пластина пульсира по периметру периферії має зони оптичного зв'язку, на якій є лінійки (СД) і фотоприймачів (ФП), що зв'язані з сусідніми пульсирами через відкриті (повітряні) канали і/або оптично прозорі структури (шайби) типу зрощених волоконно-оптичних кабелів (ВОК) невеликої довжини.

Переваги: можливість відновлення функціонування при пошкодженні кількох ОП, двонаправлені канали оптичного зв'язку забезпечують можливість

швидкісної передачі даних на сусідні пульсари з обраним, в конструкції відсутні гнучкі ВОК зв'язку між пульсирами, що спрощує монтаж оптичних каналів.

Недоліки: логічні операції ОП виконують на основі електронних логік (типу Т²ЛШ, К-МДП, І²Л, ЕЗЛ, ін.), зв'язки між ОП мають електронну природу, що виконані на основі металевих дріотів і нестійкі до впливу ЕМЗ.

Найближчим пристроєм до запропонованого є цифровий пристрій з цифровою ІС і оптоелектронним блоком-оптоелектронна матриця комутації (ОЕМК) [3, с.76-79]. ОЕМК використовується в телекомунікаційному обладнанні для розподілу з M вхідних на M вихідних напрямків (каналів) потоків ЦС. Вхідні M потоків (каналів) ЦС обробляються стандартними логічними схемами - Т²ЛШ (або І²Л, ЕЗЛ, N-МОП, К-МДП, їх комбінацією) та перетворюються на розподілені по N вихідним потокам (каналам). Їх розподіл провадиться за допомогою оптоелектронних напівпровідникових елементів (ОНПЕ), що входять до її конструкції. ОНПЕ інтегральної ОЕМК складається з чотирьох основних частин: одного СД, кількох ізолюваних між собою ($N-3...10$ і більше) р-і-п фотодіодів (ФД), розташованих під СД на одному кристалі GaAs, області ізоляції та металевих виводів. Розподіл потоку ЦС в ОНПЕ відбувається внаслідок процесу, при якому модульоване випромінювання М-того СД освітлює всі N ФД, внаслідок чого в них змінюється струм на 2...3 порядки. Після підсилювання сигналів ФД в ПФ відбувається опитування одного з каналів N , подальша обробка ЦС за допомогою електронних ІС та їх передача.

В розглянутій структурі ОНПЕ у якості р-п переходу СД ІЧ-діапазону використовуються гетероструктури на основі GaAs (типу $Al_xGa_{1-x}As$). Вони мають високий квантовий вихід випромінювання та швидкодію, при відповідних умовах структура практично прозора для випромінювання з активного слою СД [1, с.111].

Шари матеріалу GaAs, які формують область випромінюючого р-п переходу СД, в ОНПЕ забезпечують високий рівень щільності оптичної потужності, швидкодії та прозорості для ІЧ-випромінювання при мікропотужному сподіванні, а область фотоприймачів (р-і-п ФД на основі GaAs або Si) відповідає необхідним вимогам чутливості і швидкодії. Область ізоляції СД від ФП прозора для ІЧ-випромінювання, виконана на основі діелектричних сполук, має великий опір [3, с.87].

Переваги: можливість обробляти потоки ЦС у оптичному, електронному вигляді, "глибока" інтеграція електронної цифрової ІС в конструкцію ОЕМК збільшує кількість вихідних комутаційних каналів (на один вхідний) до N 4...8 і більше (в залежності від кількості ФД на один СД), забезпечує гальванічну розв'язку, при використанні вхідних, вихідних ВОК інформація захищена від впливу ЕМЗ.

Недоліки: вхідні цифрові дані з M потоків (що надходять до цифрової ІС типу ОЕМК у вигляді оптичних сигналів) з виходів ВОК перетворюються кілька разів. Вхідні оптичні ЦС проходять перше детектування в електричні у вхідних ФП (або надходять в ІС у вигляді електричних ЦС з кабелів)

підсилюються, надходять на входи електронних схем логіки всередині цифрової ІС, після логічної обробки в них, підсилення, перетворення у оптичні ЦС для СД, потім в електричні ЦС у ФД ОНПЕ (друге детектування) та розподілу по N напрямках (каналам) знов перетворюються у потік електронних ЦС в цифрових ІС, передаються по металевим дротом, на який впливає ЕМЗ; вхідні оптичні ЦС обробляються електронними цифровими ІС.

Завданням корисної моделі є створення оптоелектронних цифрових ІС (ОЦІС) і заміна цифрових електронних ІС, схем логічних елементів в них, металевих зв'язків між ними на мікропотужні адаптивні оптоелектронні логічні елементи (ОЛЕ) квазіімпульсно-потенціального типу (КІПТ) [4, с.80-105] з оптичними зв'язками на основі елементів оптопар. Це здійснюється використанням мікропотужних оптоелектронних схем базису НАБО-НІ [5, 6] з оптичними входами, виходами (на елементах оптопар типу СД-ФП) між логічними вентилями, виконанням на їх базі запропонованих ОЦІС і використання їх для логічної обробки (в тому числі - розподілу М вхідних на N вихідних каналів, як в ОЕМК) потоків оптичних ЦС.

Ескіз запропонованої структури ОЦІС зображений на Фіг.1.

ОЦІС складається з двох кристалів, кожен з яких виконано по планарним технологіям. На першому кристалі (1), що виконан на основі Si, розташована матриця ФП (2) типу інтегрального фотоприймального пристрою (ІФП [7]) з підсилювачем-формувавцем (ПФ) фотоструму на високочастотному (ВЧ) транзисторі, на другому (4) з GaAs-матриця випромінювачів (3) на базі СД.

На поверхні цих кристалів розміщуються також резистори (5), металеві шини живлення (6) та інші елементи. Сукупність цих елементів формує мікропотужні оптоелектронні логічні елементи (ОЛЕ) базису НАБО-НІ, перший і останній з яких виділено пунктиром (7). Зв'язки між адаптивними ОЛЕ КІПТ на основі елементів базису N НАБО-НІ є виключно оптичними (8) між собою (на основі прозорих для ІЧ випромінювання матеріалів типу SiO₂). ОЦІС має вхідні (9) і вихідні (10) оптичні роз'єми, що є її логічними входами/виходами (на М вхідних і N вихідних каналів) до яких підключаються стандартні оптичні кабелі. Корпус ОЦІС має металеві виводи живлення (11), при необхідності вводу/виводу електричних сигналів в ОЦІС в конструкції можуть бути присутні металеві виводи (12), але вони не обов'язкові. Поеднання матриць ІФП (1) і СД (4) між собою забезпечується методом перегорнутого кристалу або прямого зрощування [8, с.280-282], що з'єднує електричні контакти (13) груп контактних площин відповідних ІФП і СД. Входи та виходи (9, 10) ЦС в запропонованій ОЦІС є оптичними. Розміщення ІФП, СД здійснюється у вигляді матриць (або масиву регулярних структур), що при з'єднанні розташовані один навпроти одного, причому на один СД припадає один (два, чотири) ІФП, електричний вивід вхідного ІФП 01(02...) з'єднано з анодом СД1.1(1.2...), який оптично з'єднано з першим ІФП 1.1(1.2...), електричний вивід першого ІФП 1.1(1.2...) з'єднано з анодом СД2.1(2.2...), який оптично з'єднано з другим ІФП 2.1(2.2...), електричний вивід якого з'єднано з ано-

дом третього СД3.1(3.2...), який оптично з'єднано з третім ІФП 3.1(3.2...), електричний вивід якого з'єднано з анодом вихідного СД01(02...), як показано на Фіг.1. Фотоприймачі ФП 01,02...М є оптичними (логічними) входами М каналів, вихідні СД01, 02...N - оптичними (логічними) виходами N каналів ОЦІС.

Запропонована конструкція ОЦІС (розріз її частини зображен на ескізі Фіг.1) на базі мікропотужних ОЛЕ КІПТ типу НАБО-НІ [5, 6] працює наступним чином.

При включенні напруги живлення в перший момент часу внутрішні СД чотирьох ОЛЕ НАБО-НІ: СД1.1, СД2.1, СД3.1 і вихідний СД01 переходять у стан випромінювання, на їх виходах логічні "1", як і на оптичному виході ОЦІС (10).

При відсутності сигналу на оптичних входах ОЦІС (9) і ІФП01, від випромінювання СД1 генеруються фотоносії в ІФП 1.1 і підсилюються відповідним ПФ у вигляді ВЧ транзистора, він відкривається і шунтує СД2.1, що перемикається з генерації випромінювання (логічна "1") на його відсутність (логічний "0"). Сигнал з виходу СД2.1 не поступає на ФП2.1, генеровані носії рекомбінують, струм відповідного ВЧ транзистора спадає і він закривається. СД3.1 продовжує випромінювати, знаходячись у стані логічна "1". Від випромінювання СД3.1 генеруються фотоносії в ІФП3.1, підсилюються відповідним ПФ у вигляді ВЧ транзистора, він відкривається і шунтує СД01, що перемикається з генерації випромінювання (логічна "1") на її відсутність (логічний "0"), на оптичному виході ОЦІС (10) логічний "0". При появі сигналу на оптичних входах ОЦІС (9), генеруються фотоносії в ІФП0.1 і підсилюються відповідним ПФ у вигляді ВЧ транзистора, він відкривається і шунтує СД1.1, що перемикається з генерації випромінювання (логічна "1") на його відсутність (логічний "0"). Сигнал з виходу СД1.1 не поступає на ІФП1.1, генеровані носії рекомбінують, струм ВЧ транзистора спадає, він закривається. СД2.1 починає випромінювати і переходить з стану логічний "0" у стан логічна "1". Від випромінювання СД2.1 генеруються фотоносії в ІФП2.1, підсилюються відповідним ПФ у вигляді ВЧ транзистора, він відкривається і шунтує СД3.1, що перемикається з генерації випромінювання (логічна "1") на її відсутність (логічний "0"). СД01 починає випромінювати, переходить з стану логічний "0" у стан логічна "1", на оптичному виході ОЦІС (10) - логічна "1", схема перейшла у попередній стан.

В реальних ОЦІС електричні зв'язки між конкретно вибраними СД і ІФП мають довільний характер (наприклад 1.і-того ІФП з 2.м-тим СД) для забезпечення коефіцієнту розгалуження по виходу, а оптичні - мають типовий характер зв'язків між двома ОЛЕ КІПТ двоїчного базису НАБО-НІ (один СД з 1...4 ІФП для забезпечення виконання функції логічного перетворення), причому кількість ОЛЕ обмежена тільки розмірами підкладок [4, 5, 6]. Потoki оптичних ЦС безпосередньо з інших ОЦІС або з ВОК швидкісних ВОЛЗ, ВОСЗ надходять на оптичні входи М каналів (9) ОЦІС, в яких вхідні ІФП01(02...М) виконані як надчутливі, а вихідні потоки N каналів оптичних ЦС виходять з потужних СД01(02,...N) і оптичних виходів та надходять

у ВОК до наступних ОЦІС (або в ВОЛЗ, ВОСЗ). ОЦІС такого типу на базі ОЛЕ КІПТ (з двоцим базисом NABO-HI) можуть бути виконані для будь-якої наперед заданої функції логічного перетворення (ОЦІС типу контролер, процесор, ін.), в тому числі-розподілу M вхідних на N вихідних потоків, як в OEMK.

Суть корисної моделі полягає в тому, що на відміну від прототипу, в якому потоки ЦС перетворюються з оптичних в електричні і логічна обробка електронних сигналів-відображень ЦС ведеться ІС на основі електронних схем логіки (T^2 ЛШ, ЕСЛ, I^2 Л, N-МОП, К-МДП, ін.), в запропонованій конструкції ОЦІС логічні перетворення здійснюються безпосередньо над оптичними ЦС завдяки використанню іншої схеми логіки-микропотужних адаптивних ОЛЕ КІПТ обраного базису NABO-HI [5, 6]. Останні мають виключно оптичні входи, виходи, можуть бути адаптовані до рівнів потужності оптичних ЦС [6], елементи конструкції ОЦІС виконані у вигляді матриць регулярних структур СД і ІФП [7], що виконані по планарним технологіям. В конструкції ОЦІС для матриць використані підкладки на основі GaAs (або Si, на окисних плівках якого створено мези GaAs для СД) і на основі Si для матриць ІФП (p-n-ФД інтегрованого в ВЧ p-n-п транзистор [7]). Матриці на основі Si зменшують витрати на їх виробництво і дозволяють легко отримати діелектричні сполуки типу SiO_2 на поверхні підкладки (для ізоляції СД від ІФП, нанесення прозорих, узгоджувальних шарів, лінз для підвищення ефективності виводу випромінювання з СД). ОЛЕ в середині ОЦІС мають виключно оптичні зв'язки, що виконані на основі елементів оптопар (СД, ІФП і ВОК малих розмірів), і є нечутливі до зовнішніх, внутрішніх ЕМЗ, між собою ОЛЕ гальванічно розв'язані, з'єднання їх підкладок і електричних зв'язків провадиться методом перегорнутого кристалу так, щоб проти кожного СД був відповідний один (два, чотири) ІФП [8].

Виконання ОЦІС на основі оптоелектронної логіки, забезпечує переваги оптичного зв'язку дає можливість передачі по вхідним, вихідним, внутрішнім каналам кількох потоків ЦС на різній довжині хвилі [1,3,4], покращує завадостійкість, статичні, динамічні, топологічні характеристики. З появою СД на сполуках Si можливо виконувати їх без використання GaAs. [9].

Джерела інформації.

1. Волоконно оптические линии связи - ВОЛС. Справочник под ред. С.В.Свечникова, Л.М.Андрушко -К: Техника, 1988.
2. Н.М.Кузьо, М.Н.Русин, В.И.Шмойлов Пульсирующие информационные решетки. Ж. "Оптическое электронное информационно-энергетиче технологии", №1, Винница, ВДТУ, 2001, с.51-78.
3. Оптоэлектронные элементы и устройства. А.К.Гребнев, В.Н.Гридин, В.П.Дмитриев, М. Радио и связь, 1998.
4. В.П.Кожемяко, Л.И.Тимченко, Г.Л.Лысенко, др. Функциональные элементы и устройства оптоэлектроники.-К.: УМК ВО, 1990г.
5. Патент на винахід №21018А, G02F3/00 (Україна), 1997. Оптичний інвертор. Проскурін М.П.
6. Деклараційний патент на винахід №39326А, G02F3/00 (Україна), 2001. Оптоелектронний логічний елемент NABO-HI адаптивного типу PROS Проскурін М.П.
7. Деклараційний патент на винахід №68540А, G02F3/00 (Україна), 2004 Інтегральний фотоприймальний пристрій Білявська О.С., Костенко В.Л., Проскурін М.П.
8. З.Ю.Готра. Справочник по технологиям микроэлектронных устройств Львов, Каменяр, 1986.
9. А.М.Емельянов, Н.А.Соболев, Т.М.Мельникова, S.Pizzini. Эффективный кремниевый светодиод с температурно-стабильными спектральными характеристиками. Ж. "Физика и техника полупроводников", 2003, т.37, вып.6. с.756-761.

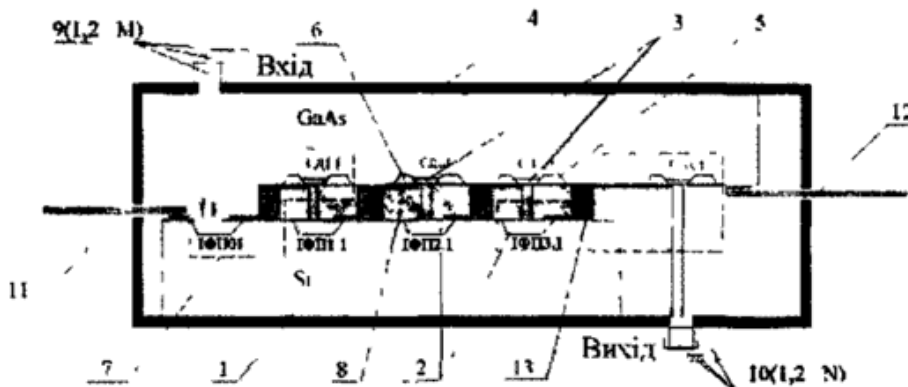


Fig. 1