

УДК 681.3

Г.Л. ЛИСЕНКО, І.В. МЯЛКІВСЬКА, О.В. ДЮДЮН

ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ НА ОСНОВІ ТРАНСПАРАНТІВ З ПОВНИМ НАБОРОМ ЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ДЛЯ РОБОТИ З МАТРИЦЯМИ

*Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна*

Анотація. У даній статті розглядається можливість створення оптоелектронного пристрою з набором логічних операцій для роботи з матрицями. Пристрій складається з чотирьох шарів керованих оптичних напівпровідникових транспарантів. При цьому пристрій може виконувати будь-яку з логічних операцій: І, АБО, сума по модулю 2, І-НІ, АБО-НІ, \oplus -НІ.

Аннотация. В данной статье рассматривается возможность создания оптоэлектронного устройства с набором логических операций для работы с матрицами. Устройство состоит их четырех слоев управляемых полупроводниковых транспарантов. При этом устройство может выполнять любую из логических операций: И, ИЛИ, сумма по модулю 2, И-НЕ, ИЛИ-НЕ, \oplus -НЕ.

Abstract. In given article creation possibility optoelectronic device with a set of logic operations for work with matrixes is considered. The device consists their four layers of operated semiconductor modulators. Thus the device can carry out any of logic operations: AND, OR, the sum on the module 2, NAND, negative OR, negative sum on the module 2.

Ключові слова: логічна операція; оптичний транспарант; напівпровідниковий матеріал; великорозмірні матриці; спеціалізовані обчислювальні системи

ВСТУП

На сьогоднішній день існує велика проблема архітектури обчислювальних систем, яка пов'язана з тим, що в її основу було покладено поняття потоку, під яким розуміється послідовність елементів, команд або даних, що обробляються процесором. Через те, що дані обробляються послідовно значно падає швидкодія таких обчислювальних систем. Для вирішення цієї проблеми необхідно створити структуру паралельного введення, обробки і виведення даних. Це можливо здійснити, застосувавши паралельні методи введення, обробки і виведення даних. Відомі методи на основі багаторозрядних шин, на основі паралельного використання набору частот та на основі керованих транспарантів. Обчислювальні системи на основі керованих транспарантів є найбільш перспективними. Оскільки за рахунок великої розмірності транспарантів можна забезпечити високий рівень паралелізму передачі даних, а за рахунок ефективного керування транспарантом можна значно підвищити швидкодія таких систем. Проте, недоліками таких методів є не універсальність, так як, для реалізації ланцюга з декількох логічних елементів доведеться каскадно підлаштовувати транспаранти один за одним, що технологічно майже неможливо реалізувати з потрібною точністю. Тому такі системи досить не стійкі, а каскади чутливі до будь яких порушень, зсувів і пошкоджень та мають відносно великі габарити.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Отже, щоб у повній мірі можна було використовувати структуру паралельної обробки даних, потрібно замінити відомі транспаранти пристроями, які мають можливість виконання будь-яких логічних операцій, тобто на транспаранти з повним набором логічних операцій. Такі пристрої будуть мати досить високу швидкодія за рахунок оптичної передачі даних, паралелізму процесу та за рахунок того що будь-які логічні операції будуть відбуватись безпосередньо на самому пристрої. А універсальність цих пристроїв, що полягає у можливості виконання ними різних логічних операцій, дає змогу досить гнучко і вдало застосовувати їх у спеціалізованих обчислювальних системах для обробки, прийому та передачі даних без втрати швидкості та з набагато легшою їх реалізацією, ніж логічних елементів на відомих раніше транспарантах.

1. СТРУКТУРА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ПРИСТРОЮ НА ОСНОВІ ТРАНСПАРАНТІВ

Для вирішення вказаних проблем пропонується створити пристрій на основі керованих напівпровідникових транспарантів з повним набором логічних операцій. Оскільки напівпровідникові транспаранти мають ряд переваг над іншими матеріалами, серед яких високий ступінь інтегрованості, можливість зміни своїх оптичних властивостей (поглинання та пропускання) в залежності від різних зовнішніх факторів (напруги, температури, величини електричного поля та ін.), тому саме їх було обрано для створення такого пристрою.

Структурна схема пристрою наведена на рис. 1.

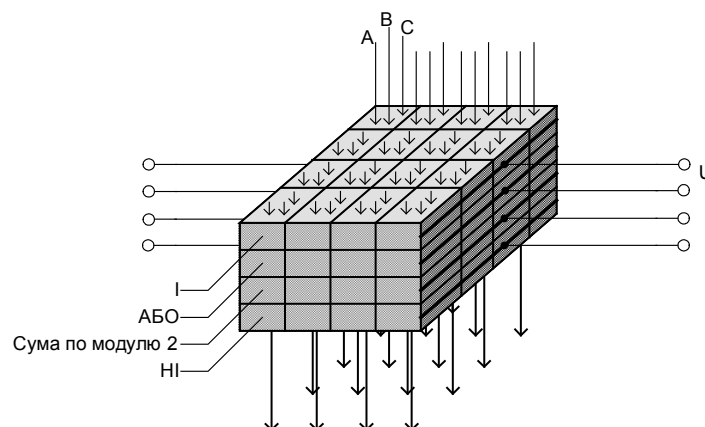


Рис. 1. Структурна схема оптоелектронного пристрою з повним набором логічних операцій:
А, В – інформаційні оптичні сигнали; С – постійний оптичний сигнал; U – виходи керування напругою

Пристрій, що зображений на рис.1, складається з чотирьох шарів, які містять матриці керованих транспарантів. Кожен шар транспаранта містить матрицю лише з певним типом логічних елементів і має два режими роботи:

- 1) режим прозорості – дозволяє проходження оптичного сигналу;
- 2) режим обробки – виконує певну логічну операцію над оптичним сигналом.

Перший шар містить керований оптичний транспарант на основі логічних елементів I [1]. Даний логічний елемент побудований на основі електро-абсорбційного модулятора [2], що дозволяє здійснювати керування ним за допомогою електричної напруги. Кожен з логічних елементів має два оптичні інформаційних входи, вхід керування та вихід. На даному шарі виконується логічна операція I, яка відбувається під впливом сигналу з входу керування.

У режимі обробки транспарант працює наступним чином: на вхід однієї комірки транспаранта подаються оптичні інформаційні сигнали та постійний оптичний сигнал, що за рівнями співпадає з інформаційними сигналами і саме він являється вихідним сигналом цієї комірки в разі, якщо елемент повинен на виході повернути логічну «1». За рахунок постійного оптичного сигналу інтенсивність та потужність вихідного оптичного сигналу залишаються постійними на всіх етапах обробки оптичних даних.

Як у режимі прозорості, так і у режимі обробки вихідний оптичний сигнал проходить через комірку за рахунок властивостей напівпровідника. Комірка оптичного транспаранта керується електричним сигналом і при зміні напруги поданої на напівпровідник обернено пропорційно змінюється і його коефіцієнт поглинання. На рис.2 наведено графіки залежності коефіцієнта поглинання напівпровідника з квантовими ямами від прикладеної напруги на різних довжинах хвиль [3]. З графіків видно, що зменшення напруги поданої на напівпровідник призводить до збільшення його коефіцієнта поглинання, що зменшує його прозорість. І навпаки при збільшенні прикладеної напруги напівпровідник стає більш прозорим, що дозволяє більше проходження оптичного сигналу.

Другий та третій шари містять керовані оптичні напівпровідникові транспаранти на основі логічних елементів АБО і суми по модулю 2 [1] відповідно і працюють аналогічно першому шару транспаранта за виключенням логічної операції, яка на них виконується. Останній шар містить транспарант на основі логічного елемента HI [1]. Схема логічного елемента HI містить один оптичний інформаційний вхід, один керуючий вхід та вихід [1].

При поданні даних у оптичній матричній формі на вхід пристрою вони надходять на першу матрицю логічних елементів I, та в залежності від режиму роботи цих елементів сигнал або проходить через цей шар з тією ж інтенсивністю або обробляється матрицею логічних елементів. Кожен наступний

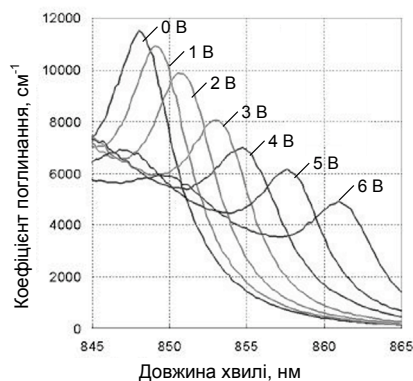


Рис.2. Графіки залежності коефіцієнта поглинання напівпровідника з квантовими ямами від прикладеної напруги [3]

шар працює аналогічно першому, але варто зазначити, що є певні обмеження режимів роботи. Шари, що містять елементи I, АБО та сума по модулю 2 не можуть працювати одночасно в режимі обробки. Тому накладається обмеження, що лише один з цих шарів може працювати у режимі обробки, а інші два шари мають залишатись у режимі прозорості.

2. ЗАСТОСУВАННЯ ПРИСТРОЮ НА ОСНОВІ ТРАНСПАРАНТІВ ТА РОЗРАХУНОК ЙОГО ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ

Спеціалізовані обчислювальні системи (ОС) – це системи, що здатні виконувати складні операції з великорозрядними даними, які подаються у вигляді масивів. Щоб забезпечити належну швидкість виконання операцій у спеціалізованих ОС, необхідно створити для них можливість паралельного введення, обробки і виведення даних. Це можливо здійснити, застосувавши для спеціалізованих ОС паралельні методи введення, обробки і виведення даних. Основними з них є методи на основі багаторозрядних шин, на основі паралельного використання набору частот та на основі керованих транспарантів [4].

Отже зрозуміло, що застосування запропонованого пристрою на основі транспарантів можливе в спеціалізованих ОС. Окрім того, перевагами застосування цих пристроїв будуть універсальність таких ОС (за рахунок того, що ці пристрої виконують повний набір логічних операцій), зменшення кількості зв'язків у ОС, легкість їх налаштування (за рахунок ідентичності всіх пристроїв обробки в ОС) та ін.

Для отримання більш точних результатів роботи оптоелектронного пристрою з набором логічних операцій необхідно виконати розрахунок його основних параметрів (вхідної та вихідної інтенсивності, потужності, товщини шарів транспарантів та ін.).

Виконаємо розрахунок вхідної інтенсивності випромінювання пристрою.

Відомою є вхідна потужність лазерного пучка VCSEL $P = 3 \text{ мВт}$ [5] та діаметр пучка $D = 4 \text{ мкм}$ [6]. Отже площа поперечного перерізу пучка S буде рівна:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = 1.257 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2, \quad (1)$$

а вхідна інтенсивність

$$I_0 = P / S = 2.387 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2. \quad (2)$$

Далі розрахуємо інтенсивність та потужність оптичного сигналу при проходженні через один та два шари напівпровідникових транспарантів в режимі обробки. Мається на увазі, що для виконання логічних операцій I, АБО та сума по модулю 2 оптичному сигналу необхідно пройти крізь один шар пристрою, а для виконання операцій I-НІ, АБО-НІ, \oplus -НІ – через два шари. При будь-якій логічній операції в даному пристрої шарів, які приймають участь в обробці оптичного сигналу, буде не більше двох, тому розрахунок інтенсивності буде приведено для одного та двох шарів напівпровідника.

За законом Бугера – Ламберта – Бера [7], при проходженні через напівпровідниковий транспарант вихідна інтенсивність буде розраховуватись за формулою:

$$I(l) = I_0 e^{-k_z l} \quad (3),$$

де I_0 - інтенсивність вхідного пучка; l - товщина шару напівпровідника, через який проходить світло; k_λ - показник поглинання.

При розрахунку інтенсивності світла, що проходить через шар транспаранта, по формулі (3) оберемо два різні показники поглинання напівпровідника $k_0 = 1.25 \cdot 10^4$ та $k_1 = 5.6 \cdot 10^3$ [3] для того, щоб розділити по інтенсивності рівні оптичних сигналів логічного нуля та одиниці. Також для отримання повної картини результатів розрахуємо інтенсивність оптичного сигналу при проходженні через шар транспаранту при декількох варіантах товщини напівпровідника l та розрахуємо потужність цих вихідних сигналів з формули (2). Результати даних розрахунків наведені у таблиці 1.

Таблиця 1.

Значення інтенсивності та потужності вихідного сигналу при різних значеннях товщини шарів транспаранта

Логічний рівень сигналу	Товщина шару, мкм	Вихідна інтенсивність після 1-го шару, Вт/м ²	Вихідна інтенсивність після 2-го шару, Вт/м ²	Вихідна потужність після 1-го шару, Вт	Вихідна потужність після 2-го шару, Вт
1	30	$2.018 \cdot 10^8$	$1.706 \cdot 10^8$	$2.536 \cdot 10^{-3}$	$2.144 \cdot 10^{-3}$
0	30	$1.641 \cdot 10^8$	$1.128 \cdot 10^8$	$2.062 \cdot 10^{-3}$	$1.417 \cdot 10^{-3}$
1	100	$1.364 \cdot 10^8$	$7.789 \cdot 10^7$	$1.714 \cdot 10^{-3}$	$9.788 \cdot 10^{-4}$
0	100	$6.84 \cdot 10^7$	$1.96 \cdot 10^7$	$8.595 \cdot 10^{-4}$	$2.463 \cdot 10^{-4}$
1	300	$4.449 \cdot 10^7$	$8.292 \cdot 10^6$	$5.591 \cdot 10^{-4}$	$1.042 \cdot 10^{-4}$
0	300	$5.614 \cdot 10^6$	$1.32 \cdot 10^5$	$7.055 \cdot 10^{-5}$	$1.659 \cdot 10^{-6}$

З даних табл.1 можна зробити висновки, що для товщини напівпровідника $l = 30$ мкм доцільно було б взяти за рівень одиниці 2.1мВт потужності оптичного сигналу і вище, а за рівень нуля відповідно потужність, яка менша за 2.1мВт. Відповідно для товщини напівпровідника $l = 100$ мкм такою межею доцільно узяти потужність 0.91 мВт, а для $l = 300$ мкм – така межа буде становити 0.85 мВт.

Проте відомо, що для чіткої роботи логічних елементів повинен бути захисний інтервал між рівнями логічного нуля та одиниці. Так, для TTL-логіки рівень логічного нуля – це сигнали з напругою менше 0,4 В, а рівень логічної одиниці – більше 2,4 В. Тобто цей захисний інтервал становить від 0,4 до 2,4 В. Тому для оптоелектронного пристрою на основі транспарантів необхідно також чітко визначити рівні логічного нуля та одиниці і величину захисного інтервалу між ними. Для цього побудуємо залежності по формулі (3) для рівнів нуля та одиниці та визначимо величину цього захисного інтервалу з графіків.

На рис. 3 та рис. 4 наведено графіки залежності потужності оптичного сигналу від товщини шару напівпровідника при проходженні через один та два шари напівпровідникового транспаранту відповідно. На цих рисунках криві потужності наведені для логічних рівнів нуля $P_0(l)$ та одиниці $P_1(l)$.

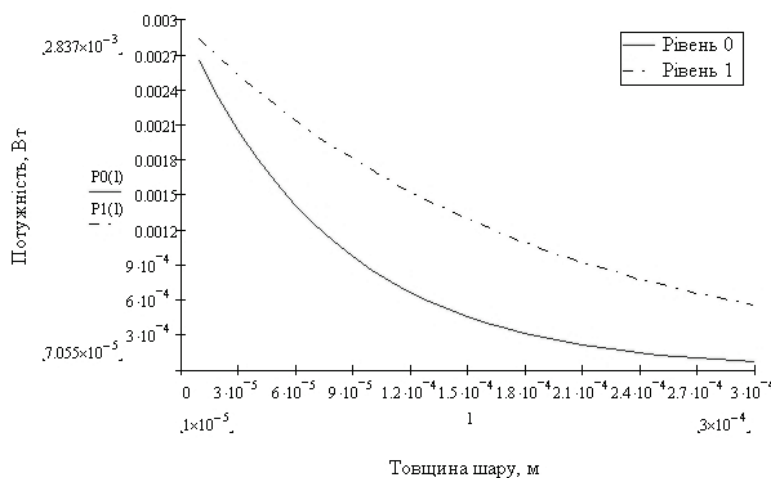


Рис.3. Графік залежності потужності вихідного оптичного сигналу від товщини одного шару транспаранта

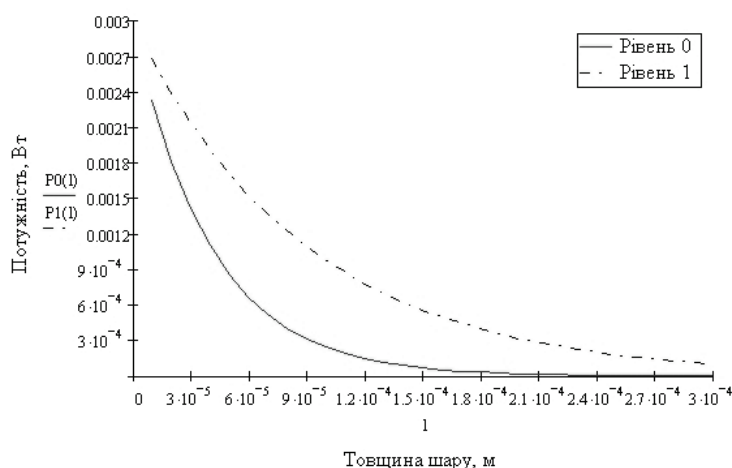


Рис. 4. Графік залежності потужності вихідного оптичного сигналу від товщини двох шарів транспаранта

З графіків представлених на рис.3 та рис. 4 спостерігається те, що між рівнем логічної одиниці та нуля на ділянці від 10 мкм до 300 мкм існує явна різниця потужностей, яку можна використати для того, щоб чітко розділити між собою рівні нуля і одиниці в логіці пристрою, тим самим запобігши його нестабільній роботі.

При детальному аналізі графіків, що наведені на рис.3, 4 можна зробити висновки, що найоптимальнішою товщиною шару буде 110 – 120 мкм, так як в цьому діапазоні товщини найбільша різниця між вихідним рівнем потужності нуля для першого шару і рівнем потужності одиниці для вихідного сигналу з другого шару. Ця різниця становить близько 0,2 мВт.

Далі необхідно обрати рівні логічного нуля та одиниці такими, щоб вони задовольняли випадкам одного і двох шарів. За допомогою аналізу графіків на рис.3 та рис.4 встановлено, що для товщини шару 110 мкм рівню логічного нуля відповідатиме сигнал з потужністю менше 0,7 мВт, а рівню логічної одиниці – сигнал з потужністю більше 0,9 мВт. Тобто величина захисного інтервалу між логічними рівнями нуля та одиниці для оптоелектронного пристрою на основі транспарантів з повним набором логічних операцій становить 0,2 мВт.

ВИСНОВКИ

У даній статті було запропоновано оптоелектронний пристрій з набором логічних операцій для роботи з матрицями. Пристрій складається з чотирьох шарів керованих оптичних напівпровідникових транспарантів. При цьому пристрій може виконувати будь-яку з логічних операцій: І, АБО, сума по модулю 2, І-НІ, АБО-НІ, \oplus -НІ. Описано принцип роботи та особливості керування пристроєм, показано його переваги при застосуванні у спеціалізованих ОС.

Також розраховано основні параметри роботи даного пристрою. Визначено величини інтенсивностей та потужностей вхідних і вихідних променів при різних режимах роботи (тобто при виконанні різних логічних операцій з можливого набору), за рахунок чого було обрано порогові значення потужності для логічного нуля та логічної одиниці при оптимальній товщині шарів пристрою. Встановлено, що оптимальною є товщина шару 110 мкм, для якої рівень логічного нуля – це оптичний сигнал з потужністю менше 0,7 мВт, а рівень логічної одиниці – сигнал з потужністю більше 0,9 мВт.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Оптимізація спеціалізованих обчислювальних систем для виконання складних матричних операцій на основі оптичних транспарантів / Г.Л.Лисенко, І.В.Мялківська // [Електронний ресурс] : Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної конференції „Контроль і управління в складних системах (КУСС-2008)”, 21-23 жовтня 2008р., м. Вінниця. Режим доступу до збірника тез доповідей: http://www.vstu.vinnica.ua/mccs2008/ukr/abstracts_UA.html.
2. Micah B. Yairi. An optically controlled optoelectronic switch: from theory to 50 gigahertz burst-logic demonstration // A dissertation submitted to the department of applied physics and the committee on graduate studies of Stanford University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 2001. – 210p.

3. Bianca Elizabeth Nelson Keller. Wavelength division multiplexed optical interconnects using short pulses // A dissertation submitted to the department of applied physics and the committee on graduate studies of Stanford University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 2002. – P.48.
4. М'ялківська І.В. Використання оптичних транспарантів для спеціалізованих обчислювальних систем / І.В. М'ялківська // Оптико-Електронні Інформаційно-Енергетичні Технології. – 2007. – №2(14), 2007. – С.145-153.
5. Захаров С. М., Федоров В. Б., Цветков В. В.. Оптоэлектронные интегральные схемы с применением полупроводниковых вертикально излучающих лазеров / С.М. Захаров, В.Б.Федоров, В.В.Цветков // Квантовая электроника. – 1999. – №3, 28 1999. – С.189-206.
6. Y.-J. Yoo, A.Scherer, J.P. Harbison, L.T. Florez, E.G. Paec, B.P. Van der Gaag, J.R.Hayes, A.Van Lehman, E.Kapon, and Y.-S. Kwon. "Fabrication of a two-dimensional phased array of vertical cavity surface-emitting lasers", Appl.Phys.Lett., vol.56, pp.1198-1200, 1990.
7. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: [Пер. с англ.]. – М.: Мир. – 1998. – 704 с.

Надійшла до редакції 20.01.2009р.

ЛИСЕНКО ГЕННАДІЙ ЛЕОНІДОВИЧ – к.т.н., доцент кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

М'ЯЛКІВСЬКА ІРИНА ВОЛОДИМИРІВНА – здобувач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

ДЮДЮН ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ - студент кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.