

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЯЛКІВСЬКА ІРИНА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 681.3

**ШВИДКОДІЮЧІ СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ОБЧИСЛЮВАЧІ НА БАЗІ
ОПТОЕЛЕКТРОННИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ТРАНСПАРАНТІВ**

Спеціальність 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент Лисенко Геннадій Леонідович, Вінницький національний технічний університет, доцент кафедри лазерної та оптоелектронної техніки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор Лужецький Володимир Андрійович, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри захисту інформації

доктор технічних наук, професор Муравський Леонід Ігоревич, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка Національної академії наук України, завідувач відділу оптико-електронних інформаційних систем

Захист відбудеться “ 02 ” _____ 10 _____ 2009 р. о 12³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.01 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210, ГУК.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий “ 01 ” _____ 09 _____ 2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С. М. Захарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В сучасному світі постійно збільшується кількість інформації, що передається та обробляється в обчислювальних системах. Тому гостро стоїть задача збільшення швидкості обробки цієї інформації. Однією із груп методів, що дозволяють реалізовувати збільшення швидкості обробки інформації є паралельні методи, серед яких чільне місце займають методи з представленням даних у вигляді масивів. Реалізація цих методів обробки можлива на багатопроцесорних комп'ютерах, масивно-паралельних структурах, конвеєрних пристроях та інших спеціалізованих обчислювачах (СО). Проте вони мають недостатню швидкодію, що пов'язано з обмеженими можливостями електронних обчислювальних засобів. Більш перспективними на сьогодні є СО, які працюють на оптоелектронних елементах.

Оптоелектронні системи – це напрям, який досить динамічно розвивається і яким займаються провідні науковці як України, так і зарубіжжя. Серед українських вчених оптоелектронними паралельними системами займаються С. В. Свечніков, В. П. Кожем'яко, В. І. Осинський, З. Ю. Готра, Л. І. Тимченко, роботи яких внесли значний вклад в розвиток цього напрямку. Серед закордонних вчених слід відзначити Д. Міллера (США), О. Г. Натрошвілі (Грузія), Ю. Р. Носова, О. С. Сидорова (Росія), В. Сабніса (США).

Перевагами оптоелектронних СО є висока швидкодія, паралелізм виконання операцій, невеликі габаритні розміри та ін. Найкраще для задач обробки інформації, поданої у вигляді масивів даних, підходять спеціалізовані обчислювачі на основі керованих транспарантів.

Під керованими транспарантами розуміють пристрої, виконані у вигляді матриць, які працюють за принципом просторово-часових модуляторів світла.

На сьогоднішній день, обробка інформаційних сигналів може здійснюватись паралельно за допомогою обчислювачів на базі оптоелектронних транспарантів (акустооптичних, на монокристалічних сегнетоелектриках, на феромагнітних матеріалах тощо). Спільним недоліком цих транспарантів є відсутність можливості інтеграції таких пристроїв у обчислювальні системи. Цей недолік відсутній в оптоелектронних транспарантах на напівпровідникових матеріалах. Тому розробка керованих пристроїв паралельного введення-виведення та обробки інформації в СО є актуальною науковою задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основний зміст роботи складають результати досліджень, які проводились на протязі 2005-2009 років. Робота виконувалася відповідно до наукових напрямів кафедри лазерної та оптоелектронної техніки Вінницького національного технічного університету, а також за загальнодержавними держбюджетними темами Міністерства освіти і науки України №57-Д-281 „Оптико-електронний квантово-розмірний образний комп'ютер око-процесорного типу: концепції, методологія, база знань” (№ державної реєстрації 0105U002434) та №57-Д-300 „Оптико-електронні паралельні логіко-часові інформаційно - енергетичні середовища на базі образних комп'ютерів” (№ державної реєстрації 0108U000662).

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є підвищення швидкодії спеціалізованих обчислювачів за рахунок використання паралельного введення-виведення і паралельної обробки інформації, представленої у матричному вигляді.

Відповідно до мети необхідно вирішити основні завдання:

1. Провести аналіз розвитку спеціалізованих обчислювачів з паралельним введенням-виведенням і паралельною обробкою інформації та елементної бази для їх реалізації, а також систематизувати відомі теоретичні підходи, що покладено в основу їх роботи.

2. Розробити математичну модель поглинання оптичного випромінювання оптоелектронним напівпровідниковим транспарантом з двохвильовим керуванням в залежності від прикладеної до нього напруги.

3. Розробити схеми комірок оптоелектронного транспаранта на логічних елементах з електроабсорбційними модуляторами.

4. Розробити спосіб двохвильового керування оптоелектронним транспарантом.

5. Запропонувати структурні схеми реалізації логічних матричних операцій на основі СО для великорозмірних масивів даних з використанням оптоелектронних транспарантів.

6. Розробити багат шарову структуру оптоелектронного транспаранта для виконання набору логічних операцій над матрицями для використання в СО.

7. Розрахувати часові та енергетичні характеристики схем виконання матричних логічних операцій на основі електроабсорбційних модуляторів для великорозмірних масивів даних.

8. Розробити алгоритм та програму роботи багат шарового оптоелектронного транспаранта для виконання набору логічних операцій над матрицями.

9. Представити застосування оптоелектронних напівпровідникових транспарантів в оптичних технологіях.

Об'єктом дослідження є паралельне оброблення масивів інформації великої розмірності в спеціалізованих обчислювачах з паралельним введенням-виведенням.

Предметом дослідження є спеціалізовані обчислювачі на основі оптоелектронних напівпровідникових транспарантів з паралельним введенням-виведенням для паралельного виконання порозрядних логічних операцій над великорозмірними масивами.

Для розв'язання поставлених задач у дисертаційній роботі використано **методи досліджень**, що базуються на застосуванні системного аналізу, математичного моделювання, теорії оцінювання ефективності та оптимізації, теорії кіл, сигналів та систем, методи аналізу і синтезу електронних схем.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше запропоновано метод двохвильового керування оптоелектронним напівпровідниковим транспарантом на основі нелінійної залежності спектра поглинання інформаційних сигналів, що проходять через транспарант, від спектра оптичного сигналу керування. Це дозволило здійснити керування проходженням інформаційного випромінювання з різними довжинами хвиль через оптоелектронний напівпровідниковий транспарант залежно від довжини хвилі керувального випромінювання.
2. Вперше отримано аналітичну модель для дослідження поглинання електроабсорбційного модулятора на основі напівпровідника GaAs/AlGaAs з квантовими ямами від прикладеної напруги, яка базується на експериментальних даних, що дозволило прогнозувати коефіцієнт поглинання в діапазоні довжин хвиль 830 – 870 нм для напруг 0 - 10 В для оптично керованого електроабсорбційного модулятора на основі подвійного діода.
3. Запропоновано архітектуру багат шарового оптоелектронного транспаранта на основі електроабсорбційних модуляторів з двохвильовим керуванням для виконання набору логічних операцій над матрицями, що дозволило підвищити швидкодію за рахунок появи вихідних даних з більшою часовою щільністю.

Практичне значення одержаних результатів:

- Розроблено схеми логічних елементів I, I-НІ, НІ, сума за модулем 2 на оптично керованих електроабсорбційних модуляторах на основі подвійного діода для використання як комірки оптоелектронного транспаранта, в яких усунута невідповідність рівнів вхідних і вихідних оптичних сигналів. Це дозволило реалізовувати послідовне з'єднання таких елементів без застосування додаткових узгоджувальних пристроїв.
- Запропоновано схему багатошарового оптоелектронного транспаранта з можливістю виконання набору логічних операцій над матрицями для застосування у спеціалізованих обчислювачах, що дозволило створювати більш універсальні СО на основі однотипних пристроїв.
- Запропоновано схеми побудови спеціалізованих обчислювачів для виконання операції множення двох матриць 10240×10240 елементів на основі оптоелектронних напівпровідникових транспарантів розмірністю 128×128 елементів за час 0,745 мкс та операції додавання двох матриць 10240×10240 елементів на основі оптоелектронних напівпровідникових транспарантів розмірністю 128×128 елементів за час 0,786 мкс.
- Проведено моделювання впливу енергетичних параметрів оптичного випромінювання на результати роботи спеціалізованих обчислювачів на основі оптоелектронних напівпровідникових транспарантів з оптичним керуванням, що дозволило встановити рівні оптичних логічних сигналів: рівень логічного нуля – сигнал з потужністю менше 0,7 мВт, рівень логічної одиниці – більше 0,9 мВт.
- Запропоновано алгоритм та програму роботи багатошарового оптоелектронного транспаранта для виконання набору логічних операцій над матрицями 128×128 елементів, що дозволило моделювати виконання логічних операцій I, АБО, сума за модулем 2, I-НІ, АБО-НІ, \oplus -НІ з масивами даних відповідної розмірності.

Впровадження результатів підтверджується відповідними актами.

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні, розрахункові та експериментальні результати з формулюванням відповідних висновків отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачем здійснено аналіз характеристик сучасних типів транспарантів [1], запропоновано реалізацію системи управління оптичним транспарантом [2], досліджено залежності оптичних характеристик напівпровідників від довжини хвилі [3], запропонована схема блока перенесення оптоелектронного повного суматора [5], запропонована структурна схема оптоелектронного пристрою на базі транспарантів з набором логічних операцій для роботи з матрицями [4, 7] та структурна схема оптоелектронної системи для виконання матричних операцій [6], виконано розрахунок коефіцієнта поглинання напівпровідників на вільних носіях заряду [9, 10], запропоновано використання модуляторів у оптоелектронному десятковому пристрої [11, 12], модифіковано блок аналізу пристрою для оброблення чисел [13], розроблена структура блоку рангів оптоелектронного десяткового пристрою [14], запропоновано введення багатошарового хвильового оптичного конвертора [15], запропонована структурна схема реалізації способу паралельної комутації [16] та розроблено блок синхронізації потоків алгоритму способу керування інтерфейсом повністю оптичних мереж [17-19].

Апробація результатів дисертації. Основні наукові і практичні результати роботи доповідались і обговорювались на: щорічних науково-технічних конференціях

професорського-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ (2004-2009), III і IV міжнародній конференції з оптоелектронних інформаційних технологій „PHOTONICS-ODS” (м.Вінниця, 2005, 2008), III МНТК "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2007)" (м.Вінниця, 2007), 52-й МНК „Оптика і фотоніка – 2007”, що організовувалась Міжнародною асоціацією з оптичних технологій SPIE (м. Сан-Дієго (США), 2007), II МНК „Теорія та методи обробки сигналів”, Міжнародна конференція "Контроль і управління в складних системах 2008" (м.Вінниця, 2008).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 20 наукових праць. З них 7 статей опубліковано в наукових журналах, що входять до переліку ВАК України, 8 – в матеріалах і збірниках МНТК, а також отримано 2 патенти України на винахід та 3 патенти на корисну модель.

Об’єм і структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, 9 додатків та списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації 185 сторінок, з яких основний зміст викладено на 152 сторінках друкованого тексту, містить 59 рисунків та 12 таблиць. Список використаних джерел складається із 109 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розглянуто актуальність теми дослідження, зазначено зв’язок роботи з науковими програмами, темами. Обґрунтовано мету та завдання досліджень. Приведено характеристику наукової новизни та практичного значення одержаних результатів, а також описано їх апробацію, публікації та впровадження.

В першому розділі проведено аналіз розвитку спеціалізованих обчислювачів з паралельним введенням-виведенням і обробкою інформації та елементної бази для їх реалізації для визначення характеристик сучасних обчислювальних засобів та вибору елементної бази для них.

Основна увага приділена сучасним обчислювальним засобам з паралельною обробкою даних, галузям їх застосування та їх віднесенню до певного класу в класифікації М. Фліна. В результаті аналізу показано, що СО з паралельною обробкою на основі транспарантів відносяться до класу ОКМД (одиначний потік команд, множинний потік даних).

Проведено аналітичний огляд транспарантів як елементів спеціалізованих обчислювачів з паралельною обробкою інформації та наведено порівняльну характеристику їх основних видів. В результаті аналізу характеристик транспарантів було доведено, що найкращими для реалізації на їх основі спеціалізованих обчислювачів є напівпровідникові транспаранти. В якості елементної бази для напівпровідникових транспарантів серед різних типів SEED-структур та модуляторів було обрано оптично керовані електроабсорбційні модулятори на основі подвійного діода.

Проведено обґрунтування вибору критеріїв ефективності спеціалізованих обчислювачів. Основним з яких обрано критерій енергетичної ефективності, який враховує взаємозв’язок між продуктивністю обчислювачів та їх споживаною потужністю.

У другому розділі наведено моделі оптоелектронних транспарантів для швидкодіючих спеціалізованих обчислювачів. Проведено обґрунтування вибору матеріалу для оптоелектронних транспарантів. Для цього досліджено характеристики оптичних

напівпровідникових транспарантів як на чистих напівпровідниках, так і на напівпровідниках з квантовими ямами. Виявлено, що напівпровідники з квантовими ямами мають нелінійні залежності своїх оптичних характеристик від різних факторів (довжина хвилі, напруга тощо) і краще підходять для створення транспарантів для використання у спеціалізованих обчислювачах.

Запропонована модель поглинання випромінювання для оптоелектронного транспаранта з двохвильовим керуванням. Як зазначалося, поглинання випромінювання напівпровідниковим транспарантом може змінюватися в залежності від різних факторів, основними з яких є довжина хвилі керувального випромінювання та величина прикладеної напруги. Ці залежності є основою для здійснення керування транспарантом на напівпровідникових структурах з квантовими ямами. Тому було виведено аналітичний вигляд математичної моделі залежності поглинання випромінювання транспарантом від керувальної довжини хвилі та прикладеної напруги.

Оскільки елементною базою для транспаранта було обрано електроабсорбційні модулятори OCEAM (Optically-Controlled Electroabsorption Modulators), то необхідно розробити математичну модель поглинання ними випромінювання. З експериментальних даних відомо, що для електроабсорбційних модуляторів на напівпровідникових структурах з квантовими ямами, які використовуються для розробки транспарантів, існують графічні характеристики, що описують залежності коефіцієнта поглинання випромінювання від довжини хвилі та прикладеної напруги. Результати цих експериментів наведені на рис. 1.

Проте не існує аналітичного вигляду для відтворення даних залежностей. Тому було виведено аналітичний вигляд математичної моделі поглинання випромінювання оптичним напівпровідниковим транспарантом. Модель залежності поглинання від прикладеної напруги та довжини хвилі випромінювання $\alpha(\lambda, V)$ має вигляд

$$\alpha(\lambda, V) = -\frac{1}{L} \ln \left(1 - \frac{I_{EAM}(\lambda, V)hc}{e\eta\lambda P_{in}^\lambda} \right), \quad (1)$$

де η – квантова ефективність;

L – довжина модулятора;

P_{in}^λ – потужність інформаційного
випромінювання;

h – стала Планка;

c – швидкість світла;

e – заряд електрона;

$I_{EAM}(\lambda, V)$ – залежність струму, що протікає
через електроабсорбційний модулятор, від
прикладеної до нього напруги та довжини хвилі

Рис.1. Залежності коефіцієнта
поглинання GaAs/AlGaAs при
різних прикладених напругах

інформаційного випромінювання.

Для перевірки відповідності знайденого аналітичного вигляду математичної моделі (1) експериментальним даним необхідно знати залежність фотоструму, що протікає через електроабсорбційний модулятор, від довжини хвилі та прикладеної напруги. Залежності фотоструму від довжини хвилі керування та напруги було експериментально досліджено Д.Міллером. Використовуючи комп'ютерні методи інтерполяції таблично заданих значень та математичні формули полінома Лагранжа, було виведено аналітичні залежності фотоструму

від довжини хвилі та прикладеної напруги.

Результат залежності $I_{EAM}(\lambda_i, V)$ має вигляд

$$I_{EAM}(\lambda, V) = 2 \cdot 10^{-9} \cdot \lambda \cdot 10^6 - 7 \cdot 10^{-8} \cdot \lambda \cdot 10^5 + 10^{-6} \cdot \lambda \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^{-5} \cdot \lambda \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda \cdot 10^2 - 0,3 \cdot \lambda - 8 \cdot 10^{-4} V + 0,4036. \quad (2)$$

При застосуванні співвідношення (2) слід мати на увазі, що довжина хвилі вимірюється у мікрометрах [мкм], а фотострум – у амперах [А]. Підставляючи аналітичну залежність фотоструму від довжини хвилі та напруги (2) у (1), отримуємо остаточний вигляд математичної моделі поглинання випромінювання від довжини хвилі і прикладеної напруги:

$$\alpha(\lambda, V) = -\frac{1}{L} \ln \left(1 - \frac{hc}{e\eta\lambda P_{inc}} \cdot [2 \cdot 10^{-9} \cdot \lambda \cdot 10^6 - 7 \cdot 10^{-8} \cdot \lambda \cdot 10^5 + 10^{-6} \cdot \lambda \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^{-5} \cdot \lambda \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda \cdot 10^2 - 0,3 \cdot \lambda - 8 \cdot 10^{-4} V + 0,4036] \right) \quad (3)$$

На основі запропонованої математичної моделі (3) було розроблено метод двохвильового керування для оптоелектронного напівпровідникового транспаранта. Якщо за керівний фактор обрати довжину хвилі випромінювання, що падає на напівпровідник, а в якості напівпровідникового приладу – оптичний транспарант, то, змінюючи довжину хвилі керування, можна буде змінювати поглинання транспаранта, тобто величину пройшовшого крізь нього інформаційного випромінювання. Традиційні методи модуляції розглядають надходження на елемент одного керуючого та одного інформаційного променів. Проте можна розглянути варіант надходження на комірку двох інформаційних та двох керувальних променів (рис. 2). Це дозволить одночасно здійснювати модуляцію двох інформаційних довжин хвиль за допомогою зміни напруги на транспаранті, яка виникне внаслідок зміни довжини хвилі керування.

На рис. 2 λ_1^{ctrl} і λ_2^{ctrl} – керувальні довжини хвиль; λ_1^{in} та λ_2^{in} – набір інформаційних вхідних довжин хвиль; λ_1^{out} та λ_2^{out} – набір інформаційних вихідних довжин хвиль. Суть такого методу модуляції полягає у наступному. Нехай задано два масиви даних А і В розмірністю $N \times N$, кожен з яких складається з k зрізів ($k=2$). При цьому кожен зріз k_i^A і k_i^B масивів даних А і В заданий певними інформаційними довжинами хвиль λ_k^A і λ_k^B , відповідно. Крім того, кожен зріз k_i^A і k_i^B масивів А і В керується відповідною довжиною хвилі λ_k^{A-ctrl} і λ_k^{B-ctrl} . Крім того, існує така особливість керування: λ_1^{ctrl} , λ_2^{ctrl} мають невеликий

Рис. 2. Схема роботи транспаранта при наборі з двох вхідних і двох керувальних довжин хвиль випромінювання

спектральний проміжок між собою і надходять на комірку за один імпульс. Потім протягом певного τ керувальний сигнал відсутній, після чого надходить наступний імпульс з двома довжинами хвиль λ_1^{ctrl} , λ_2^{ctrl} . Оскільки кожен зріз масивів даних „реагує” тільки свою довжину хвилі керування (тобто проходить тільки тоді, коли на керувальному вході з’являється відповідна λ_k^{ctrl}), то за один імпульс керування через транспарант пройдуть всі k зрізів масивів даних. Це дозволяє значно підвищити ефективність модуляції і продуктивність систем, які будуть побудовані на основі такого методу модуляції. Отже, зрозуміло, що зріз 1 масиву даних А розмірністю $N \times N$ буде заданий сукупністю $N \times N$ інформаційних довжин хвиль λ_1 , а зріз 2 – сукупністю $N \times N$ інформаційних довжин хвиль λ_2 . До того ж, як було показано на рис. 1, дані довжини хвиль будуть мати зміщені залежності коефіцієнта пропускання в залежності від прикладеної напруги (рис. 3). У такому випадку оптичний транспарант буде працювати таким чином. В момент часу $t=1$ на комірку транспаранта падає керувальний промінь з довжиною хвилі λ_1^{ctrl} .

Це випромінювання викликає певну зміну напруги V_1 на комірці, що призводить до зміни її коефіцієнта поглинання (див. рис. 3). Таким чином, довжина хвилі λ_2 має коефіцієнт

Рис. 3. Залежності коефіцієнта поглинання від довжини хвилі для двох значень прикладеної напруги

поглинання набагато більший, ніж довжина хвилі λ_1 . І на виході комірки вихідним буде сигнал з меншим коефіцієнтом поглинання, тобто λ_1 . Паралельно така ж ситуація відбувається і на інших комірках транспаранта $N \times N$.

В наступний момент часу $t=2$ на комірці падає керуючий промінь з довжиною хвилі λ_2^{ctrl} . Це випромінювання викликає певну зміну напруги V_2 на комірці, що знову призводить до зміни її коефіцієнта поглинання (рис. 3). Довжина хвилі λ_1 має коефіцієнт поглинання набагато більший ніж довжина хвилі λ_2 . Тому на виході комірки вихідним буде сигнал з меншим коефіцієнтом поглинання в даний момент часу $t=2$, тобто λ_2 . Аналогічна ситуація відбувається і на інших комірках транспаранта $N \times N$. На цьому закінчується дія одного імпульсу. Отже, за один імпульс передається два зрізи одного масиву даних A розмірністю $N \times N$ за рахунок зміни керувальних довжин хвиль λ_1^{ctrl} та λ_2^{ctrl} , які надходили набором в одному імпульсі.

Також наведена математична модель розподілу напруги по комірці в залежності від просторового r та часового t параметрів для одношарового транспаранта для гаусового розподілу енергії по поперечному перерізу світлового імпульсу:

$$V(r, t) = V_M \left(\frac{\tau}{t + \tau} \right) \cdot \exp \left(\frac{-r^2}{4D(t + \tau)} \right), \quad (4)$$

де V_M визначається як

$$V_M = \frac{\sqrt{2\pi} P_{imn} \cdot \exp \left(-\frac{(r - \mu)^2}{2\sigma^2} \right)}{\sigma \tau_{imn} C_A w_0^2}. \quad (5)$$

В третьому розділі розроблялись СО на базі оптоелектронних напівпровідникових транспарантів. Для цього були розроблені та промодельовані за допомогою програми MicroCap оптоелектронні схеми напівпровідникового транспаранта на базі логічних елементів І-НІ (рис. 4) та на базі суматорів. На рис. 4 введено такі позначення: 1 - джерело живлення; 2 - подвійний діод; 3 - електроабсорбційний модулятор; 4 - резистор; 5 - оптичний вихід; А, В - інформаційні оптичні входи; С - оптичний вхід.

Оцінено час роботи розроблених елементів І-НІ, який складає 86,4 пс та робочу потужність, що становить $P = 0,656$ мВт. Час роботи розроблених суматорів складає 92,8 пс, а їх робоча потужність становить $P = 0,611$ мВт.

На базі розроблених логічних елементів створювались транспаранти для використання у СО. На основі розробленого методу виконання операцій у СО на базі оптоелектронних транспарантів були запропоновані структури СО із застосуванням транспарантів для виконання операції поелементного множення масивів 10240×10240 (рис. 5) та для операції додавання масивів тієї ж розмірності (рис.6).

Розрахований час виконання відповідних операцій за допомогою даних структур становить 0,745 мкс для операції поелементного множення масивів 10240×10240 та 0,786 мкс для операції додавання таких же масивів за умови використання транспаранта розмірністю 128×128 .

Також було розроблено структуру багатошарового оптоелектронного транспаранта для виконання набору логічних операцій для логічного елемента І-НІ застосування у СО. Енергія переключення багатошарового транспаранта для робочої довжини хвилі 846 нм та напруги 5,8 В становить $5,671 \cdot 10^{-14}$ Дж.

Геометричні роз-міри кожного шару транспаранту розмірністю 128×128 з трьома входами до кожної комірки складають 3,84 мм × 0,2048 мм.

Оцінювання ефективності розроблених СО показало доцільність їх використання для задач матричної обробки даних. Оцінки енергетичної ефективності (відношення продуктивності СО до його споживаної потужності) для різних СО паралельної обробки показали, що паралельні обчислювачі на базі транспарантів не менш ніж у 1,2 рази перевищують результати інших СО (суперкомп'ютери IBM Blue Gene/L, IBM Blue Gene/P, СКІФ МГУ, MareNostrum).

В четвертому розділі було досліджено характеристики опто-електронних транспарантів та дані рекомендації щодо їх застосування у СО. За математичною моделлю, виведеною у другому розділі, побудовано графіки поглинання випромінювання оптоелектронним напівпровідниковим транспарантом в залежності від довжини хвилі та прикладеної напруги (рис.7). На даних графіках обрано дві керувальних довжини хвилі випромінювання для здійснення двоххвильового керування оптоелектронним транспарантом: 846 нм та 847,2 нм.

Рис. 6. СО на основі транспарантів з двоххвильовим керуванням для виконання операції додавання двох масивів: DMX – демультіплексор; SW1 та SW2 – комутатори

Встановлено оптимальну товщину шару транспаранту на рівні 110 мкм, а також відповідні їй рівні логічних сигналів: рівню логічного нуля відповідатиме сигнал з потужністю менше 0,7 мВт, а рівню логічної одиниці – сигнал з потужністю більше 0,9 мВт.

З метою підтвердження теоретичних результатів дослідження розроблено алгоритм та програму роботи багатошарового оптоелектронного транспаранта для виконання набору логічних операцій над матрицями.

Запропоновані рекомендації щодо побудови оптичної та електричної систем управління оптоелектронними напівпровідниковими транспарантами у СО. При оптичному управлінні транспарантом використовується масив VCSEL-лазерів з керувальними довжинами

хвиль та масив VCSEL-лазерів

Рис. 7. Вибір довжин хвиль керування для різних значень прикладеної напруги

з

інформаційними довжинами хвиль. При взаємодії керуючої довжини хвилі з матеріалом транспаранту відбувається зміна його оптичних властивостей (коефіцієнти поглинання, відбиття) і в силу цього інформаційна довжина хвилі, яка проходить саме через цю комірку,

змінює свою інтенсивність. При електричному керуванні до кожної комірки транспаранта прикладається електрична напруга. При зміні величини прикладеної електричної напруги відбувається зміна оптичних властивостей напівпровідникового матеріалу транспаранта, за допомогою чого і здійснюється модуляція випромінювання.

Також запропоновані варіанти по застосуванню оптоелектронних напівпровідникових транспарантів в оптичних технологіях, а саме: в оптоелектронних пристроях, для здійснення паралельної комутації, для введення інформації в систему керування інтерфейсом повністю оптичних мереж та в якості елемента паралельного D-тригера з MS-структурою

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дисертаційної роботи були розроблені та досліджені спеціалізовані обчислювачі з використанням оптоелектронних напівпровідникових транспарантів, які дозволяють виконувати матричні операції з великорозмірними масивами даних із високою швидкістю.

Основні результати дисертаційної роботи:

1. Проведено аналіз розвитку спеціалізованих обчислювачів з паралельним введенням-виведенням і паралельною обробкою інформації та елементної бази для їх реалізації, а також систематизовано відомі теоретичні підходи, які покладено в основу їх роботи. Показано, що спеціалізовані обчислювачі з паралельною обробкою на основі транспарантів відносять до класу SIMD.
2. Вперше отримано аналітичну модель для дослідження поглинання електроабсорбційного модулятора на основі напівпровідника GaAs/AlGaAs з квантовими ямами в залежності від прикладеної напруги, яка базується на експериментальних даних. Це дозволило прогнозувати коефіцієнт поглинання в діапазоні довжин хвиль 830 – 870 нм для напруг 0 – 10 В для оптично керованого електроабсорбційного модулятора на основі подвійного діода.
3. Розроблено оптико-електронні схеми комірок транспаранта на основі логічних елементів I, I-NI, NI, сума за модулем 2 на оптично керованих електроабсорбційних модуляторах на базі подвійного діода для використання як комірки оптоелектронного транспаранта. В розроблених схемах усунута невідповідність рівнів вхідних і вихідних оптичних сигналів.
4. Запропоновано метод двохвильового керування оптоелектронним напівпровідниковим транспарантом на основі нелінійної залежності спектра поглинання інформаційних сигналів, що проходять через напівпровідниковий транспарант, від спектра оптичного керувального сигналу. Це дозволило здійснити керування проходженням інформаційного випромінювання з різними довжинами хвиль через оптоелектронний напівпровідниковий транспарант в залежності від довжини хвилі керувального випромінювання.
5. Запропоновано структурні схеми побудови спеціалізованих обчислювачів для виконання операції множення двох матриць 10240×10240 елементів на основі оптоелектронних напівпровідникових транспарантів розмірністю 128×128 елементів за час 0,745 мкс та операції додавання двох матриць 10240×10240 елементів на основі оптоелектронних напівпровідникових транспарантів розмірністю 128×128 елементів за час 0,786 мкс.
6. Запропоновано схему багатшарового оптоелектронного транспаранта на основі електроабсорбційних модуляторів з можливістю виконання набору логічних операцій над матрицями для застосування у спеціалізованих обчислювачах. Це дозволило підвищити

швидкодню за рахунок появи вихідних даних з більшою часовою щільністю, оскільки виникає перекриття імпульсів вихідних даних через подачу їх на різних довжинах хвиль, а також створювати більш універсальні спеціалізовані обчислювачі на основі однотипних пристроїв.

7. Проведено моделювання впливу енергетичних параметрів оптичного випромінювання на результати роботи спеціалізованих обчислювачів на основі оптоелектронних напівпровідникових транспарантів з оптичним керуванням, що дозволило встановити рівні оптичних логічних сигналів: рівень логічного нуля – сигнал з потужністю менше 0,7 мВт, рівень логічної одиниці – більше 0,9 мВт.
8. Запропоновано алгоритм та програму роботи багат шарового оптоелектронного транспаранта для виконання набору логічних операцій над матрицями 128×128 елементів, що дозволило моделювати виконання логічних операцій I, АБО, сума за модулем 2, I-НІ, АБО-НІ, ⊕-НІ з масивами даних відповідної розмірності.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ*

1. М'яківська І. Аналіз сучасних типів транспарантів та їх характеристик / Геннадій Лисенко, Ірина М'яківська// Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2007. – № 2 (14). – С.145-153.
2. М'яківська І. Дослідження оптичних властивостей напівпровідникових матеріалів типу $A^{III}B^V$ для виготовлення транспарантів / Геннадій Лисенко, Ірина М'яківська // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 2(12). – С. 171 – 177.
3. М'яківська І. Оптимізація спеціалізованих обчислювальних систем для виконання складних матричних операцій на основі оптичних транспарантів/ Геннадій Лисенко, Ірина М'яківська// Наукові праці ВНТУ. – 2009. – № 1. – 7с. Режим електронного доступу: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009-1/2009-1.htm>
4. М'яківська І. В. Оптоелектронний пристрій на основі транспарантів з повним набором логічних операцій для роботи з матрицями / Г. Л. Лисенко, І. В. М'яківська, О. В. Дюдюн // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2009. – № 1(17). – С. 71 – 76.
5. М'яківська І.В. Використання оптичних транспарантів для спеціалізованих обчислювальних систем / І. В. М'яківська// Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2008. – № 1 (15). – С. 123 – 129.
6. М'яківська І. Елементарна комірка оптичного транспаранта для оптоелектронних обчислювальних комплексів на SEED-структурах/ Геннадій Лисенко, Ірина М'яківська// Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 5. – С .90 – 94.
7. Кошельна І. В. Система керування інтерфейсом повністю оптичних мереж/ Кошельна І. В., Бурмакіна О. В., У. Абудаїа // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2003. – № 1-2 (5-6). – С. 158 – 166.
8. Пат. 63750 Україна, МПК⁷ G 06 F 7/62. Оптоелектронний десятковий пристрій/ Мартинюк Т. Б., Лисенко Г. Л., Кошельна І. В., Аль Равашдех М; заявник і патентовласник ВНТУ. - №2003065360; заявл. 10.06.03; опубл. 15.01.04, Бюл. № 1.
9. Пат. 17396 Україна, МПК⁷ G 06 F 7/556. Пристрій для оброблення чисел/ Мартинюк Т.Б., Король О.В., М'яківська І.В., Луцьов А.О.; заявник і патентовласник ВНТУ. – №200604102; заявл. 13.04.06; опубл. 15.09.06, Бюл. №9.

* Кошельну І.В. вважати М'ялківською І.В. у зв'язку з одруженням і зміною прізвища.

10. Пат. 11296 Україна, МПК⁷ G 06 F 7/556. Оптиелектронний десятковий пристрій/ Мартинюк Т.Б., Лисенко Г.Л., Кошельна І.В., М'ялківський А.В.; заявник і патентовласник ВНТУ. - №200506064; заявл. 21.06.05; опубл. 15.12.05, Бюл. № 12.
11. Пат. 12933 Україна, МПК⁵ Н 03 К 17/00. Спосіб паралельної комутації/ Лисенко Г.Л., Кошельна І.В., О. Ф Ф Абудаїа, Бурмакіна О.В; заявник і патентовласник ВНТУ. - №200506084; заявл. 21.07.05; опубл. 15.03.06., Бюл. № 3.
12. Пат. 71261 Україна. МПК⁷ Н 04 3/54, 7/005, G 02 F 1/00. Спосіб та пристрій повністю оптичної комутації/ Лисенко Г. Л., Ткаченко В. О., Ропай Ю. Г., Бурмакіна О. В., Кошельна І. В., М. Аль Равашдех; заявник і патентовласник ВНТУ. - №20031211549; заявл. 15.12.03; опубл. 15.11.04р, Бюл. № 11.
13. Mialkivska I. Using optical properties of semiconductor materials for modulators realization/ Gennadiy Lysenko, Iryna Mialkivska // Proceeding of SPIE (USA). – 2007. – 10 p.
14. М'ялківська І. Оптичні транспаранти з багатохвильовим керуванням для паралельної обробки даних у матричних спецобчислювачах / Геннадій Лисенко, Ірина М'ялківська // Збірник тез доповідей Міжнародної конференції з оптиелектронних інформаційних технологій "PHOTONICS-ODS 2008". – Вінниця: ВНТУ, 2008. – С. 48 – 49
15. М'ялківська І. Моделювання оптиелектронних систем з оптичним напівпровідниковим транспарантом для здійснення матричних операцій / Геннадій Лисенко, Ірина М'ялківська// Зб. тез конференції „Теорія та методи обробки сигналів (ТМОС-2008)”. – Київ: НАУ, 2008. – С. 82 – 83.
16. М'ялківська І. Елементарна комірка оптичного транспаранта для оптиелектронних обчислювальних комплексів на SEED-структурах/ Геннадій Лисенко, Ірина М'ялківська// Зб. тез III Міжнародної наук.-техн. конференції "Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2007)". – Вінниця: ВНТУ, 2007. – С. 182 – 183.
17. Кошельна І. Оптиелектронний десятковий пристрій/ Ірина Кошельна, Медин Аль Равашдех// Зб. тез студентських доповідей, рекомендованих до опублікування оргкомітетом XXXIII науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м.Вінниці та області, присвяченої 80-річчю професора І. В. Кузьміна. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – С. 96.
18. Кошельна І. Дослідження особливостей модифікованого паралельного інтерфейса НІРРІ в повністю оптичних мережах / Геннадій Лисенко, Ірина Кошельна // Зб. тез III міжнародної конференції з оптиелектронних інформаційних технологій „Photonics-2005”. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – С. 53 – 54.
19. Кошельна І. Застосування модифікованого паралельного інтерфейса НІРРІ в повністю оптичних мережах / Геннадій Лисенко, Ірина Кошельна// Зб. тез студентських доповідей, рекомендованих до опублікування оргкомітетом XXXIV науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю

працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м.Вінниці та області. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – С. 95.

АНОТАЦІЇ

Мялківська І. В. Швидкодіючі спеціалізовані обчислювачі на базі оптоелектронних напівпровідникових транспарантів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2009.

Дисертація присвячена підвищенню швидкодії спеціалізованих обчислювачів за рахунок використання паралельного введення – виведення і паралельної обробки інформації, поданої у матричному вигляді. Проаналізовано та наведено класифікацію сучасних спеціалізованих обчислювачів (СО) з паралельним введенням-виведенням і обробкою інформації. Розглянуто елементну базу для їх реалізації, серед якої було обрано напівпровідникові транспаранти для побудови на їх базі СО. Запропоновано метод двохвильового керування оптоелектронним напівпровідниковим транспарантом, що дозволило здійснити керування проходженням інформаційного випромінювання з різними довжинами хвиль через оптоелектронний напівпровідниковий транспарант в залежності від довжини хвилі керувального випромінювання. Запропоновано архітектуру для багат шарового оптоелектронного транспаранта з двохвильовим керуванням для виконання набору логічних операцій над матрицями, що дозволило підвищити швидкодію за рахунок появи вихідних даних з більшою часовою щільністю. Розроблені схеми логічних елементів на оптично керованих електроабсорбційних модуляторах для використання як комірки оптоелектронного транспаранта, в яких усунута невідповідність рівнів вхідних і вихідних оптичних сигналів. Запропоновані схеми побудови СО для виконання операції поелементного множення та додавання двох матриць на основі оптоелектронних напівпровідникових транспарантів. Запропоновано алгоритм та програму роботи багат шарового оптоелектронного транспаранта для виконання набору логічних операцій над матрицями.

Ключові слова: спеціалізований обчислювач, оптоелектронний транспарант, напівпровідниковий матеріал, паралельна обробка, електроабсорбційний модулятор.

Мялковская И. В. Быстродействующие специализированные вычислители на основе оптоэлектронных полупроводниковых транспарантов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Компьютерные системы и компоненты. – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2009.

Диссертация посвящена повышению быстродействия специализированных вычислителей за счет использования параллельного ввода – вывода и параллельной обработки информации, представленной в матричном виде.

Проведен анализ и классификация современных специализированных вычислителей с параллельным вводом – выводом и параллельной обработки информации. Рассмотрена элементная база для их реализации, среди которой были выбраны полупроводниковые

транспаранты для построения на их основе специализированных вычислителей. Также рассмотрена элементная база для построения оптоэлектронных транспарантов, среди которой представлены разные виды SEED-приборов, электроабсорбционные модуляторы и др.

Предложена модель поглощения излучения для оптоэлектронного полупроводникового транспаранта с двухволновым управлением. На основе этой модели предложен метод двухволнового управления оптоэлектронным полупроводниковым транспарантом на основе нелинейной зависимости спектра поглощения информационных сигналов, которые проходят через транспарант, от спектра оптического сигнала управления. Это позволило осуществить управление полупроводниковым транспарантом.

Предложена архитектура для многослойного оптоэлектронного транспаранта с двухволновым управлением для выполнения набора логических операций: И, ИЛИ, сумма по модулю 2, а также инверсии вышеперечисленных операций с матрицами на основе электроабсорбционных модуляторов. Такой транспарант представляет собой структуру из четырех слоев, каждый из которых также является транспарантом, причем каждый слой выполняет определенную логическую операцию: И, ИЛИ, сумма по модулю 2 или НЕ. Управление многослойным транспарантом осуществляется путем приложения напряжения к соответствующим слоям. Это позволило повысить быстродействие за счет появления выходных данных с большей временной плотностью.

Разработаны схемы логических элементов на оптически управляемых электроабсорбционных модуляторах на основе двойного диода для использования в качестве ячейки оптоэлектронного транспаранта. в предложенных схемах нейтрализовано несоответствие уровней входных и выходных оптических сигналов за счет использования дополнительного постоянного оптического сигнала управления.

Предложены структурные схемы построения специализированных вычислителей для выполнения операций поэлементного умножения и прибавления двух многомерных матриц на основе оптоэлектронных полупроводниковых транспарантов. Данные схемы предложены на основе метода выполнения операций в специализированных вычислителях.

Произведена оценка эффективности применения специализированных вычислителей на основе транспарантов для трудоемких задач.

Проведено моделирование влияния энергетических параметров оптического излучения на результаты работы специализированных вычислителей на основе оптоэлектронных полупроводниковых транспарантов. В результате чего установлены оптимальные толщины транспаранта, а также уровни мощностей излучения для логических сигналов нуля и единицы.

Предложены алгоритм и программа работы многослойного оптоэлектронного транспаранта для выполнения набора логических операций с матрицами, что позволило моделировать выполнение логических операций И, ИЛИ, сумма по модулю 2, И-НЕ, ИЛИ-НЕ, \oplus -НЕ с массивами данных.

Исследованы оптические свойства полупроводниковых транспарантов, а также приведены рекомендации относительно построения оптической и электрической систем управления оптоэлектронным полупроводниковым транспарантом. Также представлено использование оптоэлектронного полупроводникового транспаранта в оптических технологиях.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы подтверждаются соответствующими выводами и актами внедрения.

Ключевые слова: специализированный вычислитель, оптоэлектронный транспарант, полупроводниковый материал, параллельная обработка, электроабсорбционный модулятор.

Mialkivska I.V. High-speed specialized optoelectronic semiconductor modulators-based computers. – A manuscript.

Thesis for Ph. D. degree by the specialty 05.13.05 – Computer systems and components. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2009.

The thesis is devoted to increase of fast-acting of the specialized computers due to the use of parallel input-output and processing of information, given as a matrix. The modern specialized computers (SC) with parallel input-output and processing of information are analyzed and classified. An element base for their realization, among which semiconductor modulators were select for a construction on their base of SC, is considered. The two-wave-lengths control method for optoelectronic semiconductor modulator is offered, that allowed control passing an informative radiation with different wave-lengths through optoelectronic semiconductor modulator depending on a wave-length control radiation. Architecture for multi-layered optoelectronic modulator with two-wave-lengths control for implementation of set of boolean operations above matrices is offered, that allowed to promote a fast-acting due to appearance of output data with a greater sentinel closeness. The charts of logical elements on optically controlled electroabsorption modulators for the use as cell of optoelectronic modulator are developed. The charts of SC construction to implement operations of memberwise multiplication and modulo sum of 2 on the basis of optoelectronic semiconductor modulator are offered. An algorithm and program of work of multi-layered optoelectronic modulator to implement of set of boolean operations above matrices is offered.

Keywords: specialized computer, optoelectronic modulator, semiconductor, parallel processing, electroabsorption modulator.

Підписано до друку 28.08.2009 р. Формат 60x90/16
Наклад 100 прим. Зам. № 2009–148
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59