

УДК 621.363.6

І.С. ЛИТВИН

ОПТОЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

*Тернопільський національний економічний університет,
вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46004, Україна,
тел.: +380 (352) 436062, E-mail: lytvyn_igor@inbox.ru*

Анотація. Показано, що перевага від використання ПОЕП на основі інтегральних МНОН-n-p структур для опрацювання оптичних зображень полягає у можливості проводити опрацювання зображення у момент його сприйняття у самому ПОЕП. Удосконалено теоретичні основ побудови ОЕП на основі інтегральних МНОН-n-p структур, логічні та алгоритмічні основи організації зв'язків їх функціональних блоків для підвищення інформаційної ефективності ОЕП на основі подальшого розвитку теоретичних розробок нових принципів побудови ПОЕП з метою забезпечення більш раціонального вибору структурної схеми ОЕП і їх серійного виробництва методами сучасної технології інтегральних мікросхем. Приведено результати експериментальних досліджень ПОЕП, які забезпечують можливість заміни налаштування на виконання функцій по опрацюванню зображень, одночасно з їх перетворенням, під конкретне завдання у реальному часі у самому ПОЕП, для підвищення ефективності перетворення і попереднього опрацювання зображень в ОЕП.

Ключові слова: Оптоелектронні інформаційні пристрої (ОЕП), первинні оптоелектронні перетворювачі (ПОЕП), інтегральні структури метал-нітрид-оксид-напівпровідникова підкладка, що містить n-p-перехід (МНОН-n-p структури), інформаційна ефективність.

ВСТУП

Оптоелектронні інформаційні пристрої (ОЕП) призначені для перетворення зображень, поданих за допомогою аналогових або бінарних двомірних оптичних сигналів, в цифрові електричні сигнали і для їх попереднього опрацювання у комп'ютерних інформаційно-вимірювальних системах (КІВС). При науково-технічних дослідженнях ОЕП розглядають, як багатофункціональні програмовані системні перетворювачі інформації, які залежно від призначення та використання для розв'язування кожної задачі дозволяють розподіляти етапи алгоритмів перетворення і опрацювання зображень між оптичними, оптоелектронними, аналоговими електронними, аналого-цифровими і цифровими обчислювальними електронними блоками. Традиційно проблеми підвищення точності та швидкодії вказаних функціональних блоків ОЕП вирішувалися і частково вирішуються тепер за рахунок застосування більш досконалої елементної бази. Проте за умов, коли можливості електронної технології на певному етапі вичерпані [1], виникає необхідність удосконалення принципів побудови і методів використання ОЕП, визначення оптимальних параметрів і характеристик первинних оптоелектронних перетворювачів (ПОЕП) таких пристроїв для кожного конкретного завдання (галузі застосування) з метою спрощення вимог до аналого-цифрових і до цифрових електронних блоків ОЕП [2]. Відомо що, універсальні ПОЕП для перетворення зображень на основі пристроїв із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) і на основі матриць: комплементарні структури – метал – оксид – напівпровідник (КМОП) і універсальні комп'ютери не забезпечують перетворення і попереднього опрацювання зображень в реальному часі, а також потрібної продуктивності і достовірності опрацювання інформації в комп'ютерних інформаційно-вимірювальних системах (КІВС). Великий внесок у формування наукових основ створення ПОЕП для опрацювання зображень однозначно з їх введенням/виведенням зробили дослідження, проведені у Вінницькому національному технічному університеті під керівництвом професора В.П.Кожем'яко [3]. Огляд і аналіз результатів проведених у цьому напрямку досліджень показав, що успіхи досліджень нерозривно пов'язані з вирішенням задачі підвищення пропускної здатності ПОЕП. Тому велике значення має апаратна реалізація основних функцій попереднього опрацювання зображень одночасно з їх

перетворенням в ПОЕП нових типів, які можуть виконувати окрім зчитування просторового або часового розподілу інтенсивності або фази оптичного випромінювання ще і функції, що застосовуються при попередньому опрацюванні оптичних зображень [4]. Коли на вході ОЕІП є вхідний оптичний сигнал, в якому тільки частина елементів зображення містить корисну інформацію, тоді виникає необхідність попереднього опрацювання такого сигналу з метою виділення корисної інформації і узгодження інформаційної ефективності блоків ОЕІП. Тому в даній роботі показана можливість виконання операцій, котрі використовуються в алгоритмах опрацювання зображень, за допомогою розроблених і досліджених ПОЕП на основі інтегральних МНОН-п-р структур і здійснена оцінка їх інформаційних параметрів - пропускну здатності і ефективної продуктивності.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЕІП

Вітчизняний та зарубіжний досвід розробок та експлуатації ОЕІП, показує, що для ефективного опрацювання оптичних зображень в КІВС є актуальним розв'язок задач, пов'язаних з розробкою і дослідженням нових наукових фізико-технологічних та алгоритмічних основ побудови і нових наукових підходів до проектування апаратних засобів і програмного забезпечення ОЕІП в напрямку поєднання досягнень технології інтегральних мікросхем з перевагами оптичних методів перетворення і опрацювання зображень. Однак відсутність теоретичних основ побудови, методів аналізу і синтезу апаратних засобів ОЕІП, спеціалізованих для виконання функцій попереднього опрацювання зображень одночасно з їх перетворенням, не дозволяє суттєво підвищити інформаційну ефективність ОЕІП. У зв'язку з цим, для вдосконалення теоретичних основ побудови та методів підвищення інформаційної ефективності ОЕІП, є актуальним розв'язок задач, пов'язаних з розробкою і дослідженнями ПОЕП, в яких забезпечується можливість заміни налаштування на виконання функцій по опрацюванню і одночасному перетворенню зображень під конкретне завдання в реальному часі в самому ПОЕП. Це викликає необхідність розробок і дослідження фоточутливих елементів ПОЕП, які суміщують функції перетворення і попереднього опрацювання зображень. Для розв'язку задач, пов'язаних з розробкою і дослідженнями ПОЕП з розширеними функціональними можливостями для попереднього опрацювання зображень проведено аналіз відомих методів використання МДН-структур і розроблено принципи побудови і методи використання оптоелектронних інформаційних пристроїв, які можуть виконувати окрім перетворення оптичного випромінювання в цифрові електричні сигнали ще і операції додавання, віднімання, перемноження та порогового сприйняття зображень.

У результаті проведеного аналізу розробок і досліджень встановлено, що основна перевага від використання ПОЕП на основі інтегральних МНОН-п-р структур для опрацювання оптичних зображень порівняно із ПОЕП на основі ПЗЗ і МДП-фотодіодів полягає у можливості проводити опрацювання зображення в момент його сприйняття в самому ПОЕП. А за рахунок електричного управління при нагромадженні заряду в діелектрику інтегральні МНОН-п-р структури, доповнені електрично керованими ключами, дозволяють розв'язувати деякі задачі, пов'язані з опрацюванням аналогових сигналів при динамічному діапазоні 40 дБ оптичних і електричних сигналів, що опрацьовуються [5]. Це дозволяє істотно скоротити ємність оперативних запам'ятовуючих пристроїв і розвантажити канали введення зображення в КІВС, і отже, істотно зменшити вимоги до швидкодії усіх основних блоків сполучення КІВС з об'єктами управління, а також реалізовувати нові апаратно-програмні методи для попереднього опрацювання зображень. Наукова новизна одержаних результатів і положень, полягає у вдосконаленні теоретичних основ побудови ОЕІП та логічних і алгоритмічних основ організації зв'язків їх функціональних блоків для підвищення інформаційної ефективності ОЕІП на основі подальшого розвитку теоретичних розробок нових принципів побудови, аналізу і синтезу апаратних засобів і оптимізації структури програмного забезпечення ОЕІП, які паралельно і одночасно з перетворенням оптичного випромінювання виконують ще і операції попереднього опрацювання зображень, з метою забезпечення більш раціонального вибору структурної схеми ОЕІП і їх серійного виробництва методами сучасної технології інтегральних мікросхем. Вперше обґрунтовано, запропоновано та розроблено модель функціонування ОЕІП на основі ПОЕП, які забезпечують можливість заміни налаштування на виконання функцій по опрацюванню і одночасному перетворенню зображень під конкретне завдання в реальному часі в самому ПОЕП. Модель дозволяє оптимізувати процес перетворення і опрацювання зображень і теоретично обґрунтувати структуру відповідних алгоритмів. Виконано теоретичне обґрунтування та запропоновано принципи створення ОЕІП нових типів на основі аналізу і синтезу ПОЕП, які забезпечують можливість заміни налаштування на виконання функцій по опрацюванню одночасно з перетворенням зображень під конкретне завдання в реальному часі в самому ПОЕП, для підвищення ефективності перетворення і попереднього опрацювання зображень в ОЕІП. Вперше розроблено

імітаційні моделі ПОЕП за допомогою яких одержано аналітичні вирази для врахування специфіки побудови основних технічних параметрів і характеристик ПОЕП на основі оцінювання і визначення поточних значень їх інформаційної ефективності, що дозволяє розширити можливості ПОЕП для виконання функцій попереднього опрацювання зображень одночасно з їх перетворенням. Запропоновано, обґрунтовано і розроблено метод синтезу фоточутливих елементів ПОЕП, які забезпечують можливість заміни налаштування на виконання функцій по опрацюванню і одночасному перетворенню зображень під конкретне завдання в реальному часі в самому ПОЕП, за рахунок керування режимами запису, витирання, зчитування і порівняння зображень в ПОЕП, як оптичними так і електричними сигналами для створення методології їх реалізації засобами сучасної технології інтегральних схем. Встановлено, що найбільшу кількість енергії випромінювання, при виконанні вказаних операцій попереднього опрацювання зображень необхідно для здійснення функції оптичного управління записом інформації в інтегральній МНОН-n-p структурі, при цьому розрахунковий поріг чутливості при виконанні вказаної функції становить величину $\sim 10^{-6}$ Дж/см², а за експериментально підтверджений $\sim 10^{-5} \div 10^{-4}$ Дж/см² [6].

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для практичної апробації результатів теоретичного аналізу інформаційних процесів запропоновано використати багатофункціональні фоточутливі елементи побудовані на основі інтегральних структур: метал-нідрид-оксид-напівпровідникова підкладка, яка містить n-p перехід (МНОН-n-p структур) [5]. Для експериментального дослідження процесів, що протікають в інтегральних МНОН-n-p структурах під дією оптичних і електричних впливів, перевірки працездатності функціональних елементів ПОЕП розроблено, досліджено і реалізовано методологічні, алгоритмічні та програмно-апаратні засоби для побудови системи експериментальних досліджень. Розроблено автоматизовану експериментальну установку для дослідження інтегральних фоточутливих структур [7, 8], яка дозволяє на першому етапі отримати інформацію про параметри функціональних елементів, які характеризують їх функціональні властивості і визначають їх працездатність; а на другому етапі - провести перевірку внутрішніх параметрів в ПОЕП з урахуванням конструктивних особливостей конкретних варіантів їх виконання і даних про параметри багатофункціональних фоточутливих елементів, отриманих на першому етапі досліджень.

Типові результати експериментальних досліджень функціональних елементів на основі 6-ти інтегральних МНОН-n-p структур в режимах функціонування первинного оптоелектронного перетворювача показано на Рис. 1. Запис інформації здійснювали подачею імпульсів напруги -30 В тривалістю 50 мкс на спільний напівпрозорий металічний керуючий електрод (Ni) і одночасно освітлювали вибрану МНОН-n-p структуру імпульсами випромінювання відповідного напівпровідникового лазера 32ЛД-101В ($\lambda=0,85$ мкм, середня потужність $P=(10 \div 15) \times 10^{-3}$ Вт) сформованими у "пачки" тривалістю $t_{\phi}=30$ мкс (Рис. 1 в-ж)).

При витиранні інформації на спільний напівпрозорий металічний електрод подавали імпульс напруги $+30$ В тривалістю 50 мкс і одночасно відповідну МНОН-n-p структуру освітлювали (тривалість "пачки" імпульсів випромінювання $t_{\phi}=30$ мкс). Для зчитування записаної інформації на напівпрозорий електрод структури (Ni) подавали імпульси напруги величиною -10 В і послідовно в часі структури освітлювали (Рис. 1 а). Факт переключення МНОН-n-p структури реєстрували за зміною струму підзарядки діелектрика тунельно-тонкий оксид (SiO₂) - нітрид кремнію (Si₃N₄) зовнішнім джерелом напруги (Рис. 1 б), г), е). Після синхронізованої подачі імпульсів напруги негативної полярності з імпульсами випромінювання (Рис. 1 в) на дві середні структури, фотострум від них суттєво зменшується (Рис. 1 г). Одночасне освітлення і подача імпульсу напруги $+30$ В позитивної полярності призводить до відновлення попереднього значення фотоструму на одній із переключених структур (Рис. 1 е).

В загальному випадку в розробленому ПОЕП можна здійснювати такі функції:

- оптичне управління режимами запису чи витирання інформації оптичними діями $E(X_1, Y_1, t)$;
- електричне управління режимами запису чи витирання інформації електричними діями $V_{вх}(X_{1n}, Y_{1m}, t)$;
- паралельне чи послідовне не руйнуюче оптичне зчитування результатів опрацювання зображення оптичними діями $E(X_1, Y_1, t)$ чи $E(X_{1n}, Y_{1m}, t)$;
- паралельне чи послідовне неруйнуюче електричне зчитування результатів опрацювання зображення електричними впливами $V_{вх}(t)$ чи $V_{вх}(X_{1n}, Y_{1m}, t)$;
- довготривале зберігання записаної інформації за рахунок нагромадження зарядів $Q_N(X_{1n}, Y_{1m})$ в нітриді кремнію функціональних елементів.

Час виконання різноманітних функцій в інтегральних МНОН-п-р структурах істотно відрізняються:

- електрично керовані запис і витирання інформації

$$t_{A.E}^{C.N} \div t_{A.A}^{C.N} = 5 \cdot 10^{-7} \div 5 \cdot 10^{-6} \quad [\tilde{n}];$$

- оптично керовані запис і витирання інформації;

$$t_{O.E}^{C.N} \div t_{O.A}^{C.N} = 5 \cdot 10^{-6} \div 5 \cdot 10^{-5} \quad [\tilde{n}];$$

- оптичне і електричне зчитування інформації.

$$t_E^x \div t_A^x = 5 \cdot 10^{-6} \div 5 \cdot 10^{-5} \quad [\tilde{n}].$$

Отже, еквівалентна пропускна здатність ПОЕП на основі інтегральних МНОН-п-р структур, при виконанні функцій:

а) оптичного управління при паралельному запису і витиранні інформації складає величину:

$$F_o^{C.A} \approx 2 \cdot 10^8 \div 2 \cdot 10^{10} \quad [\text{а}^3 \text{ò} / \tilde{n}];$$

б) електричного управління при паралельному запису і витиранні інформації

$$F_E^{C.A} \approx 2 \cdot 10^9 \div 2 \cdot 10^{11} \quad [\text{а}^3 \text{ò} / \tilde{n}];$$

в) оптичного і електричного паралельного зчитування інформації

$$F_{o.E}^x \approx 2 \cdot 10^9 \div 2 \cdot 10^{11} \quad [\text{а}^3 \text{ò} / \tilde{n}].$$

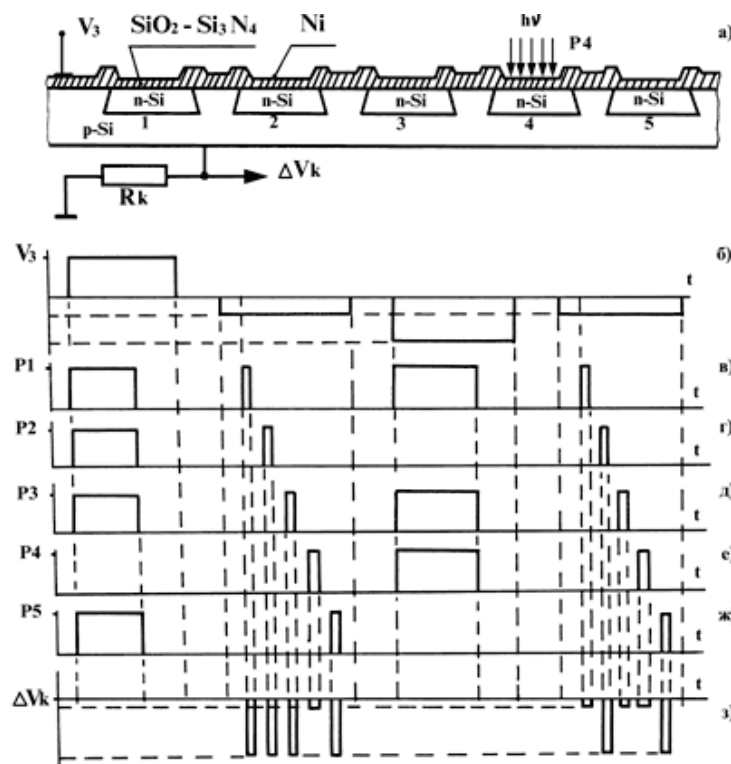


Рис. 1. а) Поперечний переріз ПОЕП на основі багатофункціональних фоточутливих елементів - лінійки інтегральних МНОН-п-р структур;

б) імпульсна напруга, що подається на структуру при перевірці працездатності ПОЕП за допомогою розробленої автоматизованої експериментальної установки;

в) – ж) імпульси випромінювання, що подаються на перший функціональний елемент – в), другий – г), третій – д), четвертий – е), п'ятий – ж);

з) інформація, яка зчитується з інтегральної МНОН-п-р структури.

В умовах масового використання, під час рішення чітко визначених завдань опрацювання зображень, КІВС, в яких використовуються ПОЕП на основі інтегральних МНОН-п-р структур, можуть бути відповідним чином оптимізовані за рахунок підвищення експлуатаційних характеристик ПОЕП і розробки нових, нетрадиційних алгоритмів опрацювання зображень. Зокрема такі перетворювачі можна застосовувати для виконання операцій перемноження, додавання і віднімання зображень в момент їх сприйняття. Таким чином, ОЕП на основі інтегральних МНОН-п-р структур можна ефективно використовувати при вирішенні широкого класу задач промислової автоматики і систем керування, пов'язаних із опрацюванням оптичних зображень в реальному часі.

ВИСНОВКИ

Удосконалено методологію проектування ПОЕП і вперше запропоновано, обґрунтовано і розроблено моделі основних режимів функціонування багатофункціональних фоточутливих елементів для підвищення інформаційної ефективності ПОЕП за рахунок одночасного і паралельного виконання за один такт, одночасно з перетворенням зображень, операцій: додавання, віднімання, множення і порогового сприйняття двомірних зображень безпосередньо в ПОЕП. Моделі дозволяють оптимізувати процес перетворення і опрацювання зображень і теоретично обґрунтувати структуру відповідних алгоритмів.

Розроблено, створено і експериментально досліджено багатофункціональні фоточутливі елементи ПОЕП нових типів, які забезпечують можливість заміни налаштування на виконання функцій по опрацюванню і одночасному перетворенню зображень під конкретне завдання в реальному часі в самому ПОЕП, котрі використано для підвищення ефективності виконання операцій: перемноження зображень у видимому діапазоні довжин хвиль $\sim 10^9 \div 10^{11}$ операцій/с, додавання і віднімання зображень $\sim 10^8 \div 10^{10}$ операцій/с, а також порогове сприйняття зображень $\sim 10^9 \div 10^{11}$ операцій/с, одночасно з перетворенням оптичного зображення безпосередньо в ОЕП, при пороговій енергії оптичного випромінювання $\sim 10^{-6}$ Дж/см².

Проведено спеціальне фізико-технологічне моделювання та спеціальні експериментальні дослідження ПОЕП, результати яких використано для доведення можливості застосування технологічних процесів серійних МДП інтегральних схем при виробництві розроблених ПОЕП.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Азаров О.Д. Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення [монографія]. /О.Д. Азаров; Вінницький національний технічний університет. – Вінниця: УНІВЕРСУМ –2004. – 257 с. Бібліогр.: 260 назви та в підрядк. прим - ISBN 966-663-178-4.
2. Кожем'яко В.П., Павлов С.В., Станчук К.І. Оптико-електронні методи та засоби для обробки та аналізу біомедичних зображень [монографія]. / В.П.Кожем'яко, С.В. Павлов, К.І. Станчук; Вінницький національний технічний університет // – Вінниця: УНІВЕРСУМ –2006. – 203 с. Бібліогр.: 187 назви та в підрядк. прим – ISBN 966-641-209-8.
3. Дудикевич В.Б., Литвин І.С. Попередня обробка інформації в ОЕП / В.Б Дудикевич., І.С.Литвин // Вісник ДУ «Львівська політехніка» «Автоматика, вимірювання та керування» // Львів. -1998. №356. - С.54-61. — Бібліогр.: с. 61.
4. Литвин І.С. Інтегральні світлочутливі структури для реєстрації, опрацювання і зберігання даних / І.С.Литвин // Тези доповідей міжвузівської науково-технічної конференції “Прогресивні інформаційні технології в науці та освіті” / Вінниця. – 2007. С.76-81. — Бібліогр.: с. 81.
5. Литвин І.С. Фотоелектричні характеристики і параметри інтегральних МНОН-п-р структур /І.С.Литвин //Збірник тез доповідей національного університету „Львівська політехніка” -2007. С. 28.
6. Литвин І.С. Технічне забезпечення для експериментальних досліджень параметрів функціональних елементів інтегральних оптоелектронних пристроїв /І.С.Литвин // Вісник національного університету „Львівська політехніка” - „Вимірювальна техніка та метрологія”. - 2007. №67. - С. 83-89. Бібліогр.: с. 89.
7. Литвин І.С. Автоматизована експериментальна установка для дослідження інтегральних фоточутливих структур /І.С.Литвин //Вісник національного університету „Львівська політехніка” - „Автоматика, вимірювання та керування”. – 2007. №574. - С. 51-56. Бібліогр.: с. 56.

Надійшла до редакції 14.10.2008р.

ЛИТВИН І.С. - к.т.н., доцент каф. автоматизованих систем і програмування, Тернопільський національний економічний університет, Тернопіль, Україна.