

УДК 004.27

**В. П. Кожем'яко, д. т. н., проф.; О. А. Іванов; І. А. Іванов****ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ФОТОННИХ КРИСТАЛІВ У СУЧАСНИХ СИСТЕМАХ ОБРОБКИ ДАНИХ**

*На сьогодні актуальним є збільшення продуктивності обробки інформації з використанням сучасних нанотехнологій та новітніх досягнень у галузі оптоелектроніки. Фотонні кристали мають усі необхідні властивості, які здатні забезпечити повну або часткову заміну відомих систем обробки. Але не зважаючи на ряд переваг такого роду систем, нерозв'язною залишається проблема узгодження нових елементів з уже відомими.*

**Ключові слова:** фотонні кристали, обробка даних, нанотехнології, оптоелектроніка.

**Актуальність**

Сучасні тенденції розвитку систем обробки інформації з кожним роком потребують збільшення швидкості та якості обчислень, які виконують сучасні комп'ютери. Традиційно цю проблему розв'язували збільшенням показників тактової частоти, збільшенням обсягу оперативної пам'яті, розробкою нових математичних методів обробки та аналізу. Але на сьогодні збільшення кількісних характеристик уже не задовольняє сучасні вимоги. Необхідні глибокі якісні зміни для створення принципово нових систем обробки даних.

Поставлену проблему автори пропонують розв'язувати таким чином:

- а) введенням на всіх етапах обробки інформації оптоелектронної елементної бази;
- б) синтезом оптичних елементів, на базі фотонних кристалів, аналогів відомих електричних.

На сьогодні відсутні фундаментальні роботи, які поєднали б у єдине, ціле всі досягнення в галузі оптоелектронної схмотехніки та нанотехнологій. Саме із цих міркувань, стаття, присвячена розв'язку цієї проблеми, є актуальною.

**Мета досліджень** – аналіз відомих систем обробки даних і пошук шляхів інтеграції в них оптоелектронної елементної бази на фотонних кристалах.

Завдання досліджень:

1. Провести огляд та показати основні властивості фотонних кристалів.
2. Проаналізувати можливість введення елементів на основі фотонних кристалів у сучасні системи обробки та аналізу даних.

**Розв'язання завдання**

На сьогодні розвиток обчислювальної техніки неможливий без одночасного розвитку елементної бази. В основу майбутньої елементної бази для ЕОМ будуть покладені фотонні кристали, оскільки вони є найвдалішим розв'язком для реалізації оптичних інтегральних схем.

Фотонні кристали (ФК) – це штучні періодичні діелектричні або напівпровідникові структури (матеріали) із забороненою зоною, що перешкоджає поширенню світла у визначеному частотному діапазоні [1, 2]. Створюючи точкові дефекти в такого роду структурах, можна реалізувати так звані «фотонні пастки», у яких поширення світла не можливе за їхніми межами. Створюючи комбінації точкових дефектів, можна реалізувати основні елементи сучасних електричних схем у фотонних кристалах, що дозволить значно підвищити продуктивність і якість обчислень [2].

Залежно від кількості напрямків неоднорідності ФК поділяють на одновимірні,

двовимірні та тривимірні фотонні кристали.

Одновимірний фотонний кристал можна отримати почерговим нанесенням діелектричних шарів із різним показником заломлення, так зване Брегівське дзеркало. Наприклад, пара діелектриків  $SiO_2/TiO_2$  при нанесенні 5 парних шарів дає коефіцієнт відбиття близько 99%.

Двовимірний ФК отримують, формуючи періодичну структуру із вертикальних стержнів кремнію ( $Si$ ), посаджену на підкладку із діоксиду кремнію ( $SiO_2$ ), або з використанням макропористого кремнію, у структурі якого прибирають "зайві" макропори.

Тривимірні фотонні кристали є регулярно-симетричною структурою, яка складається із кубів або сфер, розташованих у кубічному порядку.

На рис. 1 представлено схематичне зображення фотонних кристалів.

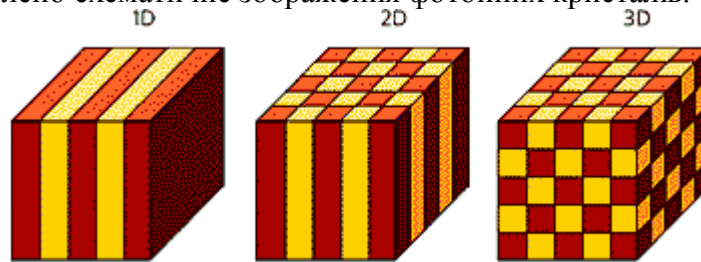


Рис. 1. Типи фотонних кристалів

Фотонні кристали можуть бути використані для розв'язання глобальних проблем, таких як створення надпотужних комп'ютерів на основі фотонних інтегральних схем (ФІС). Також для низки складних функціональних задач, таких як: поворот променя на  $90^\circ$ , перетин двох хвилеводів, фільтрація окремої світлової хвилі із загального потоку та багато інших [3].

Розглянемо проблему, яка виникає під час прокладання волоконних ліній зв'язку, – поворот волокна. Поворот оптичного хвилеводу, при якому втрати є мінімальними, можливий лише за умови, якщо радіус буде на багато більшим, ніж довжина хвилі. Виконання цієї умови в інтегральній оптиці є досить складним завданням, особливо для довжини хвилі 1550 нм. Поворот променя в такому випадку краще розглядати у площині двовимірного фотонного кристала (рис. 2).

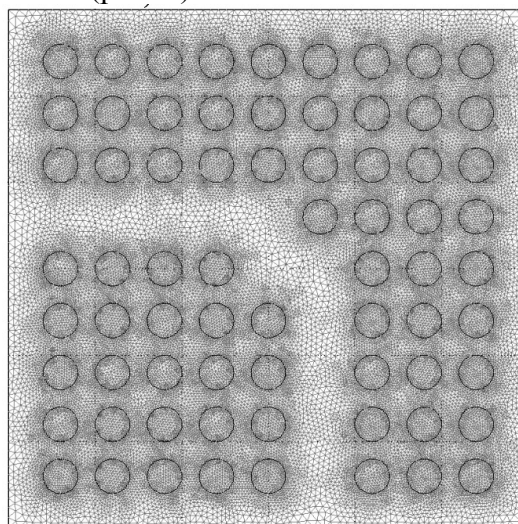


Рис. 2. Схема повороту у ФК

Ідея повороту зводиться до видалення ряду стержнів за напрямком слідування променя, таким чином створюючи лінійний дефект. Матеріали для виготовлення обирають залежно від довжини хвилі, що поширюватиметься цим каналом, зокрема для видимого діапазону використовують природний опал  $SiO_2 \cdot nH_2O$ , для інфрачервоного діапазону

використовують макропористий кремній  $SiO_2$ . У цьому випадку радіус повороту складає  $2a$ , де  $a$  – період ґратки [4]. Проблему із підключенням волоконного каналу до ФК розв'язують як безпосередній контакт каналу та кристалу, скріпленого інтегральним виконанням (рис. 3).

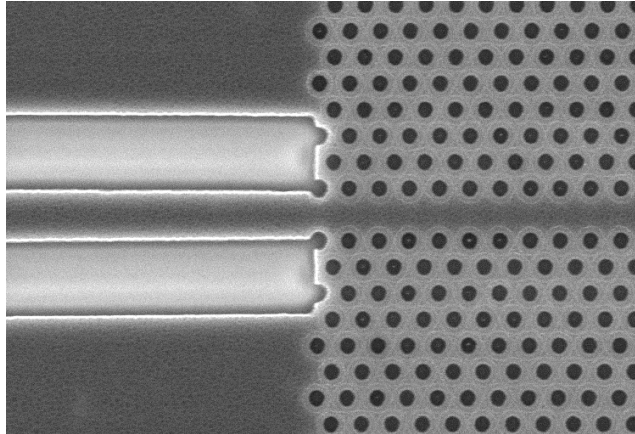


Рис. 3. Підведення інтегрального хвилеводу до ФК

Така реалізація повороту дозволяє суттєво заощадити на ресурсах, використовуючи замість волокна ФК, зменшує в декілька разів розміри схеми та мінімізує ймовірність втрати сигналу чи його послаблення.

Передумовою для створення фільтра на основі фотонних кристалів стали технології DWDM та HDWDM. В основу покладено завдання виділення із загального потоку несучих хвиль окремо заданої хвилі для її обробки, маршрутизації і т. д. Традиційні смугові фільтри для цих завдань є непридатними, оскільки мають широкую смугу пропускання та низьку добротність, що призводить до необґрунтованих втрат [2]. Однією з відомих властивостей фотонного кристалу є селективність при пропусканні світлових хвиль, що досягається за рахунок створення резонансних дефектів у структурі кристалу, як показано на рис. 4.

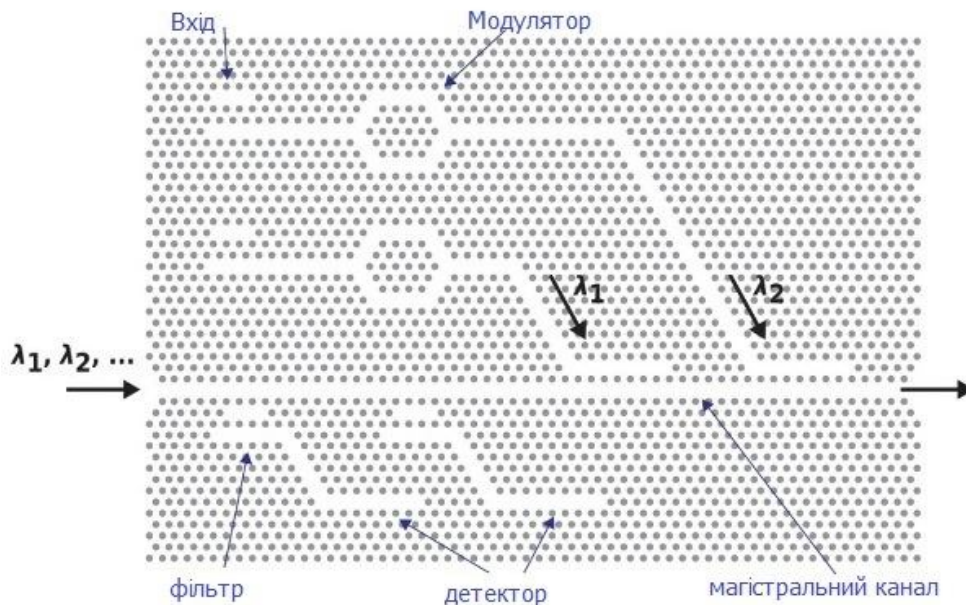


Рис. 4. Фільтрація хвиль структурою на основі фотонного кристала

Такий підхід дозволяє вилучати із магістрального каналу сигнал з певною довжиною хвилі, при цьому не створюючи завад для решти хвиль, що в ньому поширюються. Також це дає можливість реалізувати введення в магістральний канал сигналу за умови, що його поширення не заборонено.

У сучасних інформаційних системах обробку даних виконують в електричному форматі, тобто на класичних схемах із використанням електричних мікропроцесорів, які є обмеженими за швидкістю та архітектурною реалізацією, обмін між структурними елементами цих систем виконується із використанням оптичних технологій, зокрема волокна. Складається ситуація, за якої інформація спочатку обробляється, кодується в оптичний сигнал, передається, декодується і знову піддається обробці в електричному форматі. Подвійне перетворення інформації з оптичної в електричну і навпаки є основною проблемою, і для її розв'язання автори пропонують використати фотонні кристали, у перспективі саме структури на їхній основі замінять нинішні процесори.

Для виготовлення самих кристалів існують усі необхідні технології та методи: починаючи від епітаксійного вирощування, закінчуючи фотолітографією. Найбільш придатним для створення кристалів, орієнтованих на ФІС, є метод двофотонної полімеризації, суть якого полягає у витравленні за допомогою лазерів неоднорідностей із розмірами в декілька нанометрів [3]. Також використання саме цього методу дозволяє будувати канали довільної довжини та складної топології (приклад наведено на рис. 5).

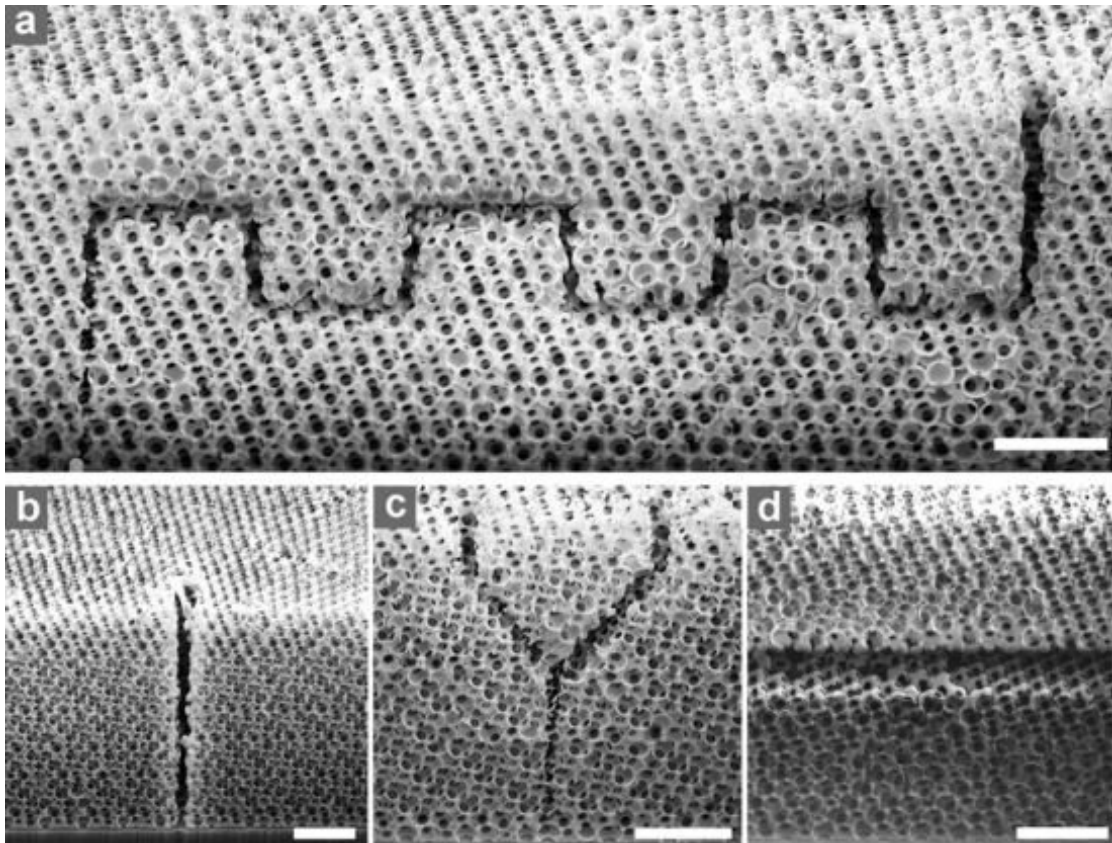


Рис. 5. Канали ФК, витравлені методом двофотонної полімеризації

### Висновки

Проведений аналіз властивостей фотонних кристалів дозволяє стверджувати, що побудова оптичних елементів та інтеграція їх у обчислювальні системи є прийнятним завданням, для якого створено всі передумови.

Простота і точність виготовлення кристалів дозволяє суттєво зменшити втрати під час передачі даних та їхньої обробки.

Виключення із циклу активних систем перетворення сигналу суттєво зменшить енергоспоживання, натомість їхнім аналогом стане фотонний кристал, дія якого ґрунтується на пасивній обробці даних із використанням селективних властивостей самого кристалу.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Photonic Crystals: Molding the Flow of Light (second edition) / [Joannopoulos John D., Johnson Steven G., Winn Joshua N., Robert D.]. – Meade Princeton University Press, 2008. – 305 p.
2. Koenderink A. F. Emission and transport of light in photonic crystals / A. F. Koenderink. – Universiteit van Amsterdam, 2003. – 178 p.
3. Sakoda K. Optical Properties of Photonic Crystals / K. Sakoda. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001. – 305 p.
4. Notomi M. Negative refraction in photonic crystals / M. Notomi. – Opt. Quantum Electron, 2002. – 133 p.

**Кожем'яко Володимир Прокопович** – д. т. н., професор, завідувач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки.

**Іванов Олексій Андрійович** – аспірант кафедри лазерної та оптоелектронної техніки.

**Іванов Іван Андрійович** – аспірант кафедри загальної фізики та фотоніки.  
Вінницький національний технічний університет.