

УДК 535.8

В.П. КОЖЕМ'ЯКО, О.А. ІВАНОВ

## ОПТИЧНО-КЕРОВАНІЙ КОМУТАТОР НА ОСНОВІ ФОТОННИХ КРИСТАЛІВ

*Вінницький національний технічний університет,  
кафедра лазерної та оптоелектронної техніки,  
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна*

**Анотація:** Проведено аналіз властивостей фотонних кристалів, можливість їх введення у системи маршрутизації даних. Представлено основні методи виготовлення кристалів та пристроїв а їх основі. Проаналізовано основні переваги та недоліки таких пристроїв.

**Анотация:** Проведен анализ свойств фотонных кристаллов, возможность их внедрения в системы маршрутизации данных. Представлены основные методы изготовления кристаллов и устройств а их основе. Проанализированы основные преимущества и недостатки таких устройств.

**Abstract:** The analysis of the properties of photonic crystals, the possibility of introducing a system of routing data. The basic methods of crystal and devices and their base. Analyzed the advantages and disadvantages of such devices.

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

### ВСТУП

Варто відзначити тенденції розвитку систем обробки інформації. Із кожним роком збільшується потреба у швидкості обчислень, які виконують сучасні комп'ютери, підвищення точності маршрутизації великих потоків даних. Традиційно цю проблему вирішували збільшенням показників тактової частоти, об'єму оперативної пам'яті, розробкою нових математичних методів обробки та аналізу. Проблему маршрутизації вирішують із застосуванням розподілених систем маршрутизації. Але на теперішній момент підняття кількісних характеристик вже не задовольняє потреби. Необхідні глибокі якісні зміни для створення принципово нових систем обробки та маршрутизації даних.

Поставлену проблему автори пропонують вирішувати наступним чином:

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

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Провести аналіз існуючих систем для маршрутизації та обробки даних. Визначити новий підхід до маршрутизації даних з використанням новітніх досягнень оптоелектроніки.

Провести огляд існуючих систем для маршрутизації та обробки даних. Визначити можливість введення фотонних кристалів та пристроїв на їх основі у системи обробки та маршрутизації даних.

### РОЗВ'ЯЗАННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

На теперішній момент розвиток обчислювальної техніки неможливий без одночасного розвитку елементної бази. В основу майбутньої елементної бази для ЕОМ будуть покладені фотонні кристали, так як вони являються найбільш вдалим рішенням для реалізації оптичних інтегральних схем.

Фотонні кристали (ФК) – це штучні, періодичні діелектричні або напівпровідникові структури (матеріали) із забороненою зоною, що перешкоджає поширенню світла в визначеному частотному діапазоні [1,2]. Створюючи точкові дефекти у такого роду структурах, можна реалізувати так звані «фотонні пастки», у яких поширення світла не можливе за їх межами. Створюючи комбінації точкових дефектів, стає можливим реалізації основних елементів сучасних електричних схем у фотонних кристалах, що дозволить значно підвищити продуктивність та якість обчислень [2]. В залежності від кількості напрямків неоднорідності ФК поділяються 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 при

нанесені 5 парних шарів дає коефіцієнт відбиття близько 99%.

Двовимірний ФК отримують формуючи періодичну структуру із вертикальних стержнів кремнію (Si), яка посаджена на підкладку із діоксиду кремнію (SiO<sub>2</sub>), або з використанням макропористого кремнію у структурі якого прибирають "зайві" макропори.

Тривимірні фотонні кристали являють собою регулярно-симетричну структуру, яка складається із кубів, або сфер розташованих у кубічному порядку. На рис. 1. представлено схематичне зображення фотонних кристалів.

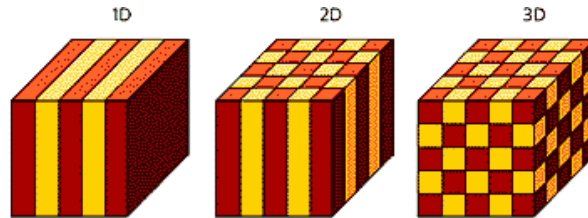


Рис. 1. Типи фотонних кристалів

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

Розглянемо проблему, яка виникає при прокладанні волоконних ліній зв'язку – це поворот волокна. Поворот оптичного хвилеводу, при якому втрати є мінімальними можливий лише при умові, що радіус буде на багато більшим ніж довжина хвилі. Виконання цієї умови у інтегральній оптиці є досить складною задачею особливо для довжини хвилі 1550 нм. Поворот променю у такому випадку краще розглядати у площинні двовимірному фотонному кристалі (рис. 2).

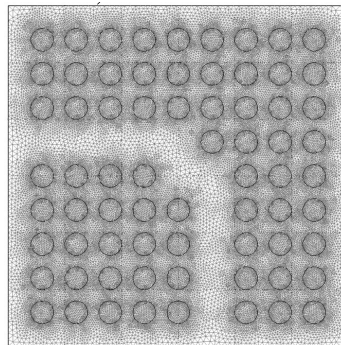


Рис. 2. Схема повороту у ФК

Ідея повороту зводиться до видалення ряду стержнів по напрямку слідування променю, таким чином створюючи лінійний дефект. Матеріали для виготовлення обираються в залежності від довжини хвилі, що поширюватиметься даним каналом, зокрема для видимого діапазону використовується природній опал  $SiO_2 \cdot nH_2O$ , для інфрачервоного діапазону використовується макропористий кремній. У даному випадку радіус повороту складає  $2a$ , де  $a$  - період ґратки [4].

Проблем із підключенням волоконного каналу до ФК реалізуються як безпосередній контакт каналу та кристалу, скріпленого інтегральним виконанням (рис. 3). Єдиним недоліком такого методу є нероз'ємність.

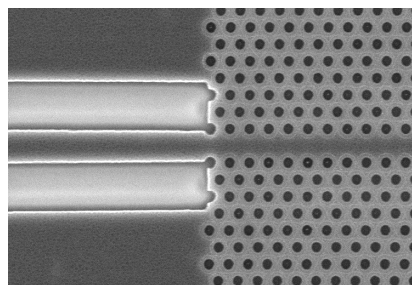


Рис. 3. Підведення інтегрального хвилеводу до ФК

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

Відомою властивістю фотонного кристалу є передача потужностей між двома суміжними каналами, що виникає в наслідок резонансних властивостей каналів. Ефект подібний до того, що виникає під час контакту двох жил оптичного волокна (рис.4)

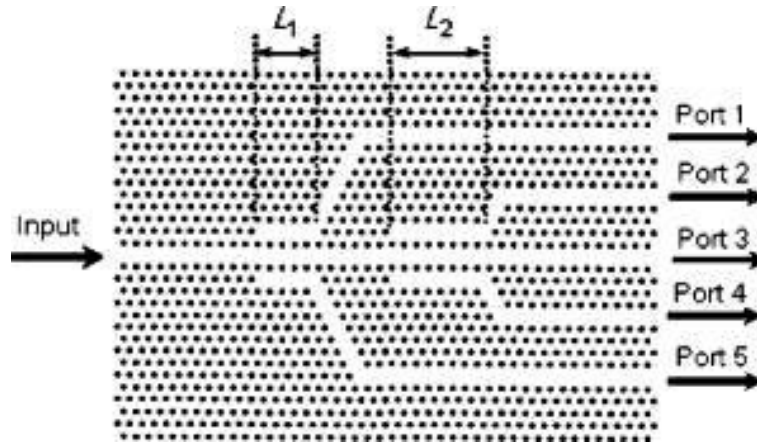


Рис. 4. передача потужностей у ФК

Така структура може бути використана для пасивної фільтрації, за довжиною хвилі. Тобто лише сигнал із довжиною хвилі, що відповідає параметрам суміжного каналу, може бути виділений із магістрального потоку. Виділення сигналу проходить, за рахунок передачі потужності і повністю завершується при проходженні сигналом ділянки довжиною  $L$ . Для кожної довжини хвилі параметр  $L$  є різною величиною, що дозволяє в одному кристалі виділяти декілька хвиль[4].

У представленого методу є ряд недоліків один з них – це відсутність керування при передачі потужності, та залежність від параметру  $L$ . Це впливає на ефективність використання простору кристалу та керування процесом обробки. Для зменшення довжини ділянки взаємодії доцільно використати керовану систему маршрутизації. Принцип керованої передачі потужності полягає у зовнішньому впливі на ділянку переходу, що зменшує розміри останньої (рис. 5).

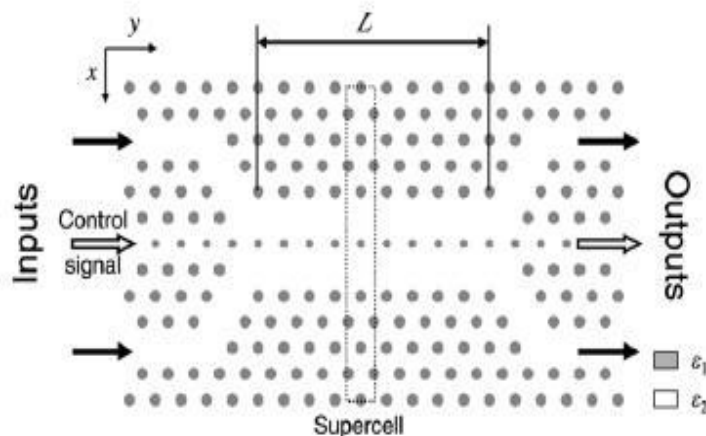


Рис. 5. Схема керованої передачі потужності

У даній системі використовується вплив оптичного випромінювання на зону переходу. Випромінювання повинно відповідати довжині хвилі, що поширюється у фотонному кристалі, за рахунок підсилення швидше відбувається перехід на обмеженій відстані. У якості джерела використовується лазер, зокрема VCSEL. Виходячи із вище наведеного можна побудувати оптично керований комутатор який буде являти собою компоновану структуру що складатиметься із масиву лазерів VCSEL, та фотонного кристалу із підготовленими каналами для маршрутизації (рис.6).

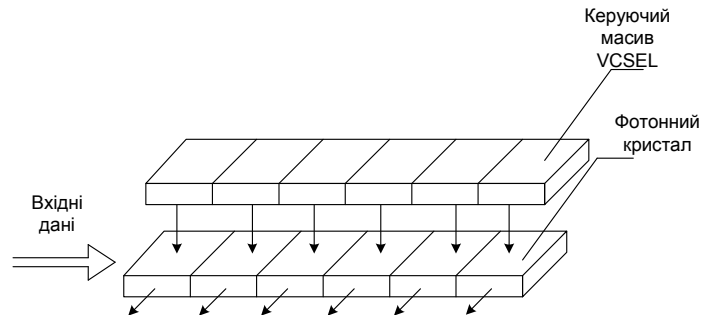


Рис. 6. Оптично керований комутатор з використанням фотонних кристалів

Провівши аналіз можна визначити основні переваги та недоліки такої схеми.

Серед переваг можна виділити наступні:

- висока швидкодія,
- зручна інтеграція,
- малі розміри;

Недоліки:

- висока вартість,
- складність виготовлення,
- високі вимоги до точності;

Незважаючи на перераховані недоліки експериментальні моделі таких систем можуть бути реалізовані. Для виготовлення кристалів оптимальним є метод тривимірної фотолітографії. Він дозволяє будувати будь-які структури із розмірами порядку десятків нанометрів. Нижче наведено фотографії отриманих 3D-фотонних кристалів виготовлених за методом тривимірної фотолітографії компанією NanoScribe. (Рис.7), та 2D-фотонних кристалів отриманих за методом двофотонної полімеризації (Рис.8) [5].

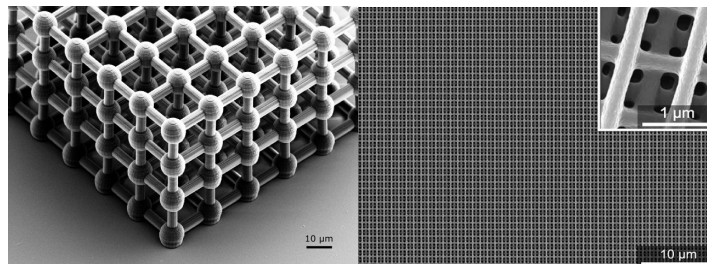


Рис.7. Трьохвимірні кристал отриманий методом тривимірної фотолітографії

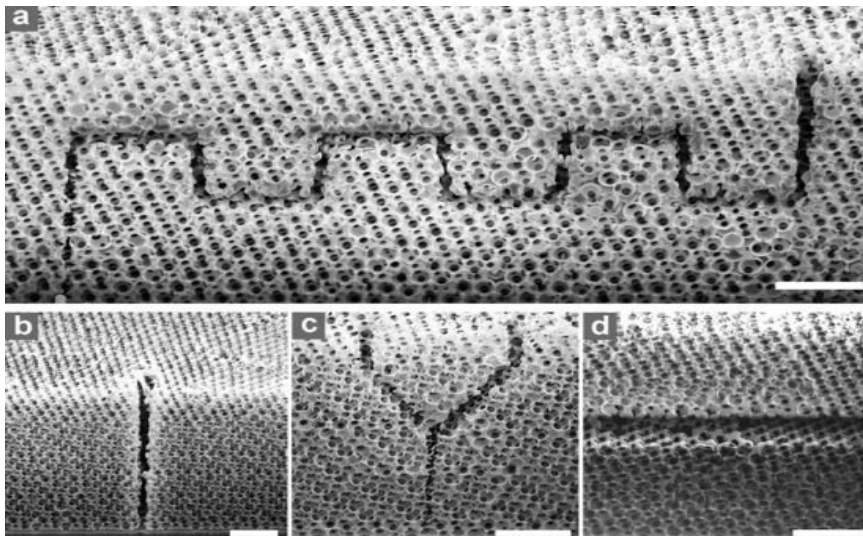


Рис. 8. Двохвимірні фотонні кристали витравлені методом двофотонної полімеризації

### **ВИСНОВКИ**

У роботі проведено аналіз властивостей фотонних кристалів, розглянуто основні положення для успішного використання елементів на їх основі. Показано, що введення фотонних кристалів у існуючі системи маршрутизації даних є прийнятною задачею. Виявлено недоліки запропонованих систем та представлено засоби для побудови керованих оптичних комутаторів.

### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. John D. Joannopoulos, Steven G. Johnson, Joshua N. Winn, and Robert D. Meade / Photonic Crystals: Molding the Flow of Light (second edition): Princeton University Press 2008, 305p.
2. A. F. Koenderink / Emission and transport of light in photonic crystals: Universiteit van Amsterdam 2003, 178p.
3. Sakoda K. / Optical Properties of Photonic Crystals: Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2001, 305p.
4. Notomi, M. / Negative refraction in photonic crystals. Opt. Quantum Electron., 2002, 133p.
5. Michael Thiel, Martin Hermatschweiler / Three-dimensional laser lithography : Optik & Photonik 4/2011, 36p.

Надійшла до редакції 29.11.2012 р.

**КОЖЕМ'ЯКО ВОЛОДИМИР ПРОКОПОВИЧ** – д.т.н., професор, завідувач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

**ІВАНОВ ОЛЕКСІЙ АНДРІЙОВИЧ** – аспірант кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.