

5. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЛУЗІ

УДК 681.325.2

Проф. В.А. Павлиш, д-р техн. наук;

доц. Л.І. Закалик, канд. техн. наук; магістрант Д.В. Невінський –
НУ "Львівська політехніка"; доц. С.Ю. Лебідь, канд. техн. наук –
Львівська філія Європейського університету

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ: ОПТИЧНИЙ МОДУЛЯТОР НА НАНОСТРУКТУРАХ

Здійснено огляд найбільш багатообіцяючих технологічних підходів до створення оптичних модулаторів на основі одновимірних (1Д) структур на фотонних кристалах (ФК), що існують сьогодні, а також надано математичне обґрунтування отриманих ефектів. Аналіз існуючих структур дає змогу зробити висновки про можливе вдосконалення характеристик майбутніх пристроїв, а також визначити напрями подальших досліджень у цій сфері. З огляду на неспинний розвиток інформаційних мереж, потреба в таких пристроях буде постійно зростати.

Ключові слова: фотонний кристал, оптичний модулатор.

Вступ. Одним із перспективних напрямів розробки інфокомунікаційних систем на сьогодні є використання оптичного сигналу для створення перемикачів, мультиплексорів, суматорів та інших компонентів. Світло в діелектричному середовищі має значно більшу рухливість, ніж електрон у провіднику і може передавати значно більшу кількість інформації за одиницю часу. Зокрема смуга пропускання оптичних систем лежить в діапазоні терагерц, а електронних систем – у діапазоні декілька ГГц, що доводить великий потенціал фотоніки для того, щоб стати основою для створення інтегральних оптичних схем. Сьогодні ведуться інтенсивні дослідження щодо використання нанорозмірних структур з цікавими нелінійними властивостями внаслідок внесення в їх структуру різних дефектів [1-3], що є аналогічним введенню домішок в напівпровідник, враховуючи те, що фотонні кристали мають заборонену зону для певних частот. Введення дефектів приводить до появи частотного рівня в забороненій зоні фотонного кристалу (ФК) і він пропускає сигнал із частотою, забороненою у ФК без дефекту.

Теоретична частина. Додавання дефектів значно підвищує нелінійність ФК, що проявляється залежно від ефективного показника заломлення від напруженості електромагнітного поля, який для ТЕ поляризації ФК з високою нелінійністю можна записати у вигляді:

$$n_{\text{еф}}(E_{\text{еф}}) = n_0 + n_1 \sqrt{|E_{\text{еф}}|^2}, \quad (1)$$

де: n_0 – лінійний показник заломлення матеріалу, n_1 – нелінійний показник заломлення. Величину електромагнітного поля $\sqrt{|E_{\text{еф}}|^2}$ можна порахувати зі співвідношення $\alpha = \sqrt{|E_{\text{еф}}|^2} / |E_0|^2$. Оскільки співвідношення полів пов'язане з модуляцією показника заломлення нелінійного шару, то його можна описати як

$$\alpha = \frac{(n_{\text{еф}} - n_0)}{n_2 |E_0|^2}. \quad (2)$$

Виходячи з цього, існує декілька способів отримання нелінійностей у ФК для створення оптичних модулаторів.

Аналіз методів формування оптичних модулаторів. Розглянемо спочатку методи формування 1Д фотонних кристалів, як можна задавати степінь їх нелінійності і як можна використати це для ефективної модуляції оптичного сигналу з метою створення оптичних модулаторів.

Група науковців з інституту технології Харбін, Китай, довели, що висока нелінійність 1Д ФК може бути досягнута за умови використання наноструктурованої плівки $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ зі структурою синусоїдного типу (рис. 1), нанесеної на скляну підкладку [4].

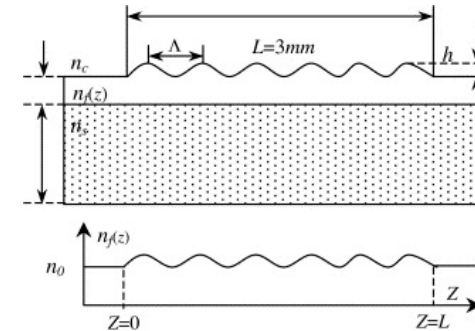


Рис. 1. Структура нелінійного фотонного кристалу синусоїдного типу і розподіл показника заломлення плівки хвилювуду [4]

Для такої плівки зі змінним показником заломлення

$$n_{\text{еф}}(x) = n_{0\text{еф}}(x) + n_1 I(\lambda), \quad (3)$$

$$n_{0\text{еф}}(x) = n_{0\text{еф}} + \Delta n \sin(kx), \quad (4)$$

де: $n_{0\text{еф}}(x)$ – ефективний показник заломлення за дуже низької інтенсивності вхідного сигналу; Δn – модульований показник заломлення 1ДФК; $k = \frac{2\pi}{T}$; I – інтенсивність світла, n_1 – нелінійний коефіцієнт заломлення. Для випадку $\Delta n \ll n_0$, поле в цій структурі буде мати дві складові:

$$\frac{dE(x)}{dx} = A(x) \exp(i\beta x) + B(x) \exp(-i\beta x). \quad (5)$$

Зміну амплітуд хвиль прямої і зворотної вздовж осі x можна описати рівняннями:

$$-\frac{dA(x)}{dx} = k B \exp(-i 2 \Delta \beta x) + Y \left(|A|^2 + 2|B|^2 \right) A \quad (6)$$

$$i \frac{dB}{dx} = k A \exp(i 2 \Delta \beta x) + Y \left(|B|^2 + |A|^2 \right) B,$$

де $\beta = \frac{2\pi n_0}{\lambda}$, $\beta_0 = \frac{2\pi n_0}{T}$, $\Delta\beta = \beta - \beta_0$, $k = \frac{\pi \Delta n}{T}$, $Y = \frac{\pi n_2}{T}$, $n_2 = \frac{12\pi \chi^{(3)}}{n}$, де $\chi^{(3)}$ – третій порядок тензора чутливості.

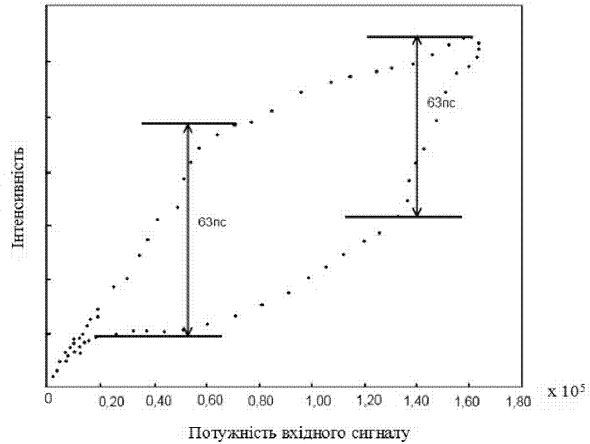


Рис. 2. Залежність вихідного сигналу від вхідного [4]

Дослідження цієї структури виявило виникнення гістерезисного ефекту в певних межах потужності вхідного сигналу. Як видно з рис. 2, межі потужності вхідного сигналу становлять від $0,2 \times 10^5$ до $1,65 \times 10^5$ Вт/см², а час перемикання – 63 псек.

Аналізуючи експериментальні дані [4], можна пояснити ефект бістабільності цієї структури динамічним ефектом у нелінійних 1Д ФК. Ці структури мають заборонену зону для певних частот, що залежить від показника заломлення, а він, своєю чергою, залежить від інтенсивності світла. Це і спричиняє гістерезисний ефект. Під час збільшення інтенсивності світла заборонена зона зсувається в сторону коротших хвиль, оскільки коефіцієнт заломлення нелінійних ФК є від'ємний. А отже, гістерезисний ефект є результатом нелінійної реакції фотонного кристалу на оптичний сигнал. Такі структури можуть бути використані як оптичні модулятори, враховуючи їх високу швидкодію і малу потужність.

1Д фотонні кристали з підвищеною нелінійністю можна також формувати на багатошарових структурах. Дослідники інституту напівпровідникової фізики НАН України запропонували багатошарову структуру з нелінійними шарами [5]. Структура зразка була сформована зі шарів різної товщини, нижня і верхня плівки – з матеріалу високої нелінійності. Під час експериментального дослідження цієї структури були виявлені цікаві залежності інтенсивності та частоти вихідного сигналу від кута, під яким направлено вхідний сигнал до структури (рис. 3). Таку структуру можна пропонувати для створення оптичних модуляторів, але вона потребує додаткових досліджень, оскільки за основу було взято структуру з товщиною плівок порядку декількох мікрон. Цікавим є те, як вплине на ці залежності зменшення товщини плівок

до десятків нанометрів. При нанометровій товщині плівок буде відчутний вплив поверхневих хвиль, що приведе до ослаблення вихідного сигналу.

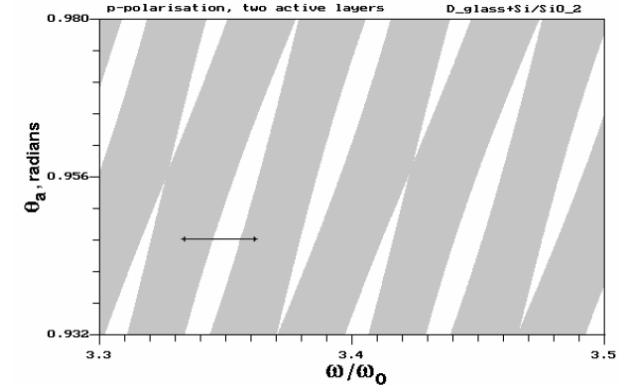


Рис. 3. Фрагмент діаграми кутової частоти для Si/SiO₂ ФК покритих нелінійними шарами, де θ_a – кут падіння, а стрілками позначено обраний діапазон оброблення [5]

Якщо використати шар із високою нелінійністю, але сформувати його всередині багатошарового 1Д ФК, то можна також отримати модуляцію вихідного сигналу. Дослідники інституту науки і технології Нара, Японія запропонували структуру з шарів оксидів кремнію і титану нанометрових розмірів із внутрішнім шаром, сформованим на квантових точках із золота товщиною 19 нм [6]. Вибирали матеріали за умови, що коефіцієнт відбивання повинен дорівнювати одиниці. У такій структурі нелінійна оптична чутливість третього порядку.

З рис. 4 видно, що залежно від кута падіння світла отримуємо або часткове, або повне відбивання. При куті падіння світла менше ніж 35° спостерігаємо широкий і невеликий пік, що свідчить про часткове поглинання і часткове відбивання. Три інші піки свідчать про максимальне поглинання.

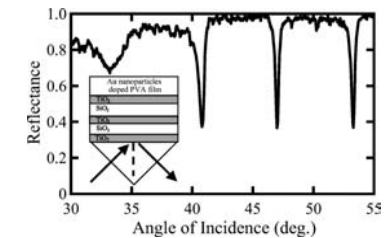


Рис. 4. Залежність коефіцієнта відбивання від кута падіння світла [6]

Ці піки досить вузькі та чутливі до невеликих змін кута падіння. Тривалість вхідного і вихідного сигналів збігаються у часі. Ця структура, порівняно з описаними вище, відзначається високою швидкодією.

Вчені Національного інституту астрофізики, оптики і електроніки, Мексики, змоделювали ефект відбивання в 1Д ФК за допомогою ін'єкції заряду. ФК складається зі сильно легованих шарів кремнію, що чергуються зі шарами оксиду кремнію. Довжина хвилі світла вважається важливою комунікаційною хвилею 1,54 мкм. Реалістичне моделювання показує, що чутлива перестройка

та перемикання може бути досягнуто для концентрації домішок $\sim 10^{19}/\text{cm}^3$ навіть для надгратки довжиною кілька періодів. Результати відбивання інтерпретувалися за допомогою розрахунків фотонної зонної структури [7]. На рис. 5 проілюстровано як відбивання перенастроюється шляхом зміни концентрації домішки: 4, 10, і 50 періодів у довжину надгратки. Період $d = 0,73$ мкм.

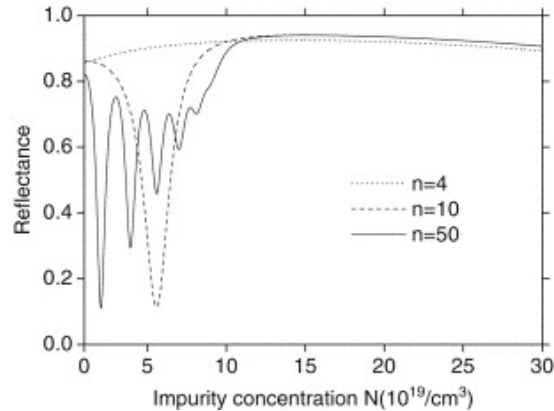


Рис. 5. Відбивання для 1Д ФК, що складається з Si та SiO₂ шарів, де шари кремнію сильно леговані [7]

Науковці коледжу Діахамбер Джаїн, Індія, запропонували нову концепцію для демультиплексорів з використанням 1Д ФК на основі кремнію з впровадженими дефектами. Принцип дії базується на зміні режимів дефектів в 1Д ФК структурах за рахунок зміни товщини дефекту з врахуванням того, що показник заломлення шару Si залежить від температури і довжини хвилі одночасно й обмежилися дослідженнями передачі оптичного зв'язку.

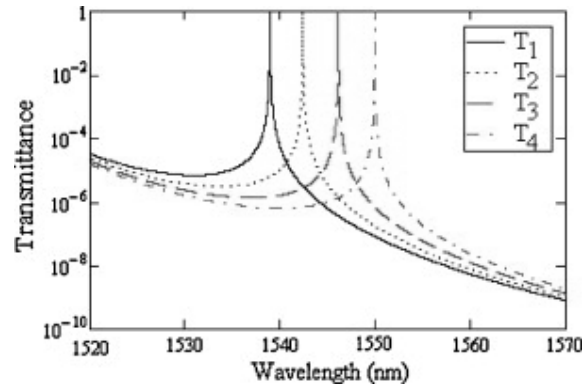


Рис. 6. Спектри пропускання ФК структури з дефектним шаром різної товщини [8]

Центральна довжина хвилі матеріалу з дефектами залежить від ширини дефектного шару, тому можна змінити центральну довжину хвилі шляхом зміни товщини дефектного шару: 1520 нм, 1525 нм, 1530,3 нм, 1535,6 нм (рис. 6).

Висновки. На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що для створення оптичних модуляторів на 1Д фотонних кристалах можна використати кожен із запропонованих методів. Але з погляду швидкодії і більш ефективної модуляції, найбільш багатообіцяючим є створення багатошарових 1Д ФК, незважаючи на те, що багатошарова структура з нелінійними зовнішніми шарами потребує додаткових досліджень на нанорозмірних плівках, а в структурі з внутрішнім дефектом не враховано виникнення поверхневих і плазмових хвиль. З точки зору технологічності простішою є структура на наноструктурованій плівці з високою нелінійністю. Отож, ідеї створення оптичних модуляторів на запропонованих структурах досить цікаві, проте нестача точної характеристики цих структур залишає багато можливостей для подальших досліджень.

Література

1. Byer R. Quasi-phase matched nonlinear interactions and devices / R. Byer // J. Nonlinear Optical Phys. And Materials. – 1997. – № 6. – Pp. 549-541.
2. Galindo-Linares E. Tuning of one-dimensional Si/SiO₂ photonic crystals at the wavelength of 1.54 μm / E. Galindo-Linares, P. Halevi, Adán S. Sánchez // Solid State Communications. – Vol. 142. – Issues 1-2. – Pp. 67-70.
3. Ding Y. Theory of backward second-harmonic and third-harmonic generation using laser pulses in quasi-phase-matched second-order nonlinear medium / Y. Ding, J. Kang, J. Khurgin // IEEE J. Quantum Electron. – 1998. – № 4. – Pp. 966-974.
4. Chen M. Optical bistable device based on one-dimensional photonic crystal waveguide / M. Chen, C. Li, M. Xu, W. Wang // Optics Communications. – 2005. – № 255. – Pp. 46-50.
5. Glushko E. All-optical signal processing in photonic structures with nonlinearity / E. Glushko // Optics Communications. – 2005. – № 247. – Pp. 275-280.
6. Inouye H. Nonlinear optical response in a total-reflection-type one-dimensional photonic crystal with gold nanoparticles / H. Inouye, Y. Kanemitsu, K. Hirao // Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures. – 2003. – Vol. 17. – Pp. 414-417.
7. Galindo-Linares E. Tuning of one-dimensional Si/SiO₂ photonic crystals at the wavelength of 1.54 μm / E. Galindo-Linares, P. Halevi, Adán S. Sánchez // Solid State Communications. – 2012 – Vol. 142. – Issues 1-2. – Pp. 67-70.
8. Kumar V. Design of a wavelength division demultiplexer using Si-based one-dimensional photonic crystal with a defect / V. Kumar, B. Suthar, Arun Kumar, Kh.S. Singh, A. Bhargava // Optik – International Journal for Light and Electron Optics. – Available online 4 October 2012. – In Press.

Павлыш В.А., Закалык Л.И., Невинский Д.В., Лебидь С.Ю. Современные информационные системы: оптический модулятор на наноструктурах

Проведен обзор наиболее многообещающих технологических подходов к созданию оптических модуляторов на основании одномерных (1Д) структур на фотонных кристаллах (ФК), существующих на данный момент, а также представлено математическое обоснование полученных эффектов. Анализ существующих структур позволяет сделать выводы о возможном совершенствовании характеристик будущих устройств, а также определить направления дальнейших исследований в этой области. Учитывая бурное развитие информационных сетей, потребность в таких устройствах будет постоянно возрастать.

Ключевые слова: фотонный кристалл, оптический модулятор.

Pavlysh V.A., Zakalyk L.I., Nevinsky D.V., Lebid S.Yu. Novel information systems: optical modulator on the nanostructures

In present paper an overview of the most promising technological approaches to creating optical modulators based on one-dimensional (1D) structures on photonic crystals (PC) that exist at the moment is proposed, and mathematical justification of obtained effects is provided. Analysis of existing structures allows to draw conclusions about possible

future devices with improved performance and identifies possibilities for further research in this area. Given the rapid development of information networks the need for such devices will continue to grow.

Keywords: photonic crystals, optical modulator.

УДК 681.518.5

Аспірант: А.І. Пукач; проф. В.М. Теслюк, д-р техн. наук; студ. Т.В. Теслюк – НУ "Львівська політехніка"

РОЗРОБЛЕННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРА СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ВЕЛИЧИНИ РЕЗИСТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ МІКРОЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Розроблено мікроконтролер на базі мікроконтролера сімейства Arduino, та відповідне програмне забезпечення (ПЗ), для спеціалізованої комп'ютерної системи (СКС) автоматичного контролю величини резистивних параметрів мікроелектромеханічних систем. Для забезпечення максимальної відповідності розробленого ПЗ апаратній складовій розробленої системи було застосовано підхід з використанням уніфікованої мови моделювання UML.

Ключові слова: система, автоматизація, контроль, MEMC, резистор, Arduino, UML, модель.

Вступ. На сьогодні основні тенденції у розвитку науки та техніки спрямовані на зниження рівня енергоспоживання, підвищення рівня портативності, мобільності, функціональності та простоти інтегрування. Забезпечити наведені критерії вдається, зокрема, за рахунок використання технологій виготовлення мікроелектромеханічних систем (МЕМС) [1-4]. Проте, із впровадженням МЕМС-технологій виникає необхідність вирішення низки актуальних завдань, серед яких і задача автоматичного контролю резистивних параметрів мікроелектромеханічних систем, спричинена мікронними розмірами їх резистивних компонентів. Вирішення даної задачі передбачає розроблення нових, або удосконалення вже існуючих, методів [6, 7] автоматичного контролю, а також спеціалізованих програмних [8, 13] та апаратних засобів [9], що враховують особливості та специфіку МЕМС-технологій.

1. Розроблення мікроконтролера спеціалізованої комп'ютерної системи. З метою розв'язання поставленої задачі автоматичного контролю резистивних параметрів мікроелектромеханічних систем розроблено спеціалізовану комп'ютерну систему, структурну схему якої зображено на рис. 1.

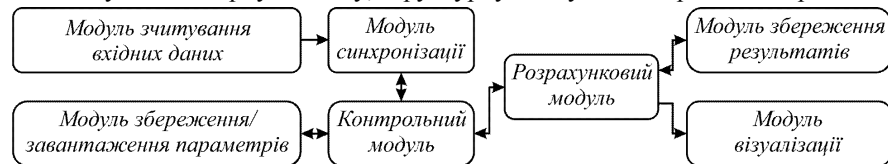


Рис. 1. Структурна схема СКС автоматичного контролю резистивних параметрів МЕМС

В основі розробленої СКС міститься "Розрахунковий модуль", що відповідає за здійснення розрахунків величини електричного опору досліджува-

ного резистивного параметра МЕМС з використанням розроблених алгоритмів та методів [6, 7].

З метою забезпечення повної автоматизації робочого процесу, коректності роботи розроблених алгоритмів та отриманих результатів необхідно є наявність певного керуючого органа, яким є розроблений мікроконтролер на базі мікроконтролера сімейства Arduino [5]. Серед основних переваг Arduino: крос-платформеність, просте та зрозуміле середовище програмування, застосування мови програмування високого рівня, наявність програмного забезпечення (ПЗ) із можливістю розширення та відкритим програмним кодом, апаратні засоби з можливістю розширення та відкритими схемами електричними принциповими, низька вартість.

Основний робочий алгоритм автоматичного контролю величини досліджуваного резистивного параметра МЕМС зображено на рис. 2.

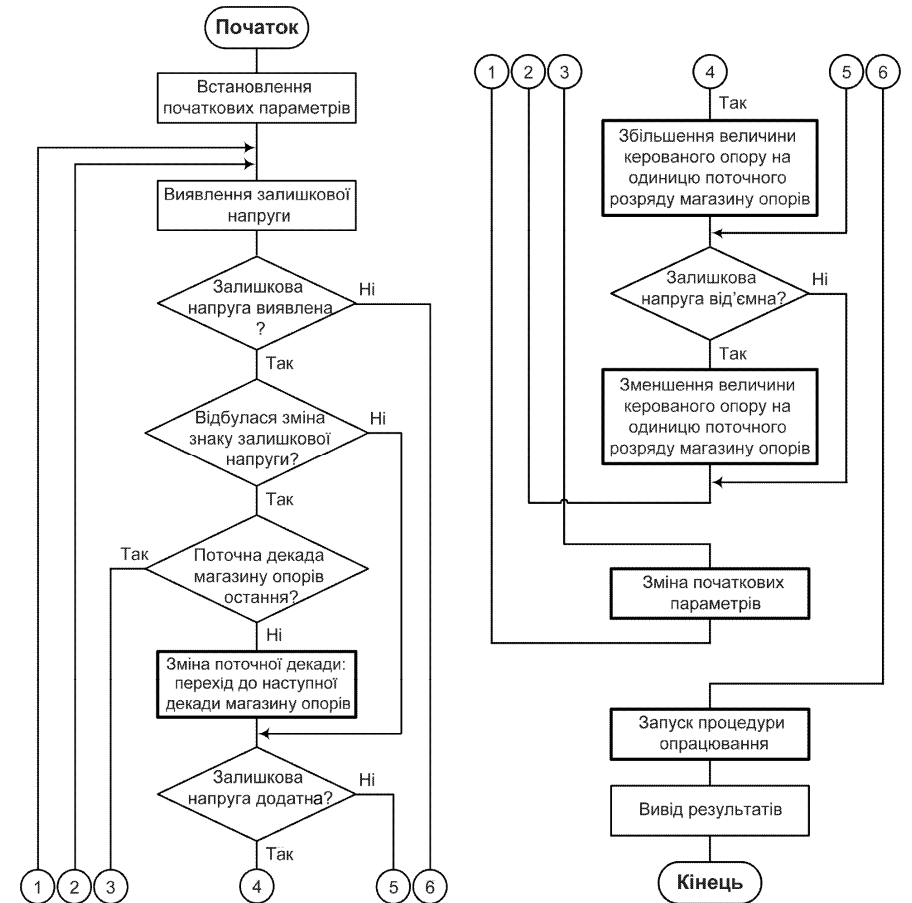


Рис. 2. Блок-схема основного робочого алгоритму