

Можливості використання структур на основі бактеріородопсину для високошвидкісної комутації оптичних сигналів та захисту інформації в оптоволоконних лініях

УДК 539.23, 538.958,
004.056.53

Іван Трикур¹, Михайло Січка², Олександр Чобаль³,
Галина Різак⁴, Василь Різак⁵

ДВНЗ «Ужгородський національний університет» ¹ivan.trikur@uzhnu.edu.ua,
²mykhaylo.sichka@uzhnu.edu.ua, ³oleksandr.chobal@uzhnu.edu.ua,
⁴galyna.rizak@uzhnu.edu.ua, ⁵vrizak@uzhnu.edu.ua

Широке використання оптичних ліній передачі та обробки інформаційних потоків актуалізує питання розробки швидкісних оптичних комутаторів. Крім того використання таких ліній потребує розробки нових методів захисту інформації в них. Один з таких методів, наприклад, передбачає формування спеціальних лінійних кодів, при передачі інформації по оптоволоконним лініям, що значно підвищує захищеність інформації при несанкціонованому доступі до лінійних споруд. Проте, при використанні постійного типу коду, виникає небезпека його перехоплення. Вирішенням проблеми може бути регулярна зміна таких лінійних кодів за псевдовипадковим законом, що потребує, знову ж таки, використання активних пристроїв - оптичних комутаторів. Для забезпечення ефективності роботи, такі комутатори повинні бути надійними, недорогими, мати високу швидкість, можливість виконання пасивних та активних оптичних елементів в інтегрально-оптичному виді. Розробка механізмів та дослідження нових матеріалів, що можуть бути використані для комутації оптичних сигналів, становить надзвичайно цікаву та актуальну задачу. Одним з елементів, який може бути успішно використаний для комутації оптичних потоків, як у класичних оптичних волокнах так і у планарних хвилеводах, можуть стати плівкові структури на основі бактеріородопсину (БР).

Метою даної роботи є систематизація, аналіз та узагальнення даних про можливості використання матеріалів на основі БР для комутації оптичних сигналів і розробки надійних високошвидкісних оптичних комутаторів.

Бактеріородопсин – фотохромний білок, який за рахунок структурної організації молекул у двомірну гексагональну кристалічну ґратку, демонструє набагато більшу, порівняно з іншими білками, фізичну та хімічну стабільність. Поглинання кванту світла з діапазону 550-630 нм приводить до збудження молекули БР, після чого, через ряд проміжних станів - інтермедіатів, вона повертається у вихідний стан. Для оптичної комутації цікаві інтермедіати J₆₁₀ (λ_{max} =610 нм, час переходу БР₅₇₀→J₆₁₀ 0,4-1 пс), K₅₉₀ (λ_{max} =590 нм, час переходу J₆₁₀→K₅₉₀ 3-5 пс), L₅₅₀ (λ_{max} =550 нм, час переходу K₅₉₀→L₅₅₀ - 1 мкс). Для запуску фоточиклу БР достатньо імпульсу світла тривалістю 0,6 пс (λ =615 нм, енергія 0,5 мДж). Описані інтермедіати є фотоактивними, тобто при дії світла, довжина хвилі якого відповідає максимуму поглинання даного інтермедіату, БР повертається у вихідну форму, минаючи наступні стадії фотохімічного циклу. Поряд з фотохімічними перетвореннями БР володіє: циклічністю більше 10⁶; високою стійкістю до лазерного випромінювання; не має періоду відновлення; відсутній

період прихованого зображення, яке вимагає додаткової хімічної обробки, що спрощує процес запису дифракційної решітки. Плівки на основі БР характеризуються світловою чутливістю 0.1 - 20 мДж/см², фотоіндукованими змінами оптичної густини при 570 нм до 95%, показника заломлення – 0,001 - 0,01. На плівках БР можливий запис голографічної решітки. При просторовій частоті 10³ мм (теоретично можлива просторова частота 10⁴ мм), дифракційна ефективність варіюється від 0.4% до 2% ($\eta_{\max}=7\%$), що забезпечує можливість розробки комутаторів, в яких перемикання реалізується за рахунок запису динамічної голограми на плівці БР, яка розташована між комутованими каналами.

С. Корпош з колективом дослідників із університету Нотінгему, продемонстрував можливість повністю-оптичного перемикання з використанням волоконно-оптичних довгоперіодних ґраток (ВОДПГ) на класичних оптичних волокнах (перехід БР₅₇₀→М₄₁₂), модифікованих БР отриманим в лабораторії УжНУ. Довжина хвилі перемикання в таких структурах визначається періодом ВОДПГ і, таким чином, може бути адаптована шляхом вибору відповідного періоду ґратки. Ефективність перемикання становила 16±1 і 32±2% для ВОДПГ і інтерферометра Маха-Цендера, занурених у розчин БР (12 мг/мл), відповідно.

Л. Фабіан з колегами із Сегедського університету продемонстрували можливість надшвидкого повністю оптичного перемикання частоти й амплітуди у планарних хвилеводах з використанням двох фотореакцій (пікосекундного переходу БР₅₇₀→К₅₉₀ і субпікосекундного переходу БР₅₇₀→J₆₁₀) фотоциклу БР. Ефективність перемикання може бути підвищена за рахунок модифікації плівкових структур на основі БР (шляхом хімічної модифікації хромофора або охолодження). Перемикання частоти може бути використане для частотного демультимплексування, найважливішої операції ширококутових оптичних інформаційних технологій, де ширококутовий імпульс може бути розділений на кілька вузьких частотних діапазонів, що дозволяє їх незалежне кодування або декодування шляхом переключення амплітуди.

Проведені авторами даної роботи вимірювання фотоіндукованих змін показника заломлення плівок БР вказують на можливість досягнення достатнього динамічного діапазону для здійснення переключень у хвилеводах на основі БР. Математичні розрахунки та аналіз інтегрально-оптичних структур, до складу яких входять плівки БР, дозволили визначити оптимальний тип структури планарного хвилеводу для створення повністю оптичного перемикача з високим динамічним діапазоном: найкраще підходить конструкція у якій при зовнішній засвітці зникає нульова мода і вся енергія з хвилеводу випромінюється через підкладку. Для створення фотоіндукованої зміни показника заломлення плівок бактеріородопсину у волоконно- та інтегрально-оптичних системах можуть бути використані компактні світлодіоди з максимумом випромінювання у видимому діапазоні спектру, де зміни показника заломлення матеріалу є найбільшими. З використанням таких пристроїв технологія повністю оптичної комутації може пересунути нинішню максимальну частоту в кілька десятків ГГц далеко за межі ТГц бар'єру.