

УДК 535.215

**ГЕНЕРАЦІЯ СУПЕРКОНТИНУУМА У
ВОЛОКОННИХ СТРУКТУРАХ ПІД ДІЄЮ
БЕЗПЕРЕРВНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ
УЛЬТРАКОРОТКИХ ІМПУЛЬСІВ**

**О. В. Осадчук д.т.н., професор, С. М. Цирульник к.т.н.,
доцент, В.А. Вознюк студент**

**Вінницький національний технічний університет
vitalik-voznjuk@mail.ru**

Генерація гранично коротких імпульсів випромінювання є однією з найважливіших проблем лазерної фізики та квантової електроніки. Зменшення тривалості імпульсу лазерного випромінювання відкриває можливості досягнення гранично високих інтенсивностей, вимірювання гранично коротких інтервалів часу та дослідження надшвидких процесів в самих різних областях науки та техніки. За роки, що минули з появи перших лазерів, досягнутий величезний прогрес як в області зменшення тривалості імпульсу, так і в області збільшення потужності та інтенсивності лазерного випромінювання. Сучасні лазери здатні генерувати імпульси тривалістю не більше 5 фс, що складає менше двох періодів хвилі випромінювання. При цьому пікова потужність лазерного випромінювання перевищує 1 ПВт, а інтенсивність при його фокусуванні - 10^{21} Вт/см².

У сучасних лініях волоконно-оптичного зв'язку в області 1,5 мкм ширина пропускання становить близько 3 ТГц. Це відповідає тривалості імпульсу ~ 100 фс, що порівняно легко реалізується в сучасних лазерах.

Поєднання лазерів ультракоротких імпульсів з

волоконно - оптичними елементами особливої структури дозволяє створювати пристрої, здатні генерувати величезну кількість вузьких строго еквідистантних ліній оптичного випромінювання з постійною інтенсивністю (так звані комб - генератори оптичних частот). Такі комб - генератори забезпечують пряме зіставлення частот оптичного діапазону з частотами мікрохвильових стандартів частоти, що дає можливість радикально вирішити проблему створення оптичних стандартів частоти.

Безперервні лазери фемтосекундних імпульсів випромінюють періодичну послідовність ультракоротких імпульсів (рис.1, а). Спектр такої послідовності імпульсів є сітка еквідистантно розташованих дискретних ліній (мод), розділених інтервалами, рівними частоті повторення імпульсів (рис.1, б). Залежність інтенсивності випромінювання від часу і частоти пов'язані Фур'є – перетворенням, тому $\Delta F \approx 1 / T$, $\delta f \approx 1/\Delta t$, $\Delta f \approx 1 / \tau$ де ΔF - частота повторення імпульсів; δf - ширина лінії; Δt - тривалість послідовності імпульсів; Δf - повна ширина спектра; τ - тривалість імпульсу. З цих співвідношень випливає, що при досить стабільній та довготривалій безперервній роботі лазер ультракоротких імпульсів випускає вузькі лінії з постійною інтенсивністю.

Можливість генерації імпульсів тривалістю менше 100 фс значною мірою обумовлена тим, що сучасні фемтосекундні лазери працюють у безперервному режимі. Це дозволяє використовувати унікальні особливості спектра їх випромінювання та реалізувати граничну тимчасову когерентність, завдяки якій відкриваються нові, дуже важливі перспективи застосування цих лазерів.

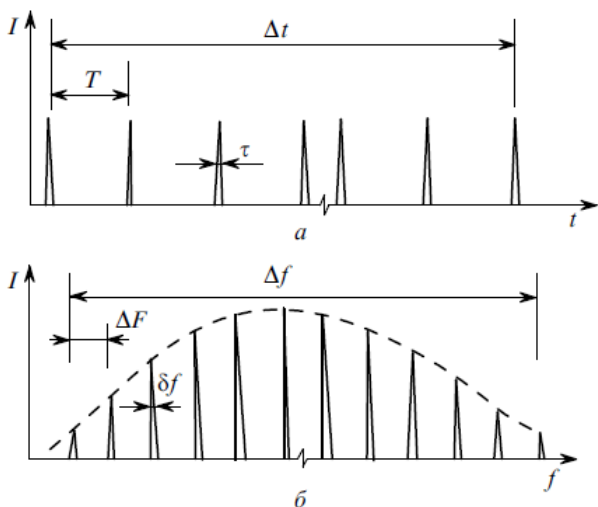


Рис.1. Залежність інтенсивності ультракоротких імпульсів I від часу t (а) та частоти f (б).

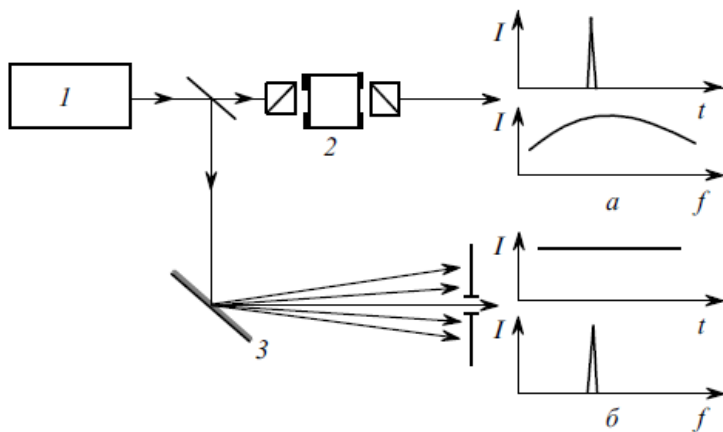


Рис.2. Залежність інтенсивності ультракоротких імпульсів I від часу t і частоти f при виділенні одиночного імпульсу (а) і одиночної лінії (б) з випромінювання безперервного лазера, що самосинхронізується модою 1 за допомогою електричного затвора 2 та монохроматора 3.

Розглянемо дві експериментальні ситуації. Нехай з безперервної послідовності ультракоротких імпульсів за допомогою електрооптичного затвора виділяється одиночний імпульс (рис.2, а). Тоді спектр випромінювання стає суцільним, а часова когерентність визначається тривалістю імпульсу. Якщо ж із спектру безперервного випромінювання треба вирізати одиночну лінію (моду) (рис.2, б), то це можна зробити за допомогою монохроматора з відповідною дифракційною ґраткою. У цьому випадку інтенсивність виділеного випромінювання стає постійною, а часова когерентність визначається тривалістю стабільної роботи лазера. Таким чином, безперервний фемтосекундний лазер є джерелом як ультракоротких імпульсів, так і гранично вузької лінії випромінювання.

Явище надпоширення спектру надкоротких лазерних імпульсів (генерація спектрального суперконтинуума) пов'язано з одночасним протіканням багатьох нелінійно-оптичних процесів-фазової само- і кроссмодуляції, вимушеного комбінаційного розсіювання, чотирьох хвильового зміщення.

Найбільш цікавими властивостями на даний час володіють генератори суперконтинуума на основі так званих мікроструктурних волокон, які відносять до фотонно-кристалічних. Ці волокна включають періодичну структуру повітряних порожнин у межах кварцової серцевини, причому в центрі знаходиться кварцове ядро.

Хвилеводний ефект в таких структурах здійснюється завдяки внутрішньому відображенню від періодичної структури «повітря-кварц» і створення широкої забороненої зони для випромінювання, що поширюється вздовж такої структури. Дані волокна володіють унікальними дисперсійними властивостями.