

ІМПУЛЬСНО-СТИМУЛЬОВАНЕ ВИМУШЕНЕ КОМБІНАЦІЙНЕ РОЗСПОВАННЯ

Розробка сучасних оптоелектронних приладів припускає наявність інформації про енергетичний спектр електронів. Саме такого роду дані визначають спектральний діапазон роботи випромінюючого або фотореєструючого елемента оптоелектронного приладу (лазера, фотоприймача). Необхідно також сказати, що дослідження оптичних властивостей середовищ, для яких нелінійні властивості є істотними, відкриває перспективи створення нелінійних приладів для сучасної оптоелектронної комутаційної та підсилювальної техніки.

Проблема розрахунку енергетичного спектру електронів в складних системах вирішується в рамках різних квантово-механічних наближень. Найбільш плідним та таким, що дозволяє отримувати кількісні дані про параметри спектрів відгуків різних нелінійних середовищ від високоінтенсивного зовнішнього впливу слід визнати підхід, що враховує процеси вимушеного імпульсно-стимульованого комбінаційного розсіювання (ІСВКР). Ці квантово-механічні явища найбільш виразно проявляються у так званих фемтосекундних експериментах типу «збудження-зондування».

Нелінійні властивості рідин та газів останнім часом інтенсивно вивчаються різними дослідниками та розробниками приладів квантової електроніки. Це обумовлено двома обставинами: по-перше, високою однорідністю і високою променевою стійкістю таких середовищ, і, по-друге, значним підсиленням їх нелінійних властивостей при наявності оптичних резонансів, чий домінуючий нелінійний відгук визначається членами третього порядку в розкладі нелінійної сприйнятливості. Принциповою особливістю середовищ, що розглядаються, є їх значний і фактично нічим необмежений просторовий розмір. Такі умови руху фотонів фактично знімають просторові обмеження, що є типовими для кристалів з їх періодичною кристалічною решіткою. Отже, в практичних застосуваннях можна використовувати більші довжини взаємодії, які дозволяють уникати високих інтенсивностей випромінювання, необхідних при роботі з відгуками третього порядку. Крім того, на рідині та газі не розповсюджуються ті обмеження щодо інтенсивності, які мають місце для твердих тіл внаслідок їх оптичного руйнування. Властивості резонансного підсилення, за допомогою яких інтенсивність нелінійної взаємодії може зрости на багато порядків, якщо частота лазерного випромінювання співпадає з відповідним енергетичним рівнем середовища, дуже сильно проявляються в рідинах та газах, особливо в атомарних газових середовищах з дуже вузькими лініями поглинання.

Вивчення нелінійних оптичних ефектів не тільки дає значну інформацію про взаємодію інтенсивного випромінювання з середовищем, а також веде до створення нових технологій, які можна застосовувати для розв'язку таких задач, виконання яких методами лінійної оптики є дуже складним, або, взагалі неможливим.

Розглянемо середовище, в якому відсутній центр інверсії і яке опромінюється потужним лазерним імпульсом накачування (50 fs). Виникаючий при цьому нелінійний відгук середовища зондується з затримкою за часом слабким пробним сигналом і реєструється спектрографом (рис. 1).

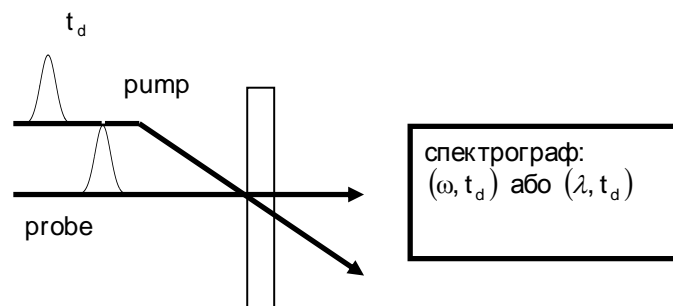


Рис. 1. Принципова схема метода збудження-зондування

За допомогою приладу отримується спектр результуючого сигналу, який залежить від часу затримки, і по суті є Фур'є-образом нелінійного відгуку середовища з урахуванням компонентів третього порядку в рядах розкладу залежності коефіцієнта заломлення від параметрів електромагнітних полів:

$$P^{(3)}(\mathbf{r}, t) = \int_0^{\infty} dt_3 \int_0^{\infty} dt_2 \int_0^{\infty} dt_1 S^{(3)}(t_3, t_2, t_1) E(\mathbf{r}, t - t_3) E(\mathbf{r}, t - t_3 - t_2) E(\mathbf{r}, t - t_3 - t_2 - t_1), \quad (1)$$

результуючий сигнал знаходиться за формулою:

$$\Delta D(\omega, t_d) = -2\omega \operatorname{Im} \left(P^{(3)}(\omega, t_d) \right), \quad (2)$$

Результуючий сигнал $\Delta D(\omega, t_d)$ знаходимо за допомогою теорії збурень щодо модельної 3-х рівневої електронної системи, яка містить по два молекулярні коливання для кожного з електронних рівнів.

Далі нами отримано нелінійний спектр поглинання при $t_d = 1 \text{ пс}$ та спектри поглинання σ_A і емісії σ_E молекули перелена та часова поведінка результуючого сигналу для різних довжин хвиль зондування.

Для інтерпретації експериментальних досліджень нами запропоновано теоретичні діаграми, що описують неосцилюючі (в часі) внески в нелінійне різницеве поглинання, та осцилюючі (в часі), які і є по суті саме внесками в ІСВКР.

Найбільш інформативні результати теоретичних розрахунків відображають наступні залежності. Перша з них – це теоретично розрахована часова поведінка ІСВКР – сигналу, а друга – частотна залежність амплітуди коливань, збуджених лазерним імпульсом із фемтосекундною тривалістю.

Аналіз отриманих розрахункових результатів дозволяє зробити наступні висновки стосовно поведінки середовища, що має нелінійні властивості. По-перше, розроблений математичний апарат дозволив проаналізувати внесок ІСВКР в різницеві спектри, що спостерігаються за механізмом «збудження-зондування» з фемтосекундною часовою роздільною здатністю. Не менш важливим результатом слід вважати дані за розрахунками внеску ІСВКР для модельної 3-х електронної системи, що містить по два молекулярних коливання щодо кожного електронного рівня. Результати теоретичних розрахунків подано у вигляді двох графіків (рис. 2).

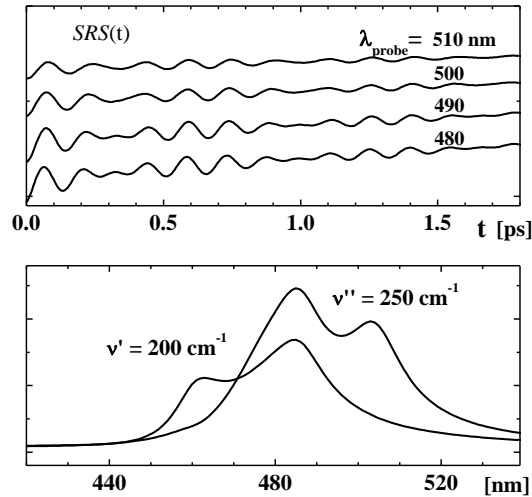


Рис. 2. Розрахований відгук модельної системи

На першому з них – теоретично розрахована часова поведінка ІСВКР сигналу, на другому – амплітуда коливань, збуджених фемтосекундним лазерним імпульсом.

Розроблені фізичні уявлення і побудована математична модель досить точно пояснюють наявні експериментальні дані по нелінійним спектрах поглинання (випромінювання) найпростіших молекулярних структур (газів, рідин, тощо), для яких прояв нелінійних властивостей є суттєвим. Подана фізична модель може бути корисна для прогнозування спектрів випромінювання (поглинання) різного роду оптичних середовищ сучасної оптоелектронної техніки.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ:

ДОБРЯКОВ Володимир Львович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри Фізики та вищої математики Житомирського державного технологічного університету. Наукові інтереси: нелінійна оптика, нелінійна спектроскопія, радіоелектроніка.

ХОМЕНКО Інна Миколаївна, асистент кафедри Фізики та вищої математики Житомирського державного технологічного університету. Наукові інтереси: біотехнічні та медичні апарати, акустика, квантова фізика.