

УДК 532.783

М. В. ВІСЬТАК¹

ДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НЕЛІНІЙНИХ ЯВИЩ У ЗОЛОТИХ НАНОЧАСТИНКАХ ДЛЯ НАНОКОМПОЗИТІВ ОПТОЕЛЕКТРОНІКИ

¹Львівський національний медичний університет ім. Д. Галицького,
вул. Пекарська, 69, 79010, м. Львів, Україна

Анотація. У роботі проведено дослідження динамічних властивостей нелінійного явища в золотих нанострижнях. Досліджувались золоті нанострижні зі співвідношенням довжини до діаметра 2,02 з використанням низькоінтенсивного лазерного випромінювання He-Ne лазера (0,63 мкм) інтенсивністю до $4,40 \cdot 10^{-4}$ Вт/м². У дослідженнях було використано метод z-сканування, та визначено часи ввімкнення (18 мс) під час нелінійного явища.

Ключові слова: золоті нанострижні, нелінійні явища, динамічні властивості

Аннотация. В работе исследованы динамические свойства нелинейного явления в золотых наностержнях. Исследовались золотые наностержни с соотношением длины к диаметру 2,02 с использованием низкоинтенсивного лазерного излучения He-Ne лазера (0,63 мкм) интенсивностью до $4,40 \cdot 10^{-4}$ Вт/м². В исследованиях был использован метод z-сканирования и определены времена включения (18 мс) во время нелинейного явления.

Abstract. In paper the dynamic properties of gold nanorods during the nonlinear phenomena was studied. Gold nanorods were investigated with a ratio of length to diameter are equal 2.02 by using a low intensive of He-Ne laser (0.63 μm) intensity $4.40 \cdot 10^{-4}$ W/m². In used the z-scan method, and calculate the time-on (18 ms) of nonlinear phenomena.

ВСТУП

Металеві наночастинки широко використовуються в сучасній технології матеріалів електронної техніки, оскільки введення їх у матеріали уможливило істотну зміну їхніх фізико-хімічних властивостей [1].

Наночастинки золота викликають особливий інтерес, наприклад, у ряді робіт описано синтез золотих наночастинок та досліджено їхні фізичні властивості [2—5], використання їх для хімічного та біологічного зондування [3—7], лікування раку [3, 8, 10], каталізу [10], в якості маркерів для трансмісійної електронної мікроскопії (ТЕМ) та скануючої електронної мікроскопії (SEM) [2]. Особливий інтерес викликає застосування композитів різних матеріалів з домішками золотих наночастинок в елементах і приладах фотоніки та наноелектроніки [3, 11, 12].

Так, введення наночастинок золота в рідкокристалічні речовини дає змогу змінювати в широких межах динамічні характеристики РК матеріалів як активного середовища дисплеїв, модуляторів, дефлекторів тощо. Відомо, що наночастинки, введені до складу РК, дають змогу змінювати магнітні, електричні властивості РК, орієнтацією молекул у зовнішніх електричних і магнітних полях. Авторами в роботах [14, 15] розглянуто вплив наночастинок магнетитів на оптичні характеристики холестеричних рідких кристалів при дії на таку систему шкідливих речовин (монооксиду вуглецю) і показана можливість створення матеріалів для первинного перетворювача оптичного сенсора газу. Ми пропонуємо використовувати введення плазмонних домішок золота у холестеричний рідкокристалічний матеріал із метою створення наноматеріалів первинних перетворювачів оптичних газових сенсорів. Як було зазначено в роботі [16] нанорозмірні частинки золота є чутливими до парів ртуті.

Динамічні характеристики золотих наночастинок значною мірою впливають на динамічні властивості матеріалів, до яких вводять ці наночастинки, тому метою цієї роботи було дослідження динамічних властивостей золотих наночастинок, які визначають особливості їхньої поведінки в матеріалах. Ми досліджували динамічні характеристики нелінійних явищ, а саме, нелінійну зміну показника заломлення золотих наночастинок під дією електромагнітного випромінювання.

Коли металева наночастинка зазнає дії електромагнітного поля, вона створює локалізовані поверхневі плазмони, що залежать від розміру наночастинки. Якщо металеву наночастинку поміщено в коливальне поле вхідного електромагнітного випромінювання, її електронна хмара починає коливатися [16]. Як і в будь-якій коливальній системі, внаслідок такої взаємодії може виникнути резонансне явище, що приводить до посилення поля всередині та зовні наночастинки. Частота цих резонансних явищ лежить у видимій області електромагнітного випромінювання.

ЕКСПЕРИМЕНТ

У роботі [1] було описано спектроскопічні дослідження синтезованих нами золотих наночастинок у формі стрижнів із різним співвідношенням діаметра до довжини. Для визначення нелінійних оптичних властивостей золотих наночастинок було застосовано метод z-сканування із використанням неперервного випромінювання He-Ne лазера, інтенсивність якого лежить у межах від $4,40 \cdot 10^4$ Вт/м² до $2,13 \cdot 10^3$ Вт/м², та отримано значення нелінійного показника заломлення для синтезованих золотих наночастинок [1]. Як було показано в роботі [1], використання низькоінтенсивного лазерного випромінювання дало змогу зменшити вплив термооптичної складової на протікання нелінійного явища.

Для дослідження динаміки протікання нелінійного явища, а саме, нелінійної зміни показника заломлення, нами було розроблено експериментальну установку, показано на рис. 1.

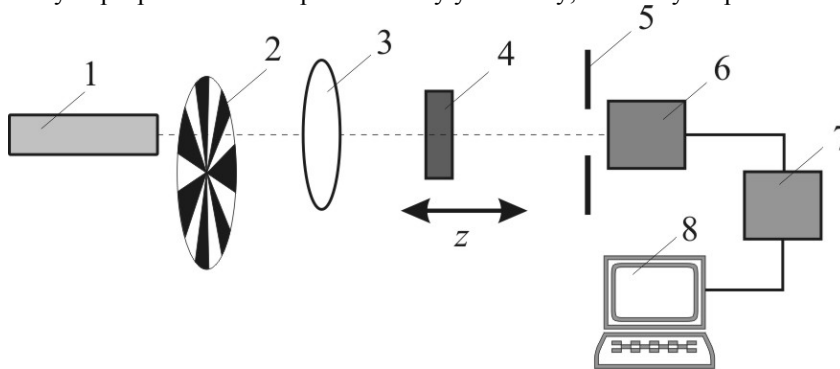


Рис. 1. Схема експериментальної установки для дослідження динамічних властивостей золотих наночастинок під час нелінійного явища:

- 1 — лазер; 2 — модулятор світла; 3 — збиральна лінза; 4 — зразок; 5 — діафрагма;
6 — фотоприймач; 7 — аналогово-цифровий перетворювач; 8 — комп'ютер

У якості зразка для дослідження було використано синтезовані нами з використанням зародково-посередницького методу золоті наночастинки стрижнеподібної форми. Лінійні розміри синтезованих наночастинок мають діаметр 20 нм та довжину 40,5 нм, співвідношення діаметра до їхньої довжини становить 2,02. Визначення розміру проводилось із використанням спектральних залежностей поглинання золотих нанострижнів та теоретичного підходу Мі, а також за результатами проведеної ТЕМ мікроскопії. Вимірювання проводились із використанням низькоінтенсивного лазерного випромінювання He-Ne лазера ($0,63$ мкм) з максимальною інтенсивністю $4,4 \cdot 10^4$ Вт/м². Дослідження проводились на частоті оптичного модулятора 25 Гц (рис. 2).

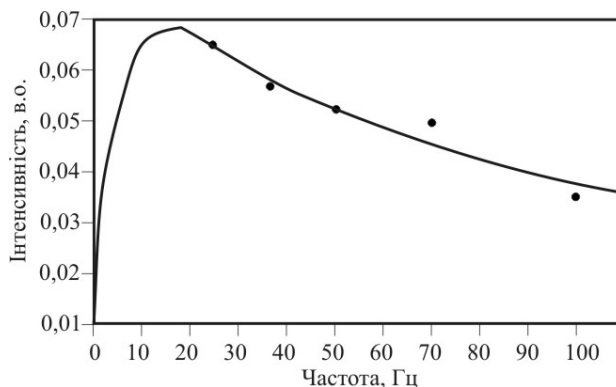


Рис. 2. Залежність нелінійного оптичного відгуку від частоти вхідного сигналу

Для визначення часу увімкнення було використано формулу:

$$I = (I_i - I_f) \cdot e^{-t/\tau} + I_f,$$

де I_i — початкова інтенсивність лазерного променя; I_f — інтенсивність лазерного променя у фокусі лінзи; τ — час вмикання; t — час.

Як відомо, теплові процеси характеризуються значенням часів увімкнення понад ~ 25 мс, тому, підібравши необхідну частоту оптичного модулятора, можна відокремити їхній вплив на нелінійні процеси у нанорозмірних матеріалах і визначити часи, що характеризують їх протікання.

Під впливом прямокутного імпульсу отримано залежності сигналу відгуку при переміщенні в положенні z . На рис. 3 залежності інтенсивності пропускання від часу для різних відстаней від фокуса лінзи рис. 3а) — 7 см від фокуса збиральної лінзи, рис. 3б) — 4 см від фокуса збиральної лінзи, рис. 3в) — 2,5 см від фокуса збиральної лінзи.

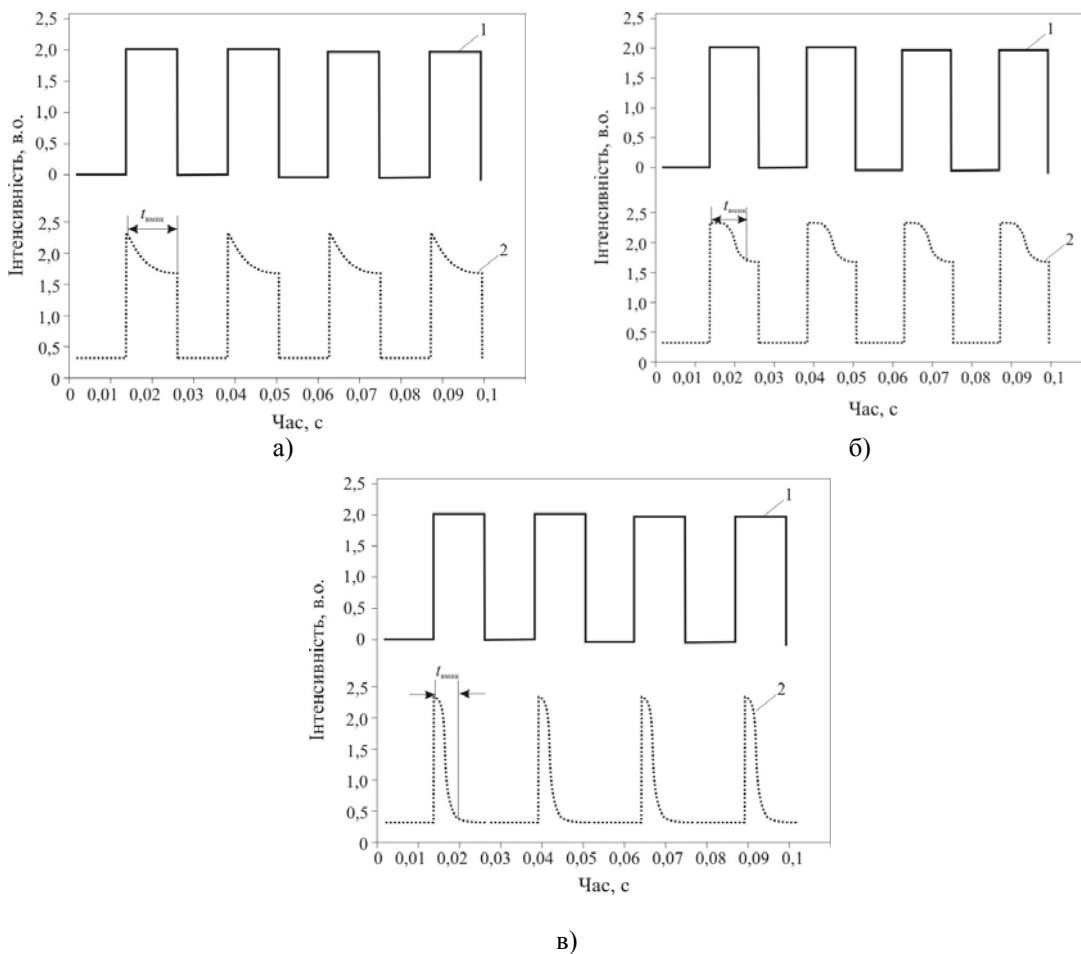


Рис. 3. Залежність інтенсивності пропускання від часу на частоті оптичного модулятора 50 Гц для різних відстанях від фокуса лінзи: а) — 7 см, б) — 4 см; в) — 2,5 см

Як зазначалось у роботі [1], особливістю протікання нелінійного явища є наявність термооптичної складової. Нами було вибрано режим протікання нелінійного явища, а отже, визначення часу увімкнення, для якого вплив цієї складової мінімальний, такий стан можливий за наявності в залежностях z -сканування симетричних ділянок.

Часи увімкнення вимірювались під час сканування лазерного променя в напрямку z -осі. Було встановлено, що при використанні низькоінтенсивного лазерного випромінювання неперервної дії He-Ne лазера відбувається зміна часів увімкнення. Безпосередньо у фокусі збиральної лінзи відбувається зменшення часу увімкнення порівняно з часом увімкнення, виміряним перед фокусом та після нього. Час увімкнення нелінійного явища змінюється від 12 до 18 мс.

ВИСНОВКИ

Проведено дослідження нелінійного оптичного відгуку для золотих наночастинок з використанням низькоінтенсивного лазерного випромінювання.

Встановлено закономірності протікання нелінійного явища та виявлено оптимальну частоту для отримання максимального оптичного відгуку.

Виявлені в ході досліджень динаміки нелінійних оптичних явищ закономірності будуть впливати на динаміку оптичних явищ у нанокомпозитах на основі холестеричних рідких кристалів із золотими нанодомішками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дослідження явища плазмонного резонансу в металевих наночастинок при низькоінтенсивному збудженні / З. М. Микитюк, О. Є. Сушинський, М. В. Вісьтак, В. С. Петришак, Т. В. Пристай // *Eastern-european journal of enterprise technologies* — 2014. — Vol. 6, No. 9(72). — P. 36—42.
2. Colloidal dispersion of gold nanorods: Historical background, optical properties, seed-mediated synthesis, shape separation and self-assembly / V. Sharma, K. Park, M. Srinivasarao // *Materials Science and Engineering*. — 2009. — № 65. — P. 1—38.
3. Daniel L. Schodek, Paulo Ferreira, Michae Nanomaterials, Nanotechnologies and Design: An Introduction for Engineers (2009) P. 527.
4. Gold nanoparticles: preparation, functionalisation and applications in biochemistry and immunochemistry / L. A. Dykman, V. A. Bogatyrev // *Uspekhi Khimii* — 2007. — Vol. 76. — P. 199—213.
5. Gold nanoparticles: interesting optical properties and recent applications in cancer diagnostic and therapy / X. H. Huang, P. K. Jain, I. H. El-Sayed, M. A. El-Sayed // *Nanomedicine* — 2007. — Vol. 2. — P. 681—693.
6. Multiplex biosensor using gold nanorods. / C. X. Yu, J. Irudayaraj // *Analytical Chemistry* — 2007. — Vol. 79. — P. 572—579.
7. Universal scaling of plasmon coupling in metal nanostructures: extension from particle pairs to nanoshells / P. K. Jain, M. A. El-Sayed // *Nano Letters* // — 2007. — Vol. 7. — P. 2854—2858.
8. Plasmon resonant particles for biological detection / D. A. Schultz // *Current Opinion in Biotechnology* — 2003. — Vol. 14. — P. 13—22.
9. Au nanoparticles target cancer / P. K. Jain, I. H. El-Sayed, M. A. El-Sayed // *Nano Today* — 2007. — Vol. 2. — P. 18—29.
10. Catalysis with Metallic Nanoparticles: The Good and the Bad / R. Narayanan, M.A. El-Sayed, *Chimica Oggi* // *Chemistry* 2007. — Vol. 25. — P. 84—86.
11. Plasmonics : Localization and guiding of electromagnetic energy in metal/dielectric structures / S. A. Maier, H. A. Atwater // *Journal of Applied Physics* — 2005. — Vol. 98. — P. 011101—011107.
12. Nanocomposites of polymers and metal or semiconductors historical background and potical properties / W. Caseri // *Macromolecular Rapid Communications* — 2000. — Vol. 21. —P. 705—722.
13. A. G. Lyashchova, D. V. Fedorenko, G. V. Klimusheva, T. A. Mirnaya and V. N. Asaula / *Nonlinear Optical Properties of New Nanocomposite : Metal Alkanoate Glasses with Semiconductor Quantum Dots Nanomaterials Imaging Techniques, Surface Studies, and Applications* // *Springer Proccedings in Physics* 146, P. 93—101.
14. Cholesteric liquid crystal doped nanosized magnetyt as active medium of optical gas sensor / O. Aksimtyeva, Z. Mykytyuk, A. Fechan, B. Tsizh, O. Sushynskiy // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. — 2014. — Vol. 589. — P. 83 — 89.
15. Sensitive Element of Carbon Monoxide Sensor Based on Liquid Crystals Doped by Nanosized Fe / Z. Hotra, Z. Mykytyuk, O. Sushynskiy, O. Shymchyshyn, V. Petryshak // *Annual Journal of Electronics*. — 2012. — Vol. 6. — 2012. — P. 99—102.
16. Gold nanoparticle films as sensitive and reusable elemental mercury sensors. / J. Z. James, D. Lucas, C. P. Koshland // *Environ Sci Technol*. — 2012. — Vol. 46(17). — P. 9557—9562.

Надійшла до редакції 20.12.2014 р.

ВІСЬТАК МАРІЯ ВОЛОДИМІРІВНА — кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри біофізики, Львівський національний медичний університет ім. Д. Галицького, м. Львів, Україна