

УДК 535.333

Юргелевич І. В.¹, к.ф.-м.н., с.н.с.,
Тельбіз Г. М.², к.х.н., с.н.с.,
Стронський О. В.³, д.ф.-м.н., с.н.с.,
Поперенко Л. В.⁴, д.ф.-м.н., проф.,
Лопатинська О. Г.⁵, асист.,
Леоненко Є. В.⁶, асп.

Оптичні властивості органо-неорганічних мезоструктурних золь-гель плівок на основі оксидів кремнію та титану з інкорпорованим барвником Родамін 6Ж

^{1,4,5}Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 64/13, e-mail: ¹vladira_19@ukr.net, ⁴plv@univ.kiev.ua, ⁵olga_lopatynska@ukr.net
^{2,6}Інститут фізичної хімії імені Л. В. Писаржевського НАН України, 03028, м. Київ, просп. Науки, 31, e-mail: ²gtebiz@yahoo.com
³Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, 03028, м. Київ, просп. Науки, 41, e-mail: ³stromski@isp.kiev.ua

I. V. Yurgelevych¹, PhD, Sen. Res.,
G. M. Tel'biz², PhD, Sen. Res.,
A. V. Stronski³, Dr. Sci., Sen. Res.,
L. V. Poperenko⁴, Dr. Sci., Prof.,
O. G. Lopatynska⁵, assist.,
E. V. Leonenko⁶, PhD stud.

Optical properties of organic-inorganic mesostructure sol-gel films based on the silicium and titanium oxide with incorporated rodamine 6G dye

^{1,4,5}Taras Shevchenko National University of Kyiv, 01601, Kyiv, Volodymyrska st., 64/13, e-mail: ¹vladira_19@ukr.net, ⁴plv@univ.kiev.ua, ⁵olga_lopatynska@ukr.net
^{2,6}L. V. Pisarzhevskii institute of the physical chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, 03028, Kyiv, Nauki ave., 31, e-mail: ²gtebiz@yahoo.com
³V. Lashkaryov institute of semiconductor physics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 03028, Kyiv, Nauki ave., 41, e-mail: ³stromski@isp.kiev.ua

Органо-неорганічні мезоструктурні золь-гель плівки на основі оксидів кремнію та титану з інкорпорованим барвником Родамін 6Ж були одержані різним способом нанесення (spin- або dip-coating) плівкоутворюючого золю на субстрат. Оптичний аналіз зразків проводився на основі спектрів поглинання і люмінесценції та кутової еліпсометрії. Показано, що отримані методом центрифугування та осадження з розчину тонкі плівки на основі барвника Р6Ж проявляють у видимій області спектра властивості, що притаманні типовим діелектрикам чи слабкопоглинальним напівпровідникам. Останнє однозначно зафіксовано у випадку плівки, до складу якої було введено оксид TiO₂. По куту Брюстера цих плівок визначено показники заломлення, значення яких знаходяться в межах від 1,39 до 1,69.

Ключові слова: золь-гель гібридні плівки, фотолюмінесценція, еліпсометрія.

Hybrid films based on inorganic matrices and organic dyes are perspective ones as luminescence materials, laser elements, sensors, solar cells, optical switches etc. Organic and inorganic mesostructural sol-gel film based on silicon and titanium oxides incorporated Rhodamine 6G were obtained by deposition of film-forming sol on the substrate using different techniques (spin- or dip-coating). Optical analysis of the samples was based on luminescence and absorption spectra and angular ellipsometry. It is shown that the angular ellipsometry method is sensitive for the changes fixing in the structure of the hybrid films and their complex dielectric function through $\Delta(\varphi)$ and $\Psi(\varphi)$ dependences. These changes are the result of technological procedures and their specificity during the formation of these films. Thin films based on rodamine 6G dye obtained by spin- or dip coating methods according to the ellipsometrical experiment data reveal in the visible spectrum the properties inherent to typical dielectrics or low absorbing semiconductors. Last fact is uniquely fixed in the case of the film containing TiO₂ oxide. Knowing the Brewster angle of these films the refractive indices were determined. They very form 1.39 to 1.69. The luminescence measurements results correlate well with the results of ellipsometrical experiments and confirm abovementioned conclusions.

Key words: sol-gel hybrid films, photoluminescence, ellipsometry.

Статтю представив д.ф.-м.н., проф. Макарець М. В.

Вступ

Гібридні плівки на основі неорганічних матриць і органічних барвників є перспективними для використання в якості люмінесцентних матеріалів, елементів лазерів, сенсорів, сонячних елементів, оптичних перемикачів тощо [1-4]. Введення молекул в жорстку золь-гель матрицю підвищує стабільність оптичної структури матеріалів за рахунок інгібування міжмолекулярної взаємодії, яка призводить до агрегації [5-7]. Золь-гель процес є зручним та надійним методом приготування гібридних плівок, властивості яких зумовлені процесами, що супроводжують їх формування. При одностадійному золь-гель синтезі всі компоненти, включаючи молекули барвника і поверхнево-активних речовин (ПАР) [8, 9], знаходяться в плівкоутворюючому золі, і локалізація молекул барвника відбувається в процесі формування мезоструктурної плівки під час старіння золю, що теж функціонально залежить від способу отримання плівок. Застосування ПАР дозволяє змінити величину середньої відстані між молекулами барвника при його фіксованій концентрації та впливати на процес агрегації. В роботах [10, 11] показано, що природа ПАР може впливати на утворення гібридних міцел і розподіл молекул барвника Р6Ж в них. Природа неорганічної матриці також суттєво впливає на спектральні властивості гібридних плівок. Цей вплив зумовлений особливістю взаємодії "хазяїн-гість", напрямком агрегації молекул барвника в структурі.

Структура та кількість агрегатів барвника залежить від складу, концентрації і умов приготування матеріалу [3]. Екситонна теорія [12] задовільно пояснює взаємозв'язок між структурою агрегатів та їх оптичними характеристиками. Згідно з цією моделлю типи димерів з різною орієнтацією молекул барвника характеризуються положенням смуг поглинання в низько- та високоенергетичній області спектру в порівнянні зі смугою мономера. Це нелюмінесцентні Н-агрегати, які поглинають світло при значно більшій енергії фотонів, ніж мономери, і J-агрегати, для яких характерним є червоний зсув абсорбційної смуги. Теорія, також, допускає існування похідних димерів барвника, для яких, на відміну від класичних, дозволені переходи на низку інших збуджених станів. Агрегація молекул барвника в нелюмінесцентні димери є небажаним явищем у жорстких зразках при збільшенні їх концентрації. Передбачається, що просторова орієнтація і димеризація молекул барвника в мезоструктурі золь-гель плівки буде змінюватись в залежності від способу нанесення плівкоутворюючого золя на субстрат, природи неорганічної матриці, просторової орієнтації гостьових молекул, а саме родаміна 6Ж (Р6Ж), найчастіше використовуваного в якості лазерного барвника [3, 13, 10]. Тому, контроль агрегаційного

стану молекул барвника Р6Ж, в жорсткій матриці є критичною умовою її ефективного використання [5, 13] і потребує методів оптичної діагностики даних плівкових структур. Одним із таких методів є еліпсометрія, що дає можливість неруйнівним чином отримати практично важливі характеристики поверхні гібридних плівок (показник заломлення, товщину) та їх залежність від складу та способів формування.

Проведені в [14] дослідження впливу швидкості формування структури гібридної плівки нанесеної на субстрат способами центрифугування або осадження з розчину (spin-, або dip-coating), а також концентрації обраного ПАР (Pluronic P123, або СТАВr) в плівкоутворюючому золі, на перебіг агрегації молекул барвника (на прикладі родаміна 6Ж) показали, що ці фактори суттєво модифікують оптичні та люмінесцентні властивості сформованих гібридних золь-гель плівок.

Метою роботи було з'ясування рівня змін оптичних характеристик гібридних металоксидних плівок, що містять просторово впорядковані в матрицю діоксидів кремнію і титану молекули родаміна 6Ж методом кутової еліпсометрії та фотолюмінесценції в залежності від типу ПАР, концентрації барвника та умов виготовлення.

Технологія виготовлення мезоструктурних плівок та методика експерименту

Плівкоутворюючий золь з прекурсорами силіцію та титану виготовляли за методикою, описаною в [8, 14]. До золю додавали розраховану кількість барвника Р6Ж (0,0036-0,0100 моль/л), розчин підлягав ультразвуковій обробці протягом 10 хв. Для дослідження впливу типу ПАР використовували золі із Pluronic P123 та СТАВr, в кількості $2,5 \cdot 10^{-4}$ М (зразки № 4, 5 на рисунках) при постійній концентрації барвника. Вплив природи матриці (Si, Ti) досліджували на іншій парі зразків (позначених № 2, 6 на рисунках). Концентраційну залежність оцінювали на зразках 2, 3. Для порівняння використовували мезопоруватий зразок (№ 1) одержаний після видалення органічних компонентів шляхом кальцинування при 500°C.

Гібридні мезоструктурні покриття отримували шляхом нанесення плівкоутворюючого золю на субстрат spin- та dip-coating методами (2000 об/хв та 20 см/хв, відповідно) при 20 °С та відносній вологості 40 – 45 % і витримували перед вимірюваннями протягом 5 – 7 днів. Вплив способу нанесення порівнювали на зразках № 3, 4. Поверхню підкладки (предметне скло) попередньо знежирювали в хромовій суміші з наступним промиванням в розчині ацетону. Спектри фотолюмінесценції вимірювали за допомогою спектральної установки в режимі лічби фотонів. Довжина хвилі збуджуючого світла складала 406 нм.

Поляризаційні оптичні вимірювання проводилися на багатокуттовому еліпсометрі

ЛЕФ-3М-1 на одній довжині хвилі $\lambda = 632,8$ нм при кімнатній температурі в декількох областях поверхні виготовлених зразків при різних кутах падіння φ світла на поверхню [15].

Результати та обговорення

На основі кутових залежностей таких еліпсометричних параметрів, як зсув фаз Δ між компонентами вектора поляризації та азимут ψ відновленої лінійної поляризації, знайдено кути Брюстера φ_B ($\Delta = 90^\circ$) та кутові положення найменшого значення азимута ψ_{min} для всіх досліджуваних зразків.

На рис. 1 представлено результати еліпсометричних вимірювань для досліджуваних зразків. За залежністю Δ φ на рівні $\Delta = 90^\circ$ можна визначити кут Брюстера φ_B (або у випадку слабопоглинальних середовищ його називають псевдобрюстерівським кутом [16]). Тоді у відповідності до співвідношення $n = \text{tg } \varphi_B$ [17] можна визначити показник заломлення n середовища певної сформованої плівки у видимій області при $\lambda = 632,8$ нм.

Видно (рис. 1а), що значення $\varphi_B = 54,3^\circ$ для кр. 1 значно менше ніж значення $\varphi_B = 59,4^\circ$ для кр. 6. Це означає, що серед досліджених зразків екстремальні значення показника заломлення мають два зразки, до складу одного з яких не входить барвник взагалі (кр. 1), і йому притаманне мінімальне значення $n = 1,39$, а до складу другого входить оксид TiO_2 (кр. 6), для нього значення n є максимальним ($n = 1,69$).

Залежність Δ φ для зразка $\text{TiO}_2 + \text{P123} + \text{R6G}$ характеризується більш пологою кр. 6. Однак, існує різкий стрибок еліпсометричного параметра Δ поблизу кута Брюстера для зразків, виго-

товлених методом центрифугування [18], в складі яких не було компонента CTABr , $\text{SiO}_2 + \text{P123} + \text{R6G}$ (кр. 2 та 3), так і для зразка $\text{SiO}_2 + \text{CTABr} + \text{R6G}$ (кр. 5), який містить цей компонент.

Показово, що всі ці різко спадаючі криві характеризують зразки, отримані саме методом центрифугування. В той же час однакові за складом зразки 3 і 4, але отримані двома різними способами, хоч і мають однакові значення кута Брюстера, мають поблизу нього різний кутовий інтервал $\Delta \varphi_B$, в межах якого Δ спадає від 180° до 0° . По відношенню до зразка 3, виготовленого методом центрифугування, для залежності Δ φ зразка 4, отриманого осадженням з розчину, зазначений кутовий інтервал $\Delta \varphi_B$, – як міра змін певних фізичних властивостей поверхневого шару [17], – набагато більший. Чим різкіше спадає крива залежності Δ φ поблизу кута Брюстера для окремого зразка, тим кращим індикатором вона стає щодо фіксації його фактично нульової оптичної провідності $\sigma = nk\upsilon$ (n і k – показники заломлення і поглинання, υ – частота світлової хвилі), тобто твердження, що k прямує до 0. Тоді така поведінка залежності Δ φ зразка є характерною для матеріалів, що проявляють у видимій області типові діелектричні властивості, як, наприклад, у випадку полірованої поверхні пластинки оптичного кварца з найвищим класом точності її механічної обробки [17]. В останньому випадку цей кут $\Delta \varphi_B$ характеризує висотні та крокові параметри шорсткості поверхні [18] і оптичні сталі та глибину (товщу) так званого “порушеного” перехідного шару, який залишається на скляній поверхні навіть після її тонкої механічної поліровки з досягненням 13-14 класу оптичної чистоти [17, 19]: чим вищі параметри шорсткості, викликаної наявністю такого “порушеного”

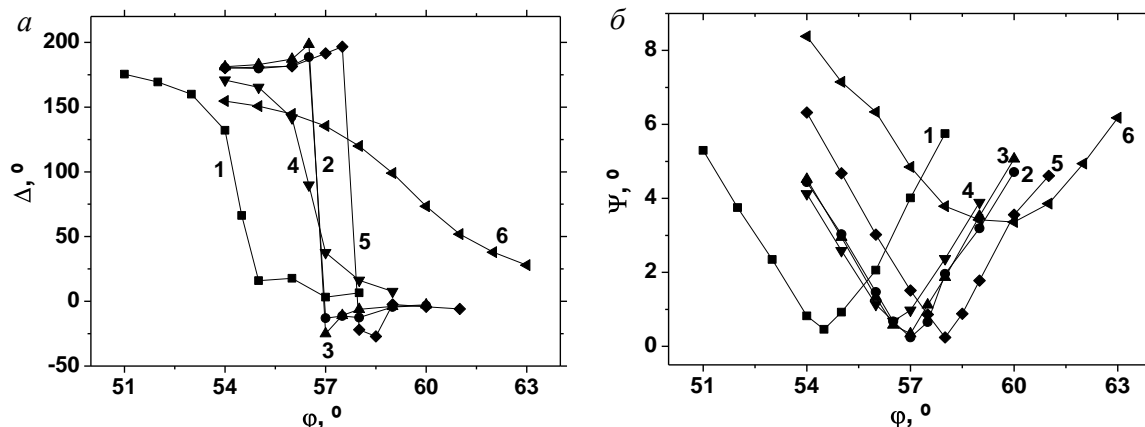


Рис. 1. Кутові залежності еліпсометричних параметрів Δ – а та ψ – б для зразків: 1 – $\text{SiO}_2 + \text{P123}$, 2 – $\text{SiO}_2 + \text{P123} + \text{R6G}$ (0,0036), центрифугування, 3 – $\text{SiO}_2 + \text{P123} + \text{R6G}$ (0,01), центрифугування, 4 – $\text{SiO}_2 + \text{P123} + \text{R6G}$ (0,01), осадження з розчину, 5 – $\text{SiO}_2 + \text{CTABr} + \text{R6G}$ (0,01), центрифугування, 6 – $\text{TiO}_2 + \text{P123} + \text{R6G}$ (0,0036), центрифугування.

перехідного шару, тим більшим стає і зазначений кут $\Delta\varphi_B$. Тому для поверхневих шарів зразків 3 і 4 (рис. 1 а), отриманих методами центрифугування та осадження з розчину, відповідно, збільшення кута $\Delta\varphi_B$ слід трактувати як наслідок того, що поверхневий шар утвореної структури плівки (зразок 4) після осадження є більш рихлим, і його шорсткість теж вища, ніж та, що залишається на поверхні зразка 3 після його формування методом центрифугування. Більш того, визначені за кривими 3 і 4 на рівні $\Delta = 90^\circ$ через кути Брюстера φ_B показники заломлення $n = 1,51$ (кр. 4) і $n = 1,52$ (кр. 3) доводять це у відповідності до формули Лорентц-Лоренца [20] і співвідношення Клаузіуса-Масотті [21], якими, зокрема, для колоїдних розчинів, добре описують залежність показника заломлення від густини речовини, бо тоді при збільшенні густини речовини зразка 3 внаслідок центрифугування зростатиме і показник заломлення $n = 1,52$. Проте, суттєве збільшення кута Брюстера у випадку плівки, до складу якої введено оксид TiO_2 (рис. 2а, кр. 6), не можна повністю пояснити тільки впливом шорсткості її поверхні, бо іншим зразкам (рис. 2 а, кр. 2, 3 та 5) притаманні набагато менші кути Брюстера. Єдиним додатковим фактором, котрим можна однозначно пояснити своєрідну поведінку кривої 6 на рис. 1 а, є відмінність складу плівки, викликана, перш за все, наявністю оксиду TiO_2 , введення якого призводить до того, що показник поглинання κ вже не є наближеним до нульового значення. Фактично, утворена структура плівки цього зразка відгукується на оптичне збудження вже не як типовий діелектрик ($\kappa = 0$), а як напівпровідниковий матеріал (κ мала) на довжині хвилі світла $\lambda = 632,8$ нм. Останнє добре підтверджується і залежністю ψ φ (рис. 1 б) для цього зразка (кр. 6): бо збільшення самого значення цієї величини у мінімумі кривої та його зсув по шкалі кутів падіння в сторону більших φ для провідних середовищ ($\kappa \neq 0$) однозначно вказує на зростання показника заломлення світла в середовищі цієї плівки, що вміщує оксид TiO_2 . Таке пояснення зміщення мінімуму кр. 6 (рис. 1б) в сторону більших кутів падіння світла φ , як і зростання значення ψ в самому мінімумі є принциповим при розгляді провідної (по струму) системи (зразок 6) у порівнянні до менших однакових значень азимута відновленої лінійної поляризації в мінімумі кривих ψ φ (рис. 1б) всіх інших зразків.

Залежності інтенсивності фотолюмінесценції від довжини хвилі $I(\lambda)$ (спектри фотолюмінесценції), що були виміряні для даних зразків і наведені на рис. 2, добре корелюють з результатами еліпсометричних вимірювань.

Спектр зразка 6 значно зміщений у сторону менших довжин хвиль по відношенню до

спектрів інших зразків, що може пояснюватись, аналогічно до результатів еліпсометричних експериментів, появою слабого поглинання, пов'язаного із введенням до складу зразка оксиду титану. Слід також зазначити, що для зразка 1 фотолюмінесценція відсутня взагалі, що може бути пояснене тим, що цей зразок не містить барвника. Спектр фотолюмінесценції для зразка 5 є дещо розширеним по відношенню до інших та має меншу інтенсивність, що може бути пов'язано з додаванням компонента СТАВr.

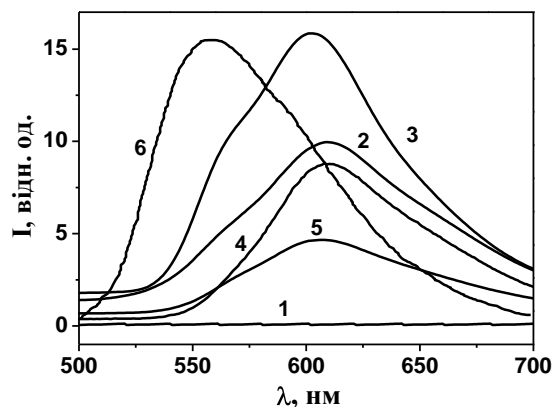


Рис. 2. Спектри фотолюмінесценції зразків:

- 1 – $\text{SiO}_2 + \text{P123}$,
- 2 – $\text{SiO}_2 + \text{P123} + \text{R6G}$ (0,0036), центрифугування,
- 3 – $\text{SiO}_2 + \text{P123} + \text{R6G}$ (0,01), центрифугування,
- 4 – $\text{SiO}_2 + \text{P123} + \text{R6G}$ (0,01), осадження з розчину,
- 5 – $\text{SiO}_2 + \text{СТАВr} + \text{R6G}$ (0,01), центрифугування,
- 6 – $\text{TiO}_2 + \text{P123} + \text{R6G}$ (0,0036), центрифугування.

Висновки

Таким чином, метод кутової еліпсометрії тонких плівок органічного барвника Р6Ж виявився дуже чутливим щодо фіксації через $\Delta\varphi$ та $\psi\varphi$ залежності змін в структурі гібридних плівок та їхній комплексній діелектричній проникності, які є наслідком впливу умов приготування, концентрації компонентів та природи неорганічної матриці, а також специфіки технологічних процедур при формуванні даних плівок.

Отримані методом центрифугування та осадження з розчину тонкі плівки на основі барвника Р6Ж згідно з даними еліпсометричного експерименту проявляють у видимій області спектра оптичні поляризаційні властивості, що притаманні типовим діелектрикам чи слабопоглинальним напівпровідникам. Останнє однозначно зафіксовано у випадку плівки, до складу якої було введено оксид TiO_2 . По куту Брюстера цих плівок визначено показники заломлення, значення яких знаходяться в межах від 1,39 до 1,69 на довжині хвилі $\lambda = 632,8$ нм.

Результати фотолюмінесцентних вимірювань добре узгоджуються з результатами еліпсометричних експериментів та підтверджують вищенаведені висновки.

Ця робота була частково підтримана проектом FP-7 SECURE-R2I

Список використаних джерел

References

1. Enciso E. Conventional unidirectional laser action enhanced by dye confined in nanoparticle scatters / Enciso E., Costela A., Garcia-Moreno I., Martin V., Sastre R. // *Langmuir*. – 2010. – Vol. 26. – P. 6154-6157.
2. Garcia-Moreno I. Materials for a reliable solid-state dye laser at the red spectral edge / Garcia-Moreno I, Costela A., Martin V., Pintado-Sierra M., Sastre R. // *Advanced Functional Materials*. – 2009. – Vol. 19. – P. 2547-2552.
3. Carbonaro C.M. Hybrid materials for solid-state dye laser applications / Carbonaro C. M., Anedda A., Grandi S., Magistris A. // *The Journal of Physical Chemistry B*. – 2006. – Vol. 110. – P. 12932-12937.
4. Cheng D.M. Pure red emission of dye-doped organic molecules from microcavity organic light emitting diode / Cheng D.M., Ma F.Y., Liu X.Y. // *Optics and Laser Technology*. – 2007. – Vol. 39. – P. 720-723.
5. Malfatti L. Aggregation states of rhodamine 6G in mesostructured silica films / Malfatti L., Kidchob T., Aiello D., Aiello R., Testa F., Innocenzi P. // *The Journal of Physical Chemistry C*. – 2008. – 112. – P. 16225-16230.
6. Tikhonov E. Spectroscopic manifestation of dye pair interaction at high concentration in structurally organized SiO₂ films / Tikhonov E., Telbiz G. // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. – 2011. – Vol. 535. – P. 82-92.
7. Minoofar P. Multiply doped nanostructured silicate sol-gel thin films: spatial segregation of dopants, energy transfer, and distance measurements / Minoofar P., Dunn B., Zink J. // *Journal of the American Chemical Society*. – 2005. – Vol. 127. – P. 2656-2665.
8. Telbiz G. Optical manifold of spatial localization of dyes molecules self-organized in the body of silica thin films / Telbiz G., Leonenko E., Goer D., Manoryk P. // *Springer Proceedings in Physics*. – 2013. – Vol. 146. – P. 83-91.
9. Minoofar P. Strategies for spatially separating molecules in mesostructured sol-gel silicate films / Minoofar P., Hernandez R., Franville A.-C., Chia Sh., Dunn B., Zink J. // *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. – 2003. – Vol. 26. – P. 571-575.
10. Vogel R. Dimer-to-monomer transformation of rhodamine 6G in aqueous PEO-PPO-PEO block copolymer solutions / Vogel R., Harvey M., Edwards G., Meredith P., Heckenberg N., Trau M., Rubinsztein-Dunlop H. // *Macromolecules*. – 2002. – Vol. 35. – P. 2063-2070.
1. ENCISO, E., COSTELA, A., GARCIA-MORENO, I., MARTIN, V., SASTRE, R. (2010) Conventional unidirectional laser action enhanced by dye confined in nanoparticle scatters. *Langmuir*. 26. p. 6154-6157.
2. GARCIA-MORENO, I., COSTELA, A., MARTIN, V., PINTADO-SIERRA, M., SASTRE, R. (2009) Materials for a reliable solid-state dye laser at the red spectral edge. *Advanced Functional Materials*. 19. p. 2547-2552.
3. CARBONARO, C. M., ANEDDA, A., GRANDI, S., MAGISTRIS, A. (2006) Hybrid materials for solid-state dye laser applications. *The Journal of Physical Chemistry B*. 110. P. 12932-12937.
4. CHENG, D.M., MA, F.Y., LIU, X.Y. (2007) Pure red emission of dye-doped organic molecules from microcavity organic light emitting diode. *Optics and Laser Technology*. 39. p. 720-723.
5. MALFATTI, L., KIDCHOB, T., AIELLO, D., AIELLO, R., TESTA, F., INNOCENZI, P. (2008) Aggregation states of rhodamine 6G in mesostructured silica films. *The Journal of Physical Chemistry C*. 112. p. 16225-16230.
6. TIKHONOV, E., TELBIZ, G. (2011) Spectroscopic manifestation of dye pair interaction at high concentration in structurally organized SiO₂ films. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 535. p. 82-92.
7. MINOOFAR, P., DUNN, B., ZINK, J. (2005) Multiply doped nanostructured silicate sol-gel thin films: spatial segregation of dopants, energy transfer, and distance measurements. *Journal of the American Chemical Society*. 127. p. 2656-2665.
8. TELBIZ, G., LEONENKO, E., GOER, D., MANORYK, P. (2013) Optical manifold of spatial localization of dyes molecules self-organized in the body of silica thin films. *Springer Proceedings in Physics*. 146. p. 83-91.
9. MINOOFAR, P., HERNANDEZ, R., FRANVILLE, A.-C., CHIA, SH., DUNN, B., ZINK, J. (2003) Strategies for spatially separating molecules in mesostructured sol-gel silicate films. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 26. p. 571-575.
10. VOGEL, R., HARVEY, M., EDWARDS, G., MEREDITH, P., HECKENBERG, N., TRAU, M., RUBINSZTEIN-DUNLOP, H. (2002) Dimer-to-monomer transformation of rhodamine 6G in aqueous PEO-PPO-PEO block copolymer solutions. *Macromolecules*. 35. p. 2063-2070.

11. Леоненко Є.В. Фізико-хімічні закономірності взаємодії ПАР-барвник формування гібридних міцел / Леоненко Є.В., Тельбіз Г.М., Гребенніков В.Н., Ординський В. В // Наукові записки НаУКМА, Хімічні науки і технології. – 2014. – 157. С. 43-48.
12. Kasha M. The exciton model in molecular spectroscopy / Kasha M., Rawls H.R., El-Bayoum Ashraf M. // *Pure and Applied Chemistry*. – 1965. – Vol. 11. – P. 371-392.
13. Anedda A. Formation of fluorescent aggregates in Rhodamine 6G doped silica glasses / Anedda A., Carbonaro C., Corpino R., Ricci P., Grandi S., Mustarelli P. // *Journal of Non-Crystalline Solids*. – 2007. – Vol. 353. – P. 481-485.
14. Leonenko E.V. Effect of aggregation of rhodamine 6G on the spectral and luminescence characteristics of hybrid mesostructured silica films / Leonenko E.V., Telbiz G.M., Bogoslovskaya A.B., Manoryk P.A. // *Theoretical and Experimental Chemistry*. – 2014. – Vol. 50. – P. 354-359.
15. Поперенко Л.В. Оптика металевих структур / Поперенко Л.В., Кудрявцев Ю.В., Стащук В.С., Лі Янг Пак. – Київ: ВПЦ "Київський Університет", 2013. – 531 с.
16. Поперенко Л.В. Діагностика поверхні поляризованим світлом / Поперенко Л.В., Стащук В.С., Шайкевич І.А., Одарич В.А. – Київ: ВПЦ "Київський Університет", 2007 – 336 с.
17. Shestopal O.H. Ellipsometric investigation of mechanically polished siall and quartz glass / Shestopal O.H., Poperenko L.V., Odarych V.A., Yurglevych I.V. // 11th International young Scientists Conference "Optics & High Technology Material Science" – SPO-2010, 21-24 October 2010, Kyiv, Ukraine: abstracts. – Kyiv. – 2010. – P. 161-162.
18. Negrub M.M. Ellipsometric diagnostic of R6G-based thin dye films / Negrub M.M., Leonenko E.V., Poperenko L.V., Stronski A.V., Telbiz G.M. Yurglevich I.V. // 15th International young Scientists Conference "Optics & High Technology Material Science" – SPO-2014, 23-26 October 2014, Kyiv, Ukraine: abstracts part 1. – Kyiv. – 2014. – P. 102-103.
19. Одарич В.А. Прикладна оптика. Оптична система і теорія, розрахунок, конструювання, технологія / Одарич В.А., Поперенко Л.В., Стащук В.С., Якунов А.В. – Київ: ВПЦ "Київський Університет", 2010. – 332 с.
20. Шишловский А.А. Прикладная физическая оптика / Шишловский А.А. – Москва: Физматгиз, 1961. – 823 с.
21. Сугаков В.Й. Теоретична фізика. Електродинаміка / Сугаков В.Й. – Київ: Вид-во "Вища школа", 1974. – 271 с.
11. LEONENKO, E.V., TELBIZ, G.M., GREBENNIKOV, V.M., ORDYNS'KYI, V.V. (2014) Physico-chemical laws of surfactant-dye interaction and hybrid micelles formation. *Proceedings NaUKMA, Chemical sciences and technologies*. 157. p. 43-48.
12. KASHA, M., RAWLS, H.R., EL-BAYOUM, ASHRAF, M. (1965) The exciton model in molecular spectroscopy. *Pure and Applied Chemistry*. 11. p. 371-392.
13. ANEDDA, A., CARBONARO, C., CORPINO, R., RICCI, P., GRANDI, S., MUSTARELLI, P. (2007) Formation of fluorescent aggregates in Rhodamine 6G doped silica glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 353. p. 481-485.
14. LEONENKO, E.V., TELBIZ, G.M., BOGOSLOVSKAYA, A.B., MANORYK, P.A. (2014) Effect of aggregation of rhodamine 6G on the spectral and luminescence characteristics of hybrid mesostructured silica films. *Theoretical and Experimental Chemistry*. 50. p. 354-359.
15. POPERENKO, L.V., KUDRIAVCEV, YU.V., STASHCHUK, V.S., LI, YANG PAK (2013) *Optics of metal structures*. Kyiv: Vydavnycho-polihrafichnyj centr "Kyivskij universytet".
16. POPERENKO, L., STASHCHUK, V., SHAIKEVYCH, I., ODARYCH, V. (2007) *Surface diagnostic by polarized light*. Kyiv: Vydavnycho-polihrafichnyj centr "Kyivskij universytet".
17. SHESTOPAL, O.H., POPERENKO, L.V., ODARYCH, V.A., YURGELEVYCH, I.V. (2010) Ellipsometric investigation of mechanically polished siall and quartz glass. In 11th International young Scientists Conference "Optics & High Technology Material Science" – SPO-2010, 21-24 October 2010. Kyiv: Vydavnycho-polihrafichnyj centr "Kyivskij universytet". pp. 161-162.
18. NEGRUB, M.M., LEONENKO, E.V., POPERENKO, L.V., STRONSKI, A.V., TELBIZ, G.M. YURGELEVICH, I.V. (2014) Ellipsometric diagnostic of R6G-based thin dye films. In 15th International young Scientists Conference "Optics & High Technology Material Science" – SPO-2014, 23-26 October 2014. Kyiv: Vydavnycho-polihrafichnyj centr "Kyivskij universytet". pp. 102-103.
19. ODARYCH, V.A., POPERENKO, L.V., STASHCHUK, V.S., YAKUNOV, A.V. (2010) *Applied optics. Optical system and theory, calculation, construction, technology*. Kyiv: Vydavnycho-polihrafichnyj centr "Kyivskij universytet".
20. SHYSHLOVSKYI, A.A. (1961) *Applied physical optics*. Moskva: Phymathgiz.
21. SUGAKOV, V.Y. (1974) *Theoretical physics. Electrodynamics*. Kyiv: Vydavnytstvo "Vyshcha shkola".

Надійшла до редколегії 23.03.15