



## Список литературы

1. Бурьлин Е. И., Веселов А. А., Веселов А. Г., Джумалиев А. С., Иванов С. Н., Кирясова О. А. Образование молекул и кластеров оксида цинка в квазизамкнутом объеме реактивной газоразрядной плазмы // ПЖТФ. 2000. Т. 26, вып. 7, С. 31–34.
2. Сердобинцев А. А., Веселов А. Г., Кирясова О. А. Свойства пленок оксида цинка, синтезированных в низкотемпературном плазменном разряде в условиях бомбардировки компонентами плазмы // ФТП. 2008. Т. 42, вып. 4. С. 496–499.
3. Сердобинцев А. А., Бурьлин Е. И., Веселов А. Г., Кирясова О. А., Джумалиев А. С. Показатель преломления и постоянная решетки пленок оксида цинка, модифицированных в низкотемпературной плазме // ЖТФ. 2008. Т. 78, вып. 3. С. 83–85.
4. Вавилов В. Е., Кив А. Е., Ниязова О. Р. Механизмы образования и миграции дефектов в полупроводниках. М.: Наука, 1981. 368 с.

УДК 537.6; 544.7

## МАГНИТНЫЕ КОМПОЗИТЫ С НАНОЧАСТИЦАМИ МАГНЕТИТА: ПОЛУЧЕНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ, ПРИМЕНЕНИЕ

Д. В. Воронин<sup>1,2</sup>, А. В. Садовников<sup>1</sup>,  
Е. Н. Бегинин<sup>1</sup>, Д. Г. Щукин<sup>2,3</sup>, Д. А. Горин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет

<sup>2</sup>Макс Планк институт коллоидов и границ раздела фаз, Германия

<sup>3</sup>Университет Ливерпуля, Великобритания

E-mail: devoronin@yandex.ru

В работе описано получение композитных покрытий, содержащих наночастицы магнетита, методом последовательной адсорбции из раствора. Показана возможность управления физическими свойствами таких нанокompозитов путем варьирования числа циклов адсорбции магнитных наночастиц, а также проведен обзор возможных вариантов применения магнитных композитных материалов, основанных на их управляемых свойствах.

**Ключевые слова:** наночастицы магнетита, нанокompозитные покрытия, последовательная адсорбция, ферромагнитный резонанс, спектроскопия бриллюэновского светорассеяния.

### Magnetic Composites with Embedded Magnetite Nanoparticles: Preparation, Control of Physical Properties, Applications

D. V. Voronin, A. V. Sadovnikov,  
E. N. Beginin, D. G. Shchukin, D. A. Gorin

The formation of nanocomposites with embedded magnetite nanoparticles using layer-by-layer deposition is described in this review. It was shown, that physical properties of these composites are controllable by the variation of the magnetic nanoparticles layers number in their structure. The review of some practical application of magnetic nanocomposite materials based on their controllable properties was carried out as well.

**Key words:** magnetite nanoparticles, nanocomposites, layer-by-layer deposition, ferromagnetic resonance, brillouin light scattering spectroscopy.

Одной из актуальных задач современной науки и техники является создание новых функциональных материалов с управляемыми пара-

метрами для разработки миниатюрных устройств и приборов с заданными характеристиками. Весьма перспективным в этой связи выглядит использование композитных материалов, представляющих собой искусственно созданные наноструктурированные среды, основанные на принципах естественной самоорганизации молекул и наноразмерных компонентов [1–16]. Хорошо зарекомендовавшим себя способом получения композитных материалов является метод последовательной адсорбции из раствора противоположно заряженных полиэлектролитов [1, 4]. Также метод последовательной адсорбции позволяет включать в структуру получаемых материалов органические и неорганические наночастицы для придания новых функциональных свойств [17]. Основными преимуществами метода последовательной адсорбции перед другими методами получения нанокompозитных покрытий, таких, например, как метод Лэнгмюра – Блоджетт, является простота, хорошая воспроизводимость и высокое качество получаемых покрытий.

В последнее время активно исследуются нанокompозитные материалы, содержащие в своей структуре магнитные наночастицы, в связи с возможностью применения таких материалов в качестве радиопоглощающих покрытий [18, 19], сред для хранения информации [20, 21], в каче-





стве функциональных покрытий в электронике [22–24], а также в спинтронике [25, 26]. В ряде работ [13, 15, 16, 27] было показано, что реализовать управление физическими параметрами нанокompозитных покрытий, характеризующие их электрофизические [27], оптические [13, 15], магнитные [15, 16] свойства, а также морфологию поверхности [13, 15, 16], позволяет варьирование числа циклов адсорбции наночастиц, которое приводит к изменению их объемной фракции в покрытии [27].

С точки зрения применения покрытий, содержащих магнитные наночастицы, в качестве функциональных покрытий в электронике важным представляется исследование их электрофизических свойств. В работе [27] исследовались вольт-фарадные характеристики нанокompозитных материалов, полученных методом последовательной адсорбции из раствора, содержащих различное число слоев наночастиц магнетита, а также зависимость плотности тока от приложенного напряжения. Результаты измерения вольт-фарадных характеристик показали увеличение диэлектрической проницаемости композитных структур с ростом числа слоев магнитных наночастиц в покрытии. Эти результаты находятся в хорошем соответствии с результатами, полученными с помощью эллипсометрии как в данной работе, так и в работах, опубликованных ранее [13]. Также наблюдалась обратная зависимость максимальной ёмкости от числа слоев наночастиц – ёмкость была максимальной при минимальном числе циклов адсорбции магнитных частиц. Подобная же ситуация наблюдалась и при измерении вольт-амперных характеристик – максимальная плотность тока соответствовала при данном напряжении покрытию, содержащему минимальное число слоев наночастиц.

В электронике магнитные тонкие пленки находят широкое применение при создании магнитных тонкопленочных микроиндукторов [22–24]. Основным подходом является включение тонких пленок магнито-мягких материалов в структуру индуктивного элемента, изготавливаемого по планарной технологии. Введение магнитных пленок оказывает влияние на распределение магнитных полей в структуре индуктивного элемента, что приводит к увеличению его индуктивности и добротности. В работе [28] показан новый подход к улучшению характеристик индуктивных элементов, заключающийся в непосредственной модификации поверхности металлического проводника, входящего в структуру индукторов и

совмещающий два шага – создание на поверхности металла мезопористого слоя и заполнение полученных пор наночастицами магнетита методом последовательной адсорбции из раствора. Авторы работы [28] исследовали зависимость сопротивления и индуктивности от приложенного напряжения для индукторов, модифицированных покрытиями с различным числом слоев магнитных наночастиц. Было показано, что происходит увеличение индуктивности и практически не происходит изменения сопротивления с увеличением числа циклов адсорбции наночастиц магнетита, что, в свою очередь, приводит к увеличению добротности индуктивных элементов.

Для исследования магнитных свойств нанокompозитных материалов одними из самых эффективных методов являются магнито-резонансные методы: ферромагнитного (ФМР) и электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) [15, 29, 30]. Показано [15], что для композитов, содержащих различное число слоев магнитных наночастиц в своей структуре, наблюдается сужение ширины пиков магнитного резонанса с увеличением числа циклов адсорбции наночастиц магнетита, что свидетельствует об увеличении магнитной однородности композита. Также с ростом числа слоев увеличивается интенсивность поглощения образцами электромагнитного излучения. ФМР позволяет получить информацию и о степени агрегации магнитных наночастиц в композитном покрытии. В работе [29] исследовались композиты на основе наночастиц магнетита, заключенных в полимерную матрицу под действием внешнего магнитного поля. В этом случае из-за диполь-дипольного взаимодействия образуются линейные агрегаты наночастиц, что приводит к расщеплению спектра ФМР и появлению дополнительного пика. Как и в [15], интенсивность пиков увеличивалась с увеличением объемной фракции наночастиц магнетита. Также на параметры спектра ФМР влияет и размер наночастиц в покрытии. Например, в работе [30] показано, что при одной и той же объемной фракции наночастиц магнетита частицы меньшего размера обладают резонансным поглощением при более низких частотах внешнего СВЧ-воздействия. Также, исходя из результатов измерений ФМР, авторы оценили комплексную диэлектрическую и магнитную проницаемость композитов. Согласно полученным данным, мнимая часть магнитной проницаемости композита увеличилась с увеличением объемной фракции магнитных наночастиц. Действительная часть диэлектрической проницаемости исследу-



емого композита также возрастает из-за большей диэлектрической проницаемости наночастиц магнетита по сравнению с полимерной матрицей.

Особо следует выделить еще одно перспективное и активно развивающееся направление практического использования тонких пленок на основе магнетита – спинтронику [25]. Магнетит представляет собой полуметаллический ферри-магнитный оксид, в котором носители заряда на уровне Ферми практически полностью поляризованы [26], что было подтверждено исследованиями методом фотоэлектронной спектроскопии [31], поэтому в проводимости участвуют только носители заряда с одной ориентацией спина. К тому же магнетит имеет высокую температуру Кюри ( $T_c = 858$  К), обладает довольно высокой намагниченностью и проводимостью при комнатной температуре [32, 33]. Поэтому тонкие пленки магнетита представляют в настоящее время интерес в качестве источника зависящей от ориентации спина инжекции носителей заряда в полупроводниковые структуры, и ведется активное исследование магнитных свойств структур магнетит/полупроводник [32, 34, 35]. Например, в работе [32] проводилось исследование магнитных свойств структуры  $Fe_3O_4/InAs$  методом ФМР при различных направлениях внешнего магнитного поля. Из полученных данных были определены направления осей намагниченности, а также магнитной анизотропии в структурах с разной толщиной пленки  $Fe_3O_4$ . При этом константа магнитной анизотропии, обусловленная кубической структурой магнетита, увеличивается с увеличением толщины магнитной пленки, в то время как константа магнитной анизотропии, обусловленная наличием раздела фаз между  $Fe_3O_4$  и  $InAs$  и несовпадением их кристаллической решетки, остается неизменной. Наличие магнитной анизотропии в подобных системах может быть важным фактором для контроля переключения спинтронных устройств [34].

Однако существенным недостатком магнито-резонансных методов является то, что они не обладают пространственным разрешением и дают лишь информацию об интегральных характеристиках поглощения веществом СВЧ-излучения. Метод спектроскопии бриллюэновского светорассеяния (БЛС) [36, 37] лишен этого недостатка и позволяет исследовать динамику намагниченности образцов с пространственным разрешением вплоть до 250 нм [38]. БЛС является оптическим спектроскопическим методом, в основе которого лежит явление рассеяния света на элементарных

квантах колебания магнитной подсистемы вещества – магнонах. БЛС широко используется для изучения когерентной и некогерентной динамики намагниченности на частотах от 1 до 500 ГГц [36]. В работе [39] исследовались спектры некогерентных (тепловых) магнонов в композитных материалах, содержащих различное число слоев магнитных наночастиц. Было показано, что интенсивность спектров бриллюэновского рассеяния зависит от числа циклов адсорбции наночастиц магнетита немонотонно. Также измерения проводились при различных значениях внешнего магнитного поля, в которое помещались образцы. Результаты, полученные при значении внешнего магнитного поля в режиме насыщения образца, можно сопоставить с результатами, полученными ранее для подобных систем методом ЭПР [27]. Ширина пиков ЭПР и спектра тепловых магнонов, полученного на основе результатов анализа БЛС измерений, практически совпадают с учетом погрешности их определения.

В заключение следует еще раз отметить, что в настоящее время с применением различных методов ведется интенсивное исследование электрофизических и магнитных свойств композитных материалов на основе наночастиц магнетита. Главной особенностью таких композитных материалов является возможность управлять их параметрами, варьируя число циклов адсорбции магнитных наночастиц. Такая возможность получать материалы с заданными характеристиками открывает широкие перспективы их практического применения в различных областях техники и электроники.

*Работа выполнена в рамках индивидуального гранта Германской службы академических обменов (DAAD A/10/75870).*

#### Список литературы

1. Iler R. K. Multilayers of colloidal particles // J. Colloid Interface Sci. 1966. Vol. 21, № 6. P. 569–594.
2. Decher G., Hong J. D., Schmitt J. Buildup of ultrathin multilayer films by a self-assembly process : III. Consecutively alternating adsorption of anionic and cationic polyelectrolytes on charged surfaces // Thin Solid Films. 1992. Vol. 210–211, № 2. P. 831–835.
3. Lvov Y., Essler F., Decher G. Combination of polycation/polyanion self-assembly and Langmuir–Blodgett transfer for the construction of superlattice films // J. Phys. Chem. 1993. Vol. 97, № 51. P. 13773–13777.
4. Decher G. Fuzzy Nanoassemblies: Toward Layered Polymeric Multicomposites // Science. 1997. Vol. 277, № 5330. P. 1232–1237.
5. Möhwald H. From Langmuir monolayers to nanocapsules // Colloids Surf. A. 2000. Vol. 171, № 1–3. P. 25–31.



6. Sato K., Suzuki I., Anzai J.-I. Preparation of Polyelectrolyte-Layered Assemblies Containing Cyclodextrin and Their Binding Properties // *Langmuir*. 2003. Vol. 19, № 18. P. 7406–7412.
7. Cui T., Hua F., Lvov Y. Lithographic approach to pattern multiple nanoparticle thin films prepared by layer-by-layer self-assembly for microsystems // *Sens. Actuators. A*. 2004. Vol. 114, № 2–3. P. 501–504.
8. Khomutov G. B. Interfacially formed organized planar inorganic, polymeric and composite nanostructures // *Adv. Colloid Interface Sci.* 2004. Vol. 111, № 1–2. P. 79–116.
9. Jomaa H. W., Schlenoff J. B. Salt-Induced Polyelectrolyte Interdiffusion in Multilayered Films : A Neutron Reflectivity Study // *Macromolecules*. 2005. Vol. 38, № 20. P. 8473–8480.
10. Kolasińska M., Warszyński P. The effect of support material and conditioning on wettability of PAH/PSS multilayer films // *Bioelectrochemistry*. 2005. Vol. 66, № 1–2. P. 65–70.
11. Lee C.-W., Park H.-S., Gong M.-S. Humidity sensitive properties of quaternary ammonium salts containing polyelectrolytes crosslinked with 2-oxazoline cross-linker // *Sens. Actuators, B*. 2005. Vol. 109, № 2. P. 256–263.
12. Yang Y., Yang X., Liu Y.-L., Liu Z.-M., Yang H.-F., Shen G.-L., Yu R.-Q. Optical sensor for lithocholic acid based on multilayered assemblies from polyelectrolyte and cyclodextrin // *J. Photochem. Photobiol. A*. 2005. Vol. 171, № 2. P. 137–144.
13. Grigoriev D., Gorin D., Sukhorukov G. B., Yashchenok A., Maltseva E., Möhwald H. Polyelectrolyte/magnetite Nanoparticle Multilayers : Preparation and Structure Characterization // *Langmuir*. 2007. Vol. 23, № 24. P. 12388–12396.
14. Kolasińska M., Krastev R., Warszyński P. Characteristics of polyelectrolyte multilayers : Effect of PEI anchoring layer and posttreatment after deposition // *J. Colloid Interface Sci.* 2007. Vol. 305, № 1. P. 46–56.
15. Gorin D. A., Yashchenok A. M., Koksharov Y. A., Neveshkin A. A., Serdobintsev A. A., Grigoriev D. O., Khomutov G. B. Surface morphology and optical and magnetic properties of polyelectrolyte/magnetite nanoparticles nanofilms // *Tech. Phys.* 2009. Vol. 54, № 11. P. 1675–1680.
16. Dincer I., Tozkoparan O., German S. V., Markin A. V., Yildirim O., Khomutov G. B., Gorin D. A., Venig S. B., Elerman Y. Effect of the number of iron oxide nanoparticle layers on the magnetic properties of nanocomposite LbL assemblies // *J. Magn. Magn. Mater.* 2012. Vol. 324, № 19. P. 2958–2963.
17. Schmitt J., Decher G., Dressick W. J., Brandow S. L., Geer R. E., Shashidhar R., Calvert J. M. Metal nanoparticle/polymer superlattice films : Fabrication and control of layer structure // *Adv. Mater.* 1997. Vol. 9, № 1. P. 61–65.
18. Correa-Duarte M. A., Giersig M., Kotov N. A., Liz-Marzán L. M. Control of Packing Order of Self-Assembled Monolayers of Magnetite Nanoparticles with and without SiO<sub>2</sub> Coating by Microwave Irradiation // *Langmuir*. 1998. Vol. 14, № 22. P. 6430–6435.
19. Wei J., Liu J., Li S. Electromagnetic and microwave absorption properties of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic films plated on hollow glass spheres // *J. Magn. Magn. Mater.* 2007. Vol. 312, № 2. P. 414–417.
20. Dai Q., Berman D., Virwani K., Frommer J., Jubert P.-O., Lam M., Topuria T., Imano W., Nelson A. Self-Assembled Ferrimagnet–Polymer Composites for Magnetic Recording Media // *Nano Lett.* 2010. Vol. 10, № 8. P. 3216–3221.
21. Makarov D., Brombacher C., Liscio F., Maret M., Parliniska M., Meier S., Kappenberger P., Albrecht M. FePt films on self-assembled SiO<sub>2</sub> particle arrays // *J. Appl. Phys.* 2008. Vol. 103, № 5. P. 053903-4.
22. Yamaguchi M., Hyeon Kim K., Ikeda S. Soft magnetic materials application in the RF range // *J. Magn. Magn. Mater.* 2006. Vol. 304, № 2. P. 208–213.
23. Korenivski V., Van Dover R. B. Magnetic film inductors for radio frequency applications // *J. Appl. Phys.* 1997. Vol. 82, № 10. P. 5247–5254.
24. Lee C.-H., Shin D.-H., Ahn D.-H., Nam S.-E., Kim H.-J. Fabrication of thin film inductors using FeTaN soft magnetic films // *J. Appl. Phys.* 1999. Vol. 85, № 8. P. 4898–4900.
25. Žutić I., Fabian J., Das Sarma S. Spintronics : Fundamentals and applications // *Rev. Mod. Phys.* 2004. Vol. 76, № 2. P. 323–410.
26. Чеченин Н. Г. Магнитные наноструктуры и их применение : учеб. пособие. М. : Грант Виктория ТК, 2006. 166 с.
27. Yashchenok A. M., Gorin D. A., Badylevich M., Serdobintsev A. A., Bedard M., Fedorenko Y. G., Khomutov G. B., Grigoriev D. O., Möhwald H. Impact of magnetite nanoparticle incorporation on optical and electrical properties of nanocomposite LbL assemblies // *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2010. Vol. 12, № 35. P. 10469–10475.
28. Voronin D. V., Borisova D., Belova V., Gorin D. A., Shchukin D. G. Effect of Surface Functionalization of Metal Wire on Electrophysical Properties of Inductive Elements // *Langmuir*. 2012. Vol. 28, № 33. P. 12275–12281.
29. Sorokina O. N., Bychkova A. V., Kovarskii A. L. Analysis of the ferromagnetic resonance spectra of aggregates of magnetite nanoparticles formed by a magnetic field // *Russ. J. Phys. Chem. B*. 2009. Vol. 3, № 2. P. 257–261.
30. Caprile A., Coisson M., Fiorillo F., Kabos P., Manu O. M., Olivetti E. S., Olariu, M. Pasquale M. A., Scarlatache V. A. Microwave Behavior of Polymer Bonded Iron Oxide Nanoparticles // *IEEE Trans. Magn.* 2012. Vol. 48, № 11. P. 3394-3397.
31. Alvarado S. F., Eib W., Meier F., Pierce D. T., Sattler K., Siegmann H. C., Remeika J. P. Observation of Spin-Polarized Electron Levels in Ferrites // *Phys. Rev. Lett.* 1975. Vol. 34, № 6. P. 319–322.
32. Huang Z. C., Hu X. F., Xu Y. X., Zhai Y., Xu Y. B., Wu J., Zhai H. R. Magnetic properties of ultrathin single crystal Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> film on InAs(100) by ferromagnetic resonance // *J. Appl. Phys.* 2012. Vol. 111, № 7. P. 07C108-3.
33. Fernandez-Pacheco A., Orna J., De Teresa J. M., Algarrabel P. A., Morellon L., Pardo J. A., Ibarra M. R., Kampert E., Zeitler U. High-field Hall effect and magnetoresistance in Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> epitaxial thin films up to 30 Tesla // *Appl. Phys. Lett.* 2009. Vol. 95, № 26. P. 262108-3.
34. Zhai Y., Huang Z. C., Fu Y., Ni C., Lu Y. X., Xu Y. B., Wu J., Zhai H. R. Anisotropy of ultrathin epitaxial Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>



- films on GaAs(100) // J. Appl. Phys. 2007. Vol. 101, № 9. P. 09D126-3.
35. Huang Z. C., Zhai Y., Lu Y. X., Li G. D., Wong P. K. J., Xu Y. B., Xu Y. X., Zhai H. R. The interface effect of the magnetic anisotropy in ultrathin epitaxial  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  film // Appl. Phys. Lett. 2008. Vol. 92, № 11. P. 113105-3.
36. Demokritov S. O., Hillebrands B., Slavin A. N. Brillouin light scattering studies of confined spin waves: linear and nonlinear confinement // Physics Reports. 2001. Vol. 348, № 6. P. 441–489.
37. Demidov V. E., Demokritov S. O., Hillebrands B., Laufenberg M., Freitas P. P. Radiation of spin waves by a single micrometer-sized magnetic element // Appl. Phys. Lett. 2004. Vol. 85, № 14. P. 2866–2868.
38. Demokritov S. O., Demidov V. E. Micro-Brillouin Light Scattering Spectroscopy of Magnetic Nanostructures // IEEE Trans. Magn. 2008. Vol. 44, № 1. P. 6–12.
39. Воронин Д. В., Садовников А. В., Щукин Д. Г., Горин Д. А., Бегинин Е. Н., Шараевский Ю. П., Никитов С. А. Исследование спектров тепловых магнонов в композитных материалах, содержащих наночастицы магнетита, методом бриллюэновского рассеяния света // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39, № 16. С. 6–13.

УДК 535.8: 537.9 544-0.22.532(075.8)

## ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ЛЕНГМЮРА–БЛОДЖЕТТ, СОДЕРЖАЩИХ КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ CdSe/ZnS

И. А. Горбачев<sup>1</sup>, А. С. Чумаков<sup>1</sup>, А. В. Ермаков<sup>1</sup>, В. П. Ким<sup>2</sup>,  
Е. С. Сперанская<sup>1</sup>, И. Ю. Горячева<sup>1</sup>, Е. Г. Глуховской<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова  
E-mail: iliyaigorbachev@mail.ru

Были изучены ленгмюровские монослои квантовых точек CdSe/CdS/ZnS, стабилизированные олеиновой кислотой, без использования дополнительной амфифильной матрицы. Монослои были перенесены на твердую подложку, что подтвердилось методами АСМ и флуоресцентной спектроскопии. Спектры флуоресценции получены для различного числа слоев в ПЛБ, до и после лазерного облучения ( $\lambda = 473$  нм, 6 мВт) с различной экспозицией (до 12 мин). Обнаружено снижение уровня флуоресценции при длительности экспозиции (до 30% за 12 мин).

**Ключевые слова:** ленгмюровские монослои, пленки Ленгмюра–Блоджетт, квантовые точки, оптические свойства, нанокomпозитные структуры с QD.

### Investigation of Multilayers Structures Based on the Langmuir–Blodgett Films of CdSe/ZnS Quantum Dots

I. A. Gorbachev, A. S. Chumakov, A. V. Ermakov, V. P. Kim,  
E. S. Speranskaya, I. Yu. Goryacheva, E. G. Glukhovskoy

This article presents the results of a study QD Langmuir monolayers on the water subphase and LB films transferred onto a solid surface. The monolayers of CdSe/CdS/ZnS QD stabilized by oleic acid without of supplements of amphiphilic matrix, was created. The monolayers was transferred on the solid substrate, what was proved by the AFM and the fluorescence spectroscopy methods. The fluorescence spectra of the LB films with variable numbers of layers was captured. Also the spectrum of fluorescence before and after the laser irradiation with the wavelength 473 nm and optical power 6 mW was captured. The decreasing of the fluorescence intensity after 12 minutes of impact by 30% was obtained.

**Key words:** Langmuir monolayers, Langmuir–Blodgett films, quantum dots, optical properties, nanocomposite structure with a QD.

### Введение

Со времени первых исследований существенно расширился список веществ и их сочетаний в структурах типа «ядро–оболочка», которые обладают фотолюминесцентными свойствами [1, 2]. Вместе с этим растет интерес к планарным структурам, содержащим такие наночастицы. На первый план выступают вопросы как технологического, так и фундаментального характера: как управлять составом слоев, концентрацией наночастиц в слое, их планарным упорядочением в каждом из слоев, каким образом сказывается взаимная корреляция наночастиц соседних слоев на свойства объемных структур в целом и др.

В [3] приведены результаты исследований монослоев квантовых точек, авторы [4] исследовали процессы переноса энергии в таких системах на твердых подложках, была отмечена их перспективность для создания иммуносенсоров. В [5] исследовались оптические параметры монослоев квантовых точек. Особенности переноса на различные типы подложек описаны в [6]. Была показана селективность при переносе на гидрофобную поверхность. В статье [7] проводилось получение золь-гель лантана с внедренными в

