



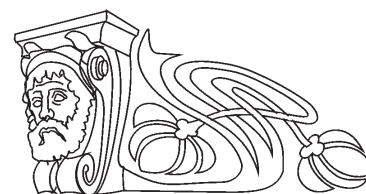
1. Dye Molecules // *Macromolecules*. 2011. Vol. 44, № 18. P. 7385–7393.
4. Арсланов В. В. Полимерные монослои и пленки Ленгмюра–Блоджетт. Влияние химической структуры полимера и внешних условий на формирование и свойства организованных планарных ансамблей // *Успехи химии*. 1994. Т. 63. С. 3–42.
5. Ahrens H., Förster S., Helm C. A. Polyelectrolyte Brushes Grafted to the Air/Water Interface // *Macromolecules*. 1997. Vol. 30. P. 8447–8452.
6. Ahrens H., Papastavrou G., Helm C. A. Characterizing the phases of Langmuir monolayers of cylindrical brushes with x-ray reflectivity and diffraction // *J. Phys. Condens. Matter*. 2005. Vol. 17. P. 685–701.
7. Luzinov I., Minko S., Tsukruk V. V. Responsive brush layers : from tailored gradients to reversibly assembled Nanoparticles // *Soft Matter*. 2008. Vol. 4. P. 714–725.
8. Currie E. P. K., Norde W., Cohen M. A. Stuart Tethered polymer chains : surface chemistry and their impact on colloidal and surface properties // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2003. Vol. 100–102. P. 205–265.
9. Liu Z., Pappacena K., Cerise J., Kim J., Durning C. J., O'Shaughnessy B., Levicky R. Organization of Nanoparticles on Soft Polymer Surfaces // *Nano Lett.* 2002. Vol. 2, № 3. P. 219–224.
10. Zhao B., Zhu L. Mixed Polymer Brush-Grafted Particles : A New Class of Environmentally Responsive Nanostructured Materials // *Macromolecules*. 2009. Vol. 42, № 24. P. 9369–9383.
11. Pyun J. Nanocomposite Materials from Functional Polymers and Magnetic Colloids // *Polymer Reviews*. 2007. Vol. 47. P. 231–263.
12. Jiao Y., Akcora P. Assembly of Polymer-Grafted Magnetic Nanoparticles in Polymer Melts // *Macromolecules*. 2012. Vol. 45, № 8. P. 3463–3470.
13. Stefaniu C., Chanana M., Ahrens H., Wang D., Brezesinski G., Moehwald H. Conformational induced behavior of copolymer-capped magnetite nanoparticles at the air/water interface // *Soft. Matter*. 2011. Vol. 7. P. 4267–4275.
14. Manne S., Aksay I. A. Thin films and nanolaminates incorporating organic/inorganic interfaces // *Current Opinion in Solid State & Materials Science*. 1997. Vol. 2. P. 358–364.
15. Tian Y., Fendler J. H. Langmuir–Blodgett film formation from fluorescence-activated, surfactant-capped, size-selected CdS nanoparticles spread on water surfaces // *Chem. Mater*. 1996. Vol. 8. P. 969–974.
16. Kotov N. A., Zavala G., Fendler J. H. Langmuir–Blodgett films prepared from ferroelectric lead zirconium titanate particles // *J. Phys. Chem*. 1995. Vol. 99. P. 12375–12378.
17. Fendler J. H. Nanoparticles at air/water interfaces // *Curr. Opin. Colloid Interface Science*. 1996. Vol. 1. P. 202–207.
18. Shin H., Collins R. J., De Guire M. R., Heuera A. H., Sukenik C.N. Synthesis and characterization of TiO₂ thin films on organic self-assembled monolayers. Part I. Film formation from aqueous solutions // *J. Mater. Res*. 1995. Vol. 10, iss. 3. P. 692–698.
19. Liu Y., Wang A., Claus R. J. Molecular Self-Assembly of TiO₂ / Polymer Nanocomposite Films // *Phys. Chem. B*. 1997. Vol. 101, № 8. P. 1385–1388.
20. Minko S. Responsive Polymer Brushes // *J. Macromolecular Science. Part C : Polymer Reviews*. 2006. Vol. 46. P. 397–420.

УДК 620.3

ВНУТРЕННИЕ И ВНЕШНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ КАК ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ ИЗ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ МОЛЕКУЛ

С. В. Стецюра, М. С. Буланов, И. В. Маляр

Саратовский государственный университет
E-mail: stetsyurasv@mail.ru



Проведен обзор отечественных и зарубежных научных статей, посвященных созданию гибридных структур и наиболее распространенным методам влияния на структуру, состав и свойства органических покрытий. Показано, что классификация методов воздействия и модификации на химические и физические методы достаточно условна и во многом объясняется электрическими взаимодействиями, возникающими как при приложении внешних электрических полей, так и на уровне молекул и их фрагментов, т.е. на уровне внутренних электрических полей, существующих в полиэлектrolитном растворе и на границах фаз. На примерах показана эффективность применения комплексных методов модификации потенциала поверхности и перспективы их применения.

Ключевые слова: технология гибридных структур, органические структурированные слои, потенциал поверхности, химические и физические факторы, внешние и внутренние электрические поля, полиэлектrolиты.

The Impact of External and Internal Electrostatic Fields on Formation of Polyelectrolyte Molecules Coatings

S. V. Stetsyura, M. S. Bulanov, I. V. Malyar

The review of scientific articles devoted to preparation of hybrid structures and widespread methods of impact on structure, composition



and organic coating properties was carried out. It was demonstrated that difference between chemical and physical methods to modify and to impact is relative due to similar electrostatic interaction under applied external electric fields as well as between molecules and their fragments, i.e. there are internal electric fields in polyelectrolyte's solution and at interfaces. The efficiency of complex methods of surface potential modification as well as their prospects were shown by examples.

Key words: hybrid structures technology, organic structured layers, surface potential, chemical and physical factors, external and internal electrostatic fields, polyelectrolytes.

Введение

В настоящее время ведутся активные исследования в области создания гибридных структур, представляющих собой композиционный материал на основе полимерной матрицы с наночастицами различного функционального назначения, либо слоистые композиты «полупроводниковая подложка – полимерный наноразмерный слой» [1–6]. Практическая реализация и применение структур «полупроводниковая подложка – органическое металлоструктурированное покрытие» прослеживается по патентам РФ последних лет [7–9].

В связи с этим весьма актуальна разработка новых базовых решений создания гибридных структур с использованием полимерных композиционных материалов, что требует фундаментальных исследований процессов и явлений, влияющих на результаты синтеза и позволяющих управлять параметрами указанных структур как при изготовлении, так и в процессе эксплуатации.

Одним из современных, развивающихся способов создания гибридных структур является адсорбция полимеров, имеющих эффективный заряд в растворе (полиэлектролитов), на заряженные поверхности и границы раздела. Ключевыми проблемами технологии здесь являются процессы, происходящие на границах раздела в многофазных системах, включая вопросы самоорганизации, формирования реальной структуры гибридных структур и управления ею при помощи внешних воздействий [10–12]. Эти вопросы сегодня определяют прогресс во всех актуальных направлениях физического материаловедения, включая проблемы разработки метаматериалов и фотонных кристаллов.

Наиболее распространенные методы влияния на структуру, состав и свойства органических, многокомпонентных полиэлектролитных покрытий можно условно разделить на две группы – химические и физические. Причем сущность химических факторов воздействия во многом

объясняется электрическими взаимодействиями на уровне молекул и их фрагментов, т.е. внутренними электрическими полями, существующими в полиэлектролитном растворе.

1. Химические методы модификации потенциала поверхности

К химическим методам относятся изменения рН и ионной силы раствора, а также концентрации, что приводит к изменению зарядового состояния полиэлектролитных молекул и наночастиц, находящихся в растворе. Это, в свою очередь, изменяет конформацию полиэлектролитных молекул в растворе за счет изменения взаимодействия между отдельными фрагментами молекулы и, как следствие, изменяет взаимодействие между молекулами в формируемом на подложке слое и между слоем и молекулами на поверхности подложки. Так, например, рост концентрации соли или рН среды приводит к уменьшению диаметра клубка молекулы, причем адсорбция молекул с большим диаметром клубка приводит к меньшей поверхностной плотности покрытия (г/м^2), чем адсорбция молекул с малым диаметром [13].

Также к химическим методам изменения структуры и параметров формируемого покрытия можно отнести химическую обработку подложки или нанесение интерфейсного слоя, что способствует лучшему закреплению органических молекул и формированию более однородного слоя.

Так, в статье [14] изучалась возможность получения супергидрофобной поверхности образца. Гидрофобизация поверхности в процессе ее модификации означает, что при этом изменяется потенциал модифицируемой поверхности. Изменение поверхностного потенциала проводящей подложки с покрытием на основе индийоловянных оксидов (ИТО) достигалось путём послойного осаждения полимеров, таких как полидиаллилдиметиламмонийхлорид (PDDA) и полистиролсульфонат (PSS), с последующим осаждением ионов Ag из раствора солей AgNO_3 и NaNO_3 . СЭМ исследование морфологии поверхности образцов с нанесенными частицами Ag как предварительно модифицированной слоем полиэлектролитов, так и «чистой» подложки с ИТО при разном времени нанесения частиц Ag и при различных постоянных отрицательных смещениях напряжения на проводящей подложке, показало возможность значительного изменения поверхностного потенциала и гидрофобности поверхности полученной структуры.



Исследования, проводимые в Саратовском государственном университете [3, 15–17], показали, что с помощью технологии Ленгмюра–Блоджетт можно создавать различные микронные и наноразмерные металлосодержащие структуры на поверхности твердых подложек: дендриты с ветвями до третьего порядка, кластеры различных размеров и скопления кластеров, причем возможен контроль формы, структуры и размеров в зависимости от различных технологических параметров процесса [18]. Наличие металлизированных кластеров на поверхности полупроводника существенно меняет поверхностный потенциал в местах своей локализации. Напряженность создаваемых с помощью ПЛБ на поверхности планарных подложек локальных электрических полей зависит от рельефа поверхности и может достигать 50 кВ/см. Полученные структуры также имеют особенности интегральных оптических и электрофизических свойств, интересных для дальнейшего изучения и применения [19].

Адсорбция полиэлектролитных молекул на заряженную поверхность обусловлена как специфическими химическими, так и электростатическими силами. В теоретических работах [20] рассматривалось влияние плотности поверхностного заряда подложки на толщину адсорбированного слоя полиэлектролита. Теоретическая зависимость толщины адсорбируемого слоя от поверхностной плотности заряда была предложена в [21]. Но в этой работе не предлагались и, тем более, не проверялись на практике методы управления поверхностной плотностью заряда подложки в процессе адсорбции.

2. Физические методы модификации потенциала поверхности

К физическим методам относится управление структурой и составом формирующихся многокомпонентных материалов с помощью внешних воздействий, среди которых распространены такие, как *электрическое поле* и *освещение*.

Приложение электрического поля по нормали к поверхности приводит к изменению электростатического поверхностного потенциала φ_s . На этом принципе основывается работа всех структур «металл – диэлектрик – полупроводник» (МДП) [22]. Приложение *электрического поля* по нормали к поверхности раздела «подложка – полиэлектролит» рассматривается в достаточно большом количестве работ. В процессе электролиза воды и водных сред при потенциа-

лах, превышающих потенциал разложения воды (1.23 В), возможно протекание электрохимических и химических реакций на аноде и катоде. Образовавшиеся таким образом валентно-ненасыщенные частицы (радикалы) обладают повышенной реакционной способностью [23]. Подобная электрохимическая активация водных растворов может влиять на качество ленгмюровского слоя и вероятность присоединения ионов металла.

В статьях [24, 25] предложен метод формирования фотонных кристаллов, основанный на конвекционном осаждении коллоидных частиц на вертикально расположенные подложки в присутствии постоянного электрического поля, направленного перпендикулярно образующейся пленке, и переменного электрического поля в плоскости подложки. Исследуемые образцы представляли собой пленки коллоидных кристаллов, состоящие из полистирольных микросфер (диаметр 530 ± 25 нм) на проводящей стеклянной подложке с проводящим покрытием $\text{In}_2\text{O}_3(\text{SnO}_2)_x$. Пленки фотонных кристаллов получали как методом вертикального осаждения с приложением постоянного электрического поля перпендикулярно подложке ($E = 0.25$ В/см), так и методом, отличающимся дополнительным приложением переменного электрического поля в плоскости подложки ($E_k = 0.5$ В/см с частотой 2 Гц). Было показано, что предложенный подход позволяет уменьшить мозаичность структуры и количество дефектов упаковки коллоидных частиц и увеличить размер образуемых «доменов». Улучшение качества формирующейся структуры приводит к увеличению интенсивности отражения света в области стоп-зоны (111) фотонного кристалла на 4%. Полученные пленки коллоидных кристаллов могут быть использованы для формирования высококачественных инвертированных структур на их основе. При этом необходимо отметить, что в указанной работе продольное электрическое поле приложено к относительно подвижному адсорбированному слою, что и обеспечивает описанный результат. Действие на адсорбцию и кристаллическое совершенство органических слоев продольного электрического поля, приложенного к полупроводниковой подложке, авторами статьи не обнаружено.

Как правило, экспериментаторы сочетают приложение электрического поля с изменением ионной силы раствора или его pH, причем действие химических и физических факторов одинаково значимо. Это дает основание выделить третью группу методов.



3. Комплексные методы модификации потенциала поверхности

В качестве примера можно привести работу [26], в которой рассматривается влияние присутствия положительных ионов Cu , являющихся катализатором клик-реакции, на нейтрализацию поверхностного потенциала уже осажденного полимерного покрытия, что уменьшает силы отталкивания полимерных звеньев. Используя исследование изменения сдвига резонансной частоты кварцевой подложки при одновременном циклическом изменении потенциала от -350 до

$+600$ мВ со скоростью 50 мВ/с, G. Rydzek с соавторами установили, что при отсутствии ионов Cu в растворе увеличение толщины со временем первоначально нанесенного покрытия не наблюдается. При наличии ионов Cu в растворе полиэлектролита происходит увеличение резонансной частоты кварцевых весов, что говорит о непрерывном осаждении полимерных звеньев на поверхность подложки и об увеличении толщины полимерной пленки. Также показано, что скорость нарастания полимерного покрытия увеличивается с увеличением концентрации ионов Cu (рис. 1).

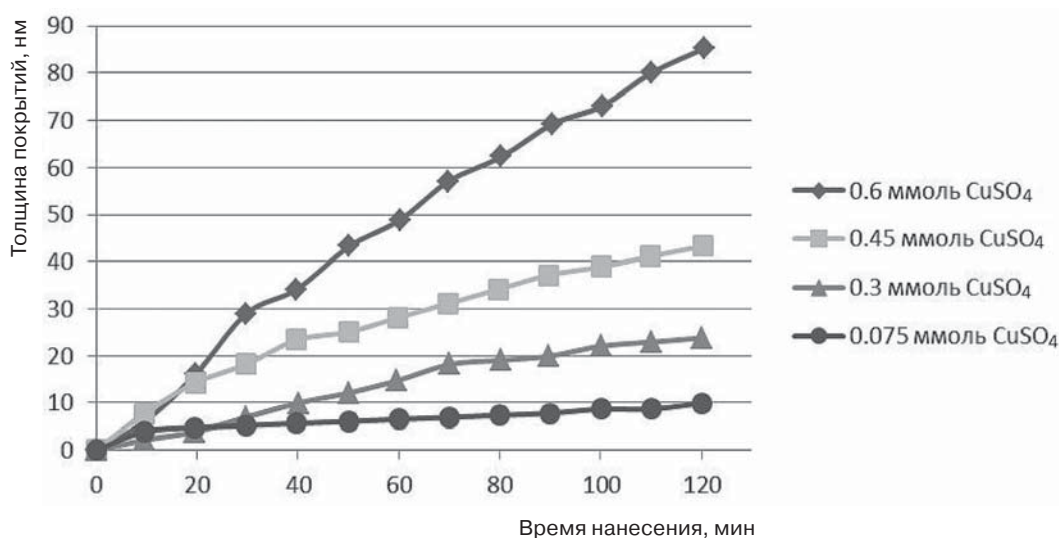


Рис. 1. Изменение толщины полимерной пленки PAA/PEI в процессе нанесения покрытия при различной концентрации ионов Cu в растворе (от 0.075 до 0.6 ммоль раствора CuSO_4). Скорость увеличения толщины покрытия прямо пропорционально зависит от концентрации ионов Cu

В статье [27] для модификации потенциала адсорбируемых углеродных нанотрубок используется хитозан. Авторами проведено исследование влияния потенциала нанокompозитов хитозана и углеродных трубок, модифицированных полимерами PSS и PEI , на их агрегацию при адсорбции на поверхности. Выявлено, что для успешного катодного осаждения нанокompозитов на основе PEI необходимо применение комплексов « PEI – ионы металлов», таких как Ag^+ , Mn^{2+} , Cu^+ , Ni^{2+} , Zn^{2+} . Эффективность данной модификации достигалась только в присутствии внешнего электрического поля. Необходимое напряжение смещения для нанесения нанокompозитов на подложку в проведенных экспериментах составляло 10 – 30 В при времени нанесения 1 – 10 минут.

В работе [28] исследовалось влияние внешнего поля на увеличение скорости адсорбции полимерных покрытий.

В качестве подложки использовали ITO -слой, выступающий в качестве катода. При осаждении на него PEI варьировали рН от 4 до 10 . Расстояние между электродами 3 см, напряжение смещения варьировали от 0.5 до 4 В. Рис. 2 демонстрирует результаты совместного воздействия химических и физических факторов на эффективность адсорбции. При приложении потенциала 1 В и при рН = 4.5 наблюдается наибольшая скорость осаждения слоя. Наблюдаемое немонокотное изменение толщины пленки в зависимости от рН и напряжения было объяснено авторами гидролизом воды вблизи анода и, как следствие, увеличением концентрации отрицательных ионов вблизи электрода. Исследование влияния условий получения осажденных слоев PEI и PAA позволило получать полимерные пленки заданной толщины путём варьирования рН, напряжения смещения, приложенного перпендикулярно подложке, и времени осаждения (см. рис. 2).

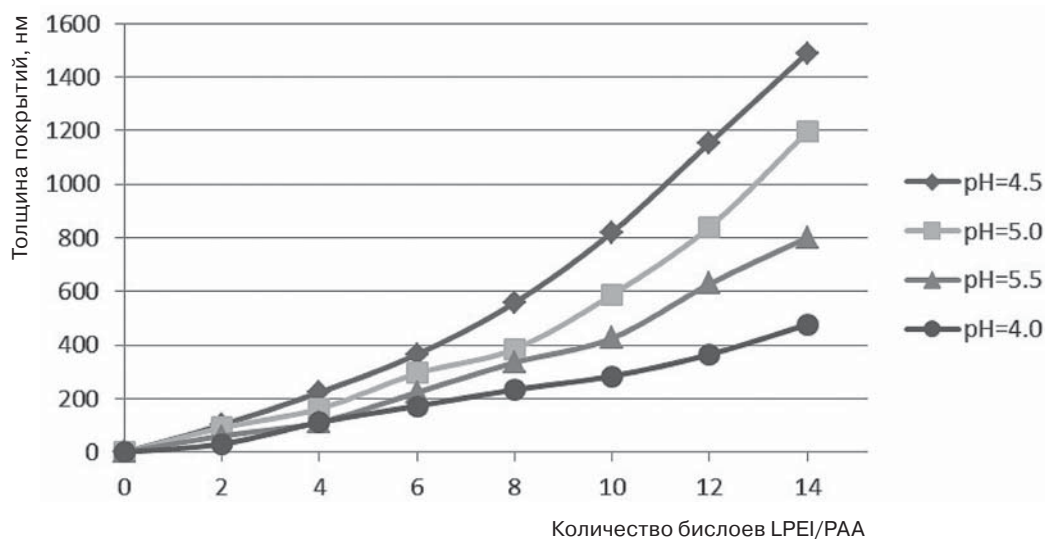


Рис. 2. Эллипсометрическое исследование изменения толщины пленки при увеличении количества бислоев *LPEI/PAA* при различных значениях pH среды. Сборка проводилась при приложении электрического потенциала 1.0 В. Наибольшая скорость нанесения наблюдалась при pH = 4.5

Заключение

Таким образом, большинство экспериментаторов сочетают физические и химические способы управления свойствами гибридных структур, например, сочетают приложение нормального к поверхности электрического поля с изменением ионной силы раствора или его pH. Но при этом воздействие на процесс и результат адсорбции результирующего электрического поля, являющегося комбинацией внешних и внутренних электрических полей, как правило, не рассматривается.

В Саратовском государственном университете уже более 20 лет разрабатываются и совершенствуются методики получения и исследования гибридных материалов, многослойных структур и композитов с включениями полупроводниковых и металлических частиц, в том числе с микро- и нанометровой топологией [29–34]. В последнее десятилетие авторами статьи активно разрабатывались технологии [2–5,12] и методы исследования [4, 10, 34–36] моно- и мультислойных наноструктурированных органических и гибридных покрытий. Проводимые исследования позволили не только изучить особенности технологий Ленгмюра–Блоджетт и полиионной сборки, процессы преципитации в твердых ограниченных растворах, позволяющие описать и прогнозировать свойства фоточувствительных гетерофазных полупроводников [31, 34, 37], но и разработать собственные методики исследования материалов такого рода [4, 34, 38]. Новизна разрабатываемых методик заключается в учете влияния на процесс

адсорбции как внешних, так и внутренних электрических полей, приложенных (формируемых) не только перпендикулярно границе раздела «подложка – электролит», но и в плоскости полупроводниковой подложки. Управляемость процесса зависит от применяемых методов подготовки поверхности подложки, призванных обеспечить заданный исходный поверхностный потенциал, а также от материала подложки. Применяемое в процессе адсорбции электромагнитное излучение оптического диапазона определенной интенсивности и диапазона длин волн способствует конформационной перестройке адсорбированных молекул монослоя [12], улучшая степень объемной упорядоченности молекул и морфологию полученной поверхности монослоя.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-08-00529-а).

Список литературы

1. Помогайло А. Д. Гибридные полимер-неорганические нанокompозиты // Успехи химии. 2000. Т. 69, вып. 1. С. 60–89.
2. Штыков С. Н., Калач А. В., Панкин К. Е., Русанова Т. Ю., Селеменев В. Ф. Применение плёнок Ленгмюра–Блоджетт в качестве модификаторов пьезорезонансных сенсоров // Журн. аналит. химии. 2007. Т. 62, № 5. С. 544–548.
3. Вениг С. Б., Стецюра С. В., Глуховской Е. Г., Климова С. А., Мальяр И. В. Формирование металлических кластеров в органическом монослое, полученном методом Ленгмюра // Нанотехника. 2009. Т. 3, № 19. С. 49–54.



4. *Malyar I. V., Gorin D. A., Stetsyura S. V., Santer S.* Effect of nanodimensional polyethylenimine layer on current voltage characteristics of hybrid structures based on silicon single crystal // *J. Electron. Mater.* 2012. Vol. 41, № 12. P. 3427–3435.
5. *Стецюра С. В., Глуховской Е. Г., Климова С. А., Мальяр И. В.* Фоточувствительные материалы с наноразмерными включениями, полученные с использованием технологии Ленгмюра–Блоджетт // *Вестн. СГТУ.* 2007. № 4(28), вып. 1. С. 85–93.
6. *Яшикова С. С., Климова С. А., Мальяр И. В., Стецюра С. В.* Исследование сульфида кадмия с монослоем арахината свинца на поверхности методом СТМ // *Нанoeлектроника, нанoфотоника и нелинейная физика : тез. докл. VI конф. молодых ученых.* Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2011. С. 80–81.
7. Способ изготовления фотопроводящих радиационно-стойких пленок : пат. 2328059 Рос. Федерация. № 2006144140/28; заявл. 14.12.06; опубл. 27.06.08, Бюл. № 18. 11 с.
8. Способ получения просветляющего покрытия : пат. 2239854 Рос. Федерация. № 2003105003; заявл. 19.02.03; опубл. 10.11.04, Бюл. № 31. 5 с.
9. Способ получения тонких металлических пленок на подложке : пат. 2329875 Рос. Федерация. № 2006134308/12; заявл. 27.09.06; опубл. 27.07.08, Бюл. № 21. 6 с.
10. *Gorin D. A., Yashchenok A. M., Manturov A. O., Koleznikova T. A., Moehwald H.* Effect of Layer-by-Layer Electrostatic Assemblies on the Surface Potential and Current Voltage Characteristic of Metal-Insulator-Semiconductor structures // *Langmuir.* 2009. Vol. 25, № 21. P. 12529–12534.
11. *Климова С. А., Стецюра С. В.* Электрофизические свойства поверхности CdS, модифицированной органическим покрытием // *Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология : докл. междунар. конф. «Композит-2010» / Сарат. гос. техн. ун-т. Саратов, 2010. С. 372–373.*
12. *Мальяр И. В., Santer S., Стецюра С. В.* Влияние освещения на параметры полимерного покрытия, осаждаемого из раствора на полупроводниковую подложку // *ПЖТФ.* 2013. Т. 39, вып. 14. С. 69–76.
13. *Van de Ven T. G. M.* Kinetic aspects of polymer and polyelectrolyte adsorption on surfaces // *Advances in Colloid and Interface Sci.* 1994. Vol. 48. P. 121–140.
14. *Zhao N., Shi F., Wang Z., Zhang X.* Combining Layer-by-Layer Assembly with electrodeposition of silver aggregates for fabricating superhydrophobic surfaces // *Langmuir.* 2005. Vol. 21. P. 4713–4716.
15. *Klimova S. A., Yavuz M., Stetsyura S. V., Durak G., Glukhovskoy E. G., Arslan M., Wenig S. B., Elerman Y.* Scanning probe microscopy measurements of the Langmuir–Blodgett organic thin films // *Proc. book of NANOTR-5.* Eskisehir, Turkey, 2009. P. 75.
16. *Klimova S. A., Yavuz M., Stetsyura S. V., Durak G., Glukhovskoy E. G., Arslan M., Wenig S. B., Elerman Y.* Investigation of the LSH thin films with different pH by scanning probe microscopy (AFM, EFM, SKM, SCM) measurements // *Proc. book of NANOTR-5.* Eskisehir, Turkey, 2009. P. 76.
17. *Stetsyura S. V., Klimova S. A., Wenig S. B., Malyar I. V., Arslan M., Dincer I., Elerman Y.* Preparation and probe analysis of Langmuir–Blodgett films with metal-containing dendritic and cluster structures // *Appl. Phys. A : Mater. Sci. & Proc.* 2012. Vol. 109 (3). P. 571–578.
18. *Стецюра С. В., Климова С. А., Мальяр И. В.* Зависимость морфологии, химического и фазового состава поверхности монослоя арахината свинца от технологии получения пленок // *Опто-, нанoeлектроника, нанотехнологии и микросистемы : труды XI междунар. конф.* Ульяновск : УлГУ, 2010. С. 57.
19. *Мальяр И. В., Стецюра С. В.* Модификация поверхности полупроводниковой подложки с помощью органических монослойных покрытий и воздействия излучений // *Вестн. СГТУ.* 2010. № 4(51), вып. 3. С. 30–35.
20. *Dobrynin A. V., Deshkovski A., Rubinstein M.* Adsorption of polyelectrolytes at oppositely charged surfaces // *Macromolecules.* 2001. Vol. 34. P. 3421–3436.
21. *Dobrynin A. V., Deshkovski A., Rubinstein M.* Adsorption of polyelectrolytes at an oppositely charged surface // *Phys. Rev. Lett.* 2000. Vol. 84, № 14. P. 3101–3104.
22. *Шалимова К. В.* Физика полупроводников. М. : Энергия, 1976. 416 с.
23. *Карбаинов Ю. А.* Электрохимическая активация водных сред в новых энергосберегающих технологиях // *Соросовский образовательный журн. Сер. Химия.* 1999. № 10. С. 51–54.
24. *Napolskii K. S., Sapoletova N. A., Gorozhankin D. F., Eliseev A. A., Chetnyshov D. Y., Byelov D. V., Grigoryeva N. A.* Fabrication of Artificial Opals by Electric-Field-Assisted Vertical Deposition // *Langmuir.* 2010. Vol. 26, № 4. P. 2346–2351.
25. *Саполетова Н. А., Мартынова Н. А., Напольский К. С., Елисеев А. А., Лукашин А. В., Колесник И. В., Петухов Д. И., Кушниц С. Е., Третьяков Ю. Д.* Самосборка коллоидных частиц в присутствии электрического поля // *ФТТ.* 2011. Т. 53, вып. 6. С. 1064–1068.
26. *Rydze G., Jierry L., Parat A., Thomann J., Voegel J. C., Sender B., Hemmerle J., Ponche A., Frisch B., Schaaf P., Boulmedais F.* Electrochemically Triggered Assembly of Films : A One-Pot Morphogen-Driven Buildup // *Angewandte Chemie International Edition.* 2011. Vol. 50, № 19. P. 4374–4377.
27. *Casagrande T., Lawson G., Li H., Wei J., Adronov A., Zhitomirsky I.* Electrodeposition of composite materials containing functionalized carbon nanotubes // *Mater. Chem. and Phys.* 2008. № 111. P. 42–49.
28. *Ko Y. H., Kim Y. H., Park J.* Electric-Field-Assisted Layer-by-Layer Assembly of Weakly Charged Polyelectrolyte Multilayer // *Macromolecules.* 2011. Vol. 44. P. 2866–2872.
29. *Yashchenok A. M., Gorin D. A., Badylevich M., Serdobintsev A. A., Bedard M., Fedorenko Y. G., Khomutov G. B., Grigoriev D. O.* Impact of magnetite nanoparticle incorporation on optical and electrical properties of nanocomposite LbL assemblies // *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2010. Vol. 12. P. 10469–10475.



30. Мальяр И. В., Стецюра С. В. Влияние морфологии и состава фаз поверхности на радиационную стойкость гетерофазного материала CdS-PbS // ФТП. 2011. Т. 45, вып. 7. С. 916–921.
31. Стецюра С. В., Мальяр И. В., Сердобинцев А. А., Климова С. А. Влияние параметров узкозонных включений на тип и величину вторично-ионного фотоэффекта в гетерофазных фотопроводниках // ФТП. 2009. Т. 43, вып. 8. С. 1102–1108.
32. Malyar I. V., Matasov M. D., Stetsyura S. V. Forming Luminescent Grains via Decomposition of Supersaturated PbS-CdS Solid Solution // Technical Phys. Lett. 2012. Vol. 38, № 8. P. 750–754.
33. Grigoriev D., Gorin D., Sukhorukov G. B., Yashchenok A., Maliseva E., Moehwald H. Polyelectrolyte/magnetite Nanoparticle Multilayers : Preparation and Structure Characterization // Langmuir. 2007. Vol. 23, № 24. P. 12388–12396.
34. Роках А. Г., Стецюра С. В. Влияние неоднородностей на фотоэлектрические характеристики гетерофазных пленок системы CdS_xSe_{1-x} -PbS // Неорганические материалы. 1997. Т. 33, № 2. С. 198–200.
35. Rokakh A. G., Serdobintsev A. A., Stetsyura S. V., Zhukov A. G., Matasov M. D., Malyar I. V. Optical control of ion sputtering // Handbook on Mass Spectrometry: Instrumentation, Data and Analysis, and Applications / ed. J. K. Lang. Hauppauge NY : Nova Science Publ., 2009.
36. Роках А. Г., Стецюра С. В., Жуков А. Г., Сердобинцев А. А. Исследование особенностей ионного травления гетерофазных полупроводников при травлении белым светом // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29, вып. 2. С. 23–29.
37. Bratashov D. N., Klimova S. A., Serdobintsev A. A., Malyar I. V., Stetsyura S. V. Creating micron regions with modified luminescent properties and topology on CdS_xSe_{1-x} films by laser annealing // Technical Phys. Lett. 2012. Vol. 38, № 8. P. 572–575.
38. Malyar I. V., Gorin D. A., Stetsyura S. V. Effect of nanodimensional polyethylenimine layer on surface potential barriers of hybrid structures based on silicon single crystal // Proc. of SPIE. Bellingham, 2013. Vol. 8700. P. 870009–870009-9.

УДК 628.9.037

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОКРУЖЕНИЯ НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ ZnCdS

А. А. Скапцов, Е. К. Волкова, В. В. Галушка, И. В. Видяшева,
А. М. Захаревич, Ю. Г. Конюхова, В. И. Кочубей

Саратовский государственный университет
E-mail: ekvolkova87@rambler.ru



Проведено исследование зависимости спектров люминесценции нестабилизированных полупроводниковых наночастиц ZnCdS, помещенных в биологические среды, от их температуры. Показано, что интенсивность и положение максимума люминесценции поверхностных дефектов наночастиц ZnCdS зависят как от температуры, так и от свойств биологической среды до момента ее денатурации.

Ключевые слова: люминесценция, наночастицы ZnCdS, температурная зависимость, биологическая среда.

Influence of Environment and Temperature on the Luminescent Properties of ZnCdS Nanoparticles

A. A. Skaptsov, E. K. Volkova, V. V. Galushka,
I. V. Vidyasheva, A. M. Zakharevich,
J. G. Konyukhova, V. I. Kochubey

Dependence of the luminescence spectra of the non-stabilized ZnCdS nanoparticles placed in a biological environment on their temperature is investigated. It is shown that the intensity and the position of maximum luminescence of surface defects ZnCdS nanoparticles depends on the temperature and the properties of the biological environment until it is denatured.

Key words: luminescence, ZnCdS nanoparticles, temperature dependence, biological environment.

Введение

В последние годы достигнут значительный успех в области лазерного фототермолиза биологических объектов с использованием плазмонно-резонансных наночастиц [1, 2]. Данная методика основана на лазерном нагреве лазерным излучением сильнопоглощающих наноструктур, доставленных в определенную область ткани. Подобное воздействие, как правило, имеет небольшую длительность и локальный характер. Наиболее актуальной областью применения лазерного фототермолиза является онкология, где результатом его является некроз злокачественных клеток и деструкция опухоли [3].

Для достижения эффективного применения данной методики необходимо контролировать пространственное распределение температуры внутри биообъекта. В настоящее время многие исследования основаны на контроле поверхностной температуры бесконтактным методом