



Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
**ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОФИЗИКИ**  
Уральского отделения  
Российской академии наук  
(ИЭФ УрО РАН)

Амундсена ул., д.106, г.Екатеринбург, 620016  
Тел. (343) 267-87-96 Факс (343) 267-87-94  
ОКПО 04839716 ОГРН 1026604936929  
ИНН/КПП 6660007557/667101001

08.11. 2017 г. № 16346-1256 - 444

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### Отзыв ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института Электрофизики Уральского отделения Российской академии наук на диссертационную работу Селюкова Александра Сергеевича «Оптические свойства коллоидных полупроводниковых нанокристаллов CdSe планарной геометрии», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

### Актуальность темы диссертации

В настоящее время актуальными являются фундаментальные и прикладные задачи разработки и создания эффективного и экономичного источника света. Одним из путей решений этой проблемы является использование в качестве излучающих центров нанокристаллов на основе прямозонных полупроводников. Диссертация посвящена изучению оптических свойств полупроводниковых нанокристаллов CdSe планарной и винтовой (наносвитки) геометрии, поэтому актуальность работы не вызывает сомнения.

### Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения. Её полный объём составляет 103 страницы с 34 рисунками и 3 таблицами. Список литературы содержит 134 наименования.

Во **Введении** обоснована актуальность работы, сформулирована цель, проанализирована научная новизна исследований, показана научная и

Утверждаю:  
Директор ИЭФ УрО РАН,  
д.ф.-м.н.

С.А. Чайковский

08 ноября 2017 г.



практическая значимость полученных результатов, сформулированы защищаемые положения, представлена структура диссертации.

В **Главе 1** приведены литературные сведения о теоретических подходах к описанию свойств квантовых ям и изложены основы наиболее распространённых методов их синтеза. Изложены результаты работ, посвящённых планарным и винтовым (наносвиткам) нанокристаллам CdSe, представлены мировые достижения, связанные с созданием источников света на основе коллоидных планарных нанокристаллов.

В **Главе 2** дано описание экспериментальных установок и соответствующих методик, использованных в работе, а также представлены технологические подходы к изготовлению светоизлучающих диодов и изложены их технические детали. Представлены протоколы коллоидного синтеза нанокристаллов CdSe планарной и винтовой формы. Дана информация о приборах и методах, использованных при характеристике синтезированных наночастиц. Для спектральных (поглощение и фотолюминесценция) и времязрешённых (кинетика фотолюминесценции) измерений приведено описание экспериментальных установок и условий, при которых проводились эксперименты. Приведены сведения о колориметрической характеристике образцов (люминофоров и светодиодов). Описан процесс подготовки подложек, а также использованные в работе методики нанесения тонких плёнок и процессы изготовления контактов и инкапсуляции.

В **Главе 3** приведены результаты спектроскопических и нелинейно-оптических исследований планарных нанокристаллов и наносвитков CdSe и их сравнение с характеристиками сферических квантовых точек CdSe с толщиной 1.2, 1.5 и 1.8 нм, соответствующей 3–5 монослоям CdSe, и латеральными размерами 20–70 нм. Показано, что планарные нанокристаллы имеют кубическую кристаллическую решётку типа сфалерита. В спектрах оптического поглощения растворов планарных нанокристаллов CdSe были обнаружены характерные для квантовых ям пары экситонных переходов, спектральные положения которых дискретным образом зависят от толщины пластин. В спектрах фотолюминесценции нанопластин CdSe с толщиной 3, 4 и 5 монослоёв проявляются узкие полосы межзонной люминесценции с максимумами при 461, 508 и 558 нм, соответственно. Кроме них для всех трёх популяций нанопластин наблюдались широкие полосы, обусловленные люминесценцией дефектных состояний с максимумами при 630, 704 и 748 нм. Проведён анализ цветовых характеристик изученных люминофоров. Для коллоидного раствора планарных нанокристаллов CdSe был исследован

нелинейно-оптический отклик. Для раствора нанопластин была получена величина фотоиндуцированной добавки к показателю преломления  $\Delta n_{2D} = -1.2 \cdot 10^{-2}$ .

В Главе 4 изучена электролюминесценция нанокристаллов CdSe планарной геометрии с толщиной 4 монослоя (1.5 нм) и продольными размерами 15–50 нм, спектральный максимум фотолуминесценции которых приходится на длину волны 508 нм. В структуре светодиода была произведена замена электронного транспортного слоя с Alq<sub>3</sub> [трис(8-гидроксихинолилат)алюминия] на TAZ [3-(бифенил-4-ил)-5-(4-tert-бутилфенил)-4-фенил-4Н-1,2,4-триазол], что позволило создать устройство, в котором излучали именно нанопластины CdSe. При этом в электролюминесценции максимум полосы сдвигался до 515 нм. Обнаруженный красный сдвиг относительно фотолуминесценции был объяснён эффектом Штарка во внешнем поле. Был впервые продемонстрирован новый функциональный гибридный светодиод, основанный на однокомпонентных нанопластинах CdSe.

В **Заключении** приводятся основные выводы, адекватно отражающие результаты проведённых исследований.

### **Научная новизна диссертационной работы**

Решение поставленных в работе задач позволило диссертанту получить ряд новых научных результатов. Так, изучение спектральных характеристик наносвитков и нанопластин CdSe позволило выявить возникновение сдвига фотолуминесценции в область длинных волн при сворачивании планарных нанокристаллов. В свою очередь, исследование кинетики фотолуминесценции этих объектов продемонстрировало неизменность времён жизни возбужденных состояний при образовании винтовых наноструктур из плоских. Нелинейно-оптические эксперименты, проведённые для коллоидных растворов наночастиц CdSe планарной геометрии, позволили впервые обнаружить для них эффект фотоиндуцированной оптической нелинейности и сравнить его со случаем квантовых точек CdSe. Была успешно продемонстрирована электролюминесценция планарных эмиттеров CdSe в составе гибридных органо-неорганических светоизлучающих диодов и исследованы их оптические и электрофизические характеристики. В результате были обнаружены красный сдвиг и значительное уширение спектров электролюминесценции нанопластин CdSe по сравнению с их фотолуминесценцией и дано объяснение наблюдаемым эффектам.

Колориметрическая характеристика эмиттеров (нанопластин CdSe толщиной 3, 4 и 5 монослоёв) продемонстрировала возможность значительно расширить цветовой охват при использовании таких люминофоров.

### **Обоснованность и достоверность основных результатов и выводов**

Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается корректностью поставленных задач. В работе использовались качественная измерительная аппаратура, широко известные спектроскопические подходы, а также современные вычислительные методы. Изготовление светодиодов внутри специальных боксов с регенерируемой инертной атмосферой, оснащённых установками для термического напыления в вакууме, центрифугирования и анализа характеристик структур, позволило успешно и качественно выполнить технологическую часть работы.

Основное содержание диссертационной работы отражено в 18 научных работах, 5 из которых изданы в реферируемых журналах, входящих в базу Web of Science, 13 – в материалах, трудах и тезисах докладов конференций.

В целом диссертация и автореферат написаны ясным научным языком и имеют чётко прослеживаемую логику изложения. Содержание диссертации и автореферата соответствуют друг другу.

Диссертационная работа Селюкова Александра Сергеевича соответствует п.5 «Люминесценция. Излучение и поглощение света изолированными и взаимодействующими атомами и молекулами. Источники света. ...» паспорта специальности 01.04.05 – оптика.

### **Практическая ценность результатов**

Практическая ценность и значимость работы определяется демонстрацией перспективы использования нового класса полупроводниковых низкоразмерных люминофоров в качестве материала активного излучающего слоя в гибридных органо-неорганических светоизлучающих диодах. Изученные эмиттеры позволяют увеличить область цветового охвата светоизлучающих устройств, а также повысить их эффективность и долговечность. Кроме того, малые времена релаксации возбуждения носителей зарядов и нелинейно-оптические свойства этих планарных нанокристаллов открывают перспективы их использования при создании нелинейно-оптических затворов и переключателей.

## **Замечания по диссертации**

1. Первое защищаемое положение необоснованно распространено на «... всех коллоидных нанокристаллов различных форм и строения».
2. На рис. 3.1б в диссертации и рис. 1б в автореферате приведены результаты атомно-силовой микроскопии, а не дифрактограммы, как представлено в подписях.
3. На стр. 5б диссертации автор указывает, что кривые затухания (рис. 3.б) хорошо аппроксимируются суммой трёх экспонент. В то же время на рис 3.б представлены нормированные кривые, поэтому для них сумма трёх коэффициентов  $C_i$  при  $t=0$  должна равняться единице. Однако сумма этих коэффициентов, представленных в табл. 3 (стр. 58 диссертации), сильно отличается от единицы.
4. Как следует из текста (стр. 63 диссертации) на рис. 3.10 перепутаны обозначения 1 и 2.

## **Рекомендации по использованию результатов**

Полученные экспериментальные данные могут быть приняты за основу при разработке и создании светодиодов нового поколения и рекомендуются к использованию в следующих организациях: ООО «ЛЕД-Энергосервис», ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, МГТУ им. Н.Э. Баумана, и в других институтах РАН и организациях Министерства образования и науки.

## **Общее заключение по работе**

Диссертация Селюкова Александра Сергеевича «Оптические свойства коллоидных полупроводниковых нанокристаллов CdSe планарной геометрии» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задач исследования оптических свойств полупроводниковых нанокристаллов CdSe планарной геометрии, а также производного типа наночастиц – нанокристаллов винтовой формы или наносвитков CdSe, и выяснения перспектив использования таких нанокристаллов в качестве излучающих центров в составе гибридных органо-неорганических светоизлучающих диодов.

Диссертационная работа выполнена на высоком научно-методическом уровне. По объёму выполненного исследования и полученных результатов, научной новизне, актуальности и практической значимости представленная диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением

Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а её автор, Селюков Александр Сергеевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Доклад Селюкова А.С. по диссертации «Оптические свойства коллоидных полупроводниковых нанокристаллов CdSe планарной геометрии» был заслушан на расширенном научном семинаре лаборатории квантовой электроники ИЭФ УрО РАН. Отзыв подготовлен ведущим научным сотрудником лаборатории квантовой электроники ИЭФ УрО РАН, д.ф.-м.н., проф. В.И. Соломоновым и одобрен на заседании расширенного семинара лаборатории 07 ноября 2017 г.

Ведущий научный сотрудник  
лаборатории квантовой электроники  
ИЭФ УрО РАН,  
доктор физико-математических наук,  
профессор



Соломонов Владимир Иванович

Адрес: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук  
(ИЭФ УрО РАН), ул. Амундсена, 106, 620016, г. Екатеринбург, Россия,  
телефон (343) 2678779, электронная почта [plasma@ier.uran.ru](mailto:plasma@ier.uran.ru) .

Подпись Соломонова В.И. удостоверяю:  
учёный секретарь ИЭФ УрО РАН,  
к.ф.-м.н.



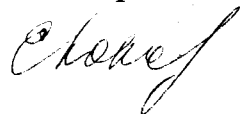
Кокорина Елена Евгеньевна

Список основных научных публикаций ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук» (ИЭФ УрО РАН) по теме диссертации Селюкова Александра Сергеевича «Оптические свойства коллоидных полупроводниковых нанокристаллов CdSe планарной геометрии», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

1. Zuev M. G., Ilves V. G., Sokovnin S. Y., Baklanova I. V., Vasin A. A., and Zhuravleva E. Y. The spectral characteristics of blue nanophosphors obtained by evaporation of  $\text{Ca}_2\text{Mg}_8(\text{SiO}_4)_6\text{O}_2:\text{Eu}$  (M= Y, Gd) polycrystals // *Journal of Luminescence*. – 2017. – Т. 188. – С. 31-37.
2. Solomonov V. I., Osipov V. V., Shitov V. A., Maksimov R. N., and Lipchak A. I. Optical properties of ytterbium-doped yttrium oxide ceramics // *Physica Status Solidi (a)*. – 2017. – Т. 214. – №. 5. – С 1600786.
3. Shcherbinin S. V., Safronov A. P., Krekhno R. V., and Beketova A. I. An automated system for measuring the impedance of polymer films // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. – 2017. – Т. 53. – №. 2. – С. 111-116.
4. Osipov V. V., Solomonov V. I., Spirina A. V., Vovkotrub E. G., and Strekalovskii V. N. Raman scattering and luminescence of yttria nanopowders and ceramics // *Optics and Spectroscopy*. – 2014. – Т. 116. – №. 6. – С. 946-955.
5. Bokhan P. A., Gugin P. P., Zakrevsky Dm. E., Zhuravlev K. S., Malin T. V., Osinnykh I. V., Solomonov V. I., and Spirina A. V. Luminescence and superradiance in electron-beam-excited  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  // *Journal of Applied Physics*. – 2014. – Т. 116. – №. 11. – С. 113103.
6. Solomonov V. I., Spirina A. V., Popov M. P., and Kaigorodova O. A. Luminescence properties of precious beryl deposits // *Journal of Optical Technology*. – 2016. – Т. 83. – №. 8. – С. 494-497.
7. Solomonov V. I., Osipov V. V., and Spirina A. V. Luminescence and absorption of divalent ytterbium ion in yttrium-aluminum garnet ceramics // *Optics and Spectroscopy*. – 2014. – Т. 117. – №. 3. – С. 441-446.
8. Zhuravlev K. S., Osinnykh I. V., Protasov D. Yu., Malin T. V., Davydov V. Yu., Smirnov A. N., Kyutt R. N., Spirina A. V., and Solomonov V. I. Characterization of MBE-grown AlGa<sub>x</sub>N layers heavily doped using silane // *Physica Status Solidi (c)*. – 2013. – Т. 10. – №. 3. – С. 315-318.

9. Sokovnin S. Y., Ilves V. G., Medvedev A. I., and Murzakaev A. M. Investigation of properties of ZnO-Zn-Cu nanopowders obtained by pulsed electron evaporation // Inorganic Materials: Applied Research. – 2013. – Т. 4. – №. 5. – С. 410-419.

Учёный секретарь ИЭФ УрО РАН,  
к.ф.-м.н.



Кокорина Елена Евгеньевна