

ОТЗЫВ

официального оппонента **Беляева Виктора Васильевича** на диссертацию **Горячего Дмитрия Олеговича «Органические светоизлучающие диоды на основе металлоорганических комплексов лантанидов и комплексов меди с эффектом задержанной флуоресценции»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **1.3.6 — оптика**

Диссертация Д.О. Горячего «Органические светоизлучающие диоды на основе металлоорганических комплексов лантанидов и комплексов меди с эффектом задержанной флуоресценции» относится к современной области оптики и посвящена исследованию электролюминесценции новых металлоорганических комплексов, излучающих в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Органические светодиоды на основе редкоземельных элементов представляют интерес как с точки зрения фундаментальной физики, так и для прикладных задач. Однако максимальная квантовая эффективность светодиодов, излучающих в ближней инфракрасной области спектра, составляет всего несколько процентов, поэтому поиск и исследование материалов, способных эффективно преобразовывать электрическую энергию в инфракрасное излучение, что составляет суть диссертационной работы, является актуальной задачей. Также идет поиск более дешевых альтернатив широко применяемым на практике дорогостоящим комплексам иридия, поэтому изучение комплексов меди может позволить получить недорогие эффективные источники излучения.

Диссертация Д.О. Горячего состоит из введения и четырех глав, изложена на 116 страницах, содержит 46 рисунков, а также список литературы из 116 наименований.

Во Введении рассмотрена актуальность темы, проблематика и перспективы дальнейших исследований. Сформулированы цели и задачи диссертационной работы, научная новизна, практическая значимость и личный вклад диссертанта; приведены основные положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность полученных результатов и представлена информация об объеме и структуре диссертации.

В первой главе представлен обзор литературы, наиболее значимые достижения и открытия. Описаны основные классы материалов, которые широко используются при создании светодиодов, проанализированы их преимущества и недостатки. Приведены обоснования выбора материалов исследования, а также методов создания светодиодов.

Во второй главе приводится описание методик эксперимента и технологии создания прототипов светодиодов, описаны методы оптической спектроскопии, представлено описание процедуры изготовления тонких плёнок. Представлены методы расчета внешней квантовой эффективности диодов для видимой и инфракрасной областей спектра.

В третьей главе исследована электролюминесценция светодиодов на основе ряда новых металлоорганических комплексов редкоземельных элементов, которые выступали в качестве люминесцентного слоя и излучали в видимой и ближней инфракрасных областях

спектра. В качестве люминесцентного слоя органических светодиодов были использованы карбоксилатные комплексы тербия, которые обладают высоким квантовым выходом фотолюминесценции. Исследуемые комплексы смешивались с проводящими матрицами для повышения проводимости активного слоя. Автором было продемонстрировано, что перенос энергии на излучающий ион происходит как через основной лиганд комплекса, так и напрямую из транспортной матрицы. Также была изучена электролюминесценция ряда новых комплексов европия и неодима, в которых изменялась длина фторированной цепи в составе основного лиганда. В соответствии с литературными данными, замена водородсодержащих связей на фторсодержащие должна приводить к увеличению квантового выхода люминесценции материалов. Автором продемонстрирована зависимость внешнего квантового выхода светодиодов от длины фторированной цепи. Было показано, что увеличение длины цепи вначале приводит к повышению квантовой эффективности, а при дальнейшем увеличении длины происходит насыщение и незначительное уменьшение эффективности.

Четвертая глава посвящена исследованию электролюминесценции органических светодиодов с новыми комплексами меди, выступающими в качестве люминесцентного слоя. Было установлено, что указанные материалы обладают эффектом термически активируемой задержанной флуоресценции. Продemonстрировано, что исследуемые комплексы обладают оранжевым свечением и могут быть использованы для создания светодиодов растворными методами. Наличие тяжелого атома брома в составе лиганда комплекса приводит к подавлению процесса обратной внутримолекулярной интерконверсии, и возникновению процессов фосфоресценции. Также исследовано влияние массовой доли комплекса в проводящей матрице на электролюминесцентные свойства светодиодов на их основе. Показано, что при увеличении массовой доли комплекса происходит смещение полосы излучения в длинноволновую область спектра. Кроме этого, в работе исследован ряд новых полимерных материалов на основе политиенотиофенов в качестве дырочного транспортного слоя. Ключевыми свойствами для применения этих материалов в светоизлучающих диодах оказались растворимость и пленкообразующие свойства. Было показано, что исследованные полимеры обладают проводимостью р-типа и могут быть использованы при создании светодиодов.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Впервые получена электролюминесценция органических светодиодов на основе ряда новых электролюминесцентных комплексов тербия, европия и неодима.
2. Впервые получены спектры и электрооптические характеристики органических светодиодов на основе ряда новых комплексов диимина меди, обладающих эффектом термически активированной задержанной флуоресценцией.
3. Впервые ряд новых полимерных материалов на основе тиенотиофенов был успешно использован в качестве проводников р-типа в ОСИД на основе квантовых точек CdSe/CdS/ZnS.

Результаты диссертации являются оригинальными и достоверными. Основные результаты диссертации опубликованы в 15 работах, 6 из которых опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК и индексируемых в базах Web of Science и Scopus, 9 — в тезисах конференций.

Диссертационная работа Д.О. Горячего выполнена на высоком научном уровне и представляет собой исследование важной проблемы низких значений квантового выхода электролюминесценции светодиодов на основе металлоорганических комплексов редкоземельных элементов, излучающих в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу носит законченный характер, а ее результаты не вызывают сомнений с точки зрения научной новизны, значимости и обоснованности положений, выносимых на защиту.

При чтении диссертационной работы возник ряд замечаний и вопросов:

1. На стр. 57 приведены вольт-амперные и вольт-яркостные характеристики для наилучшей структуры светодиода этой главы с матрицей PO4. Следовало бы привести также зависимости внешней квантовой эффективности и энергетические эффективности для данной структуры.

2. На стр. 67 для диодов на основе комплексов неодима с переменной длиной фторированной цепи величины внешней квантовой эффективности приведены в виде таблицы. Стоило бы представить зависимости внешней квантовой эффективности для этих комплексов графическим образом, как это было сделано для аналогичных структур на основе европия.

3. Приведенные на рис 3.17 спектры электролюминесценции светодиодов с комплексами неодима представлены сильно зашумленными в инфракрасной области.

4. На стр. 84 диапазоны напряжений, в которых были проведены измерения вольт-яркостных характеристик светодиодов, отличаются. Следовало бы провести измерения при одинаковых условиях (в одинаковых диапазонах изменения напряжений) для большей репрезентативности полученных результатов.

5. В главе 4 была исследована возможность применения ряда новых полимерных материалов в качестве дырочного транспортного слоя в светодиодах, но при этом не приводится никаких сопоставлений со стандартными материалами светодиодов, обладающими дырочной проводимостью.

6. На стр. 75 и далее целесообразно вместо применения термина "весовая доля" использовать "массовая доля".

7. В тексте диссертации аббревиатуру «LED» целесообразно переводить на русский язык как "светодиод", а не "светоизлучающий диод" в связи с приоритетом Олега Лосева (СССР) на это изобретение и использования им термина «светодиод».

Перечисленные замечания и вопросы не снижают общую высокую оценку работу и носят рекомендательный характер для дальнейшего развития тематики диссертационного исследования.

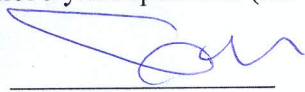
Автореферат полно отражает содержание диссертации.

Представленная диссертационная работа является законченным научным исследованием и выполнена на высоком научно-методическом уровне. Полученные в работе результаты достоверны, поставленные задачи решены, сформулированные защищаемые положения обоснованы, опубликованные материалы по теме работы отражают ее содержание. Диссертационная работа Горячего Д.О. «Органические светоизлучающие диоды на основе металлоорганических комплексов лантанидов и комплексов меди с эффектом задержанной флуоресценции» соответствует всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Горячий Дмитрий Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 — Оптика.

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник отдела организации
научных исследований и международных связей
управления и развития науки,
заведующий кафедрой теоретической физики
Государственного образовательного учреждения высшего
образования Московской области
Московского государственного областного университета (МГОУ)

доктор технических наук, профессор



Беляев Виктор Васильевич

« 17 » 11 2021 г.

105005 Россия, г. Москва, ул. Радио, д. 10А,
тел. +7 916 386 47 05
e-mail: vic_belyaev@mail.ru

Подпись
удостоверяю



начальника управления
правового, документационного
и кадрового обеспечения
Сидорова Александра
Викторовича Тел.: (495) 7800943, 1260

Список основных работ по теме защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Chausov D.N., Kurilov A.D., Belyaev V.V., Liquid Crystal Nanocomposites Doped with Rare Earth Elements // *Liquid Crystals and their Application*. – 2020. – Vol. 20. – P. 6-22.
2. Chausov D.N., Kurilov A.D., Kazak A.V., Smirnova A.I., Belyaev V.V., Gevorkyan E.V., Usol'tseva N.V., Conductivity and dielectric properties of cholesteryl tridecylate with nanosized fragments of fluorinated graphene // *Journal of Molecular Liquids*. – 2019. – Vol. 291. – P. 111259.
3. Rybakov D.O., Belyaev V.V., Temperature Dependence of Molecular Coefficients and Activation Energy of Nematic Mixture 2f-3333 // *Liquid Crystals and their Application*. – 2018. – Vol. 18. – № 3. – P. 94-103.
4. Rybakov D.O., Belyaev V.V., Electrical Double Layers and their Effect on the Low-Frequency Dielectric Permittivity of 4-n-Pentyl-4'-Cyanobiphenyl (5CB) // *Liquid Crystals and their Application*. – 2018. – Vol. 18. – № 4. – P. 40-47.
5. Belyaev V.V., Solomatin A.S., Chausov D.N., Suarez D.A., Smirnov A.G., Kuleshova J.D., Optical properties of composite heterophase objects with liquid crystal material for different display applications // *Journal of the Society for Information Display*. – 2017. – Vol. 25. – № 9. – P. 561-567.
6. Abduiev, A.Kh., Akhmedov, A.K., Asvarov, A.Sh., Alikhanov, N.M.–R., Emirov, R.M., Muslimov, A.E., Belyaev, V.V., Gas-phase Clusterization of Zinc during Magnetron Sputtering // *Crystallography Reports*. – 2017. – Vol. 62. – P. 133-138.
7. Sychev M. M Myakin., S. V., Ogurtsov K. A., Rozhkova N. N., Vasina E. S., Matveichikova P. V., Belyaev V. V., Luminescence of ZnS:Cu particles modified by shungite nanocarbon // *Journal of Optical Technology*. – 2017. – Vol. 84. – Issue 1. – P. 49-52.
8. Kozenkov V.M., Spakhov A.A., Belyaev V.V., Chausov D.N., Optically Anisotropic and Interferential Remedies: Properties, Technologies, Applications // *Liquid Crystals and their Application*. – 2016. – Vol. 16. – № 4. – P. 9-21.