УТВЕРЖДАЮ:
проректор по научной
работе и инновациям
Национального исследовательского
Томского политехнического университета
_____И.Б. Степанов
«__» 02. _____2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ)

Диссертационная работа **«Нагревание светодиодных люминофоров при преобразовании энергии возбуждения в люминесценцию»** выполнена в отделении материаловедения инженерной школы новых производственных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Цзюй Янян обучалась в очной аспирантуре Национального исследовательского Томского политехнического университета. В 2015 году окончила кафедру промышленной и медицинской электроники (ПМЭ) Национального исследовательского Томского политехнического университета по специальности «электроника и микроэлектроника» с присуждением академической степени магистр естественных наук.

В 2015 поступила в аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по специальности «Физика конденсированного состояния».

Справка об обучении в аспирантуре и сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2019 г. Национальным исследовательским Томским политехническим университетом. Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Лисицын Виктор Михайлович, профессор отделения материаловедения инженерной школы новых производственных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Материалы диссертационной работы соискатель доложила на объединенном семинаре отделения материаловедения инженерной школы новых производственных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Присутствовали:

1. Клименов Василий Александрович - д.ф.-м.н., профессор;
2. Лисицын Виктор Михайлович - д.ф.-м.н., профессор;
3. Полисадова Елена Федоровна. – д.ф.-м.н.;
4. Олешко Владимир Иванович - д.ф.-м.н., профессор;
5. Ципилев Владимир Папилович - д.ф.-м.н., профессор;
6. Корепанов Владимир Иванович - д.ф.-м.н., профессор;
7. Валиев Дамир Талгатович. – к.ф.-м.н., доцент;

8. Ваганов Виталий Андреевич – аспирант отделения материаловедения;
9. Мусаханов Досымхан Абитханович – аспирант отделения материаловедения;
10. Алпысова Гульнур Кенжибековна - аспирант отделения материаловедения;
11. Гэ Гуанхуэй - Младший научный сотрудник отделения материаловедения;
12. Толкачева Ксения Петровна - к.ф.-м.н., доцент отделения материаловедения.

Были заданы вопросы:

1. Как измерялась люминесценция в печи?
2. Почему люминесценция для исследования нагрева возбуждалась лазером?
3. Что такая остаточная интенсивность люминесценции?
4. Чем объясняется спад люминесценции при нагреве?
5. Как измеряли температуру люминофора?
6. Какую информацию несет кинетика, изображенная на 29 слайде?
7. Чем обусловлена форма конфигурационной кривой на 30 слайде?
8. Что является центром свечения в люминофоре?
9. Как гадолиний влияет на излучение церия?
10. Какова поглощательная способность люминофора?
11. Оценивали ли вы, какая доля потока возбуждения отражается?
12. Какова ширина запрещенной зоны кристалла ИАГ?
13. На каком основании вы сделали вывод о влиянии собственных дефектов на люминесценцию?
14. Причина отличий полуширины в разных ИАГ?
15. С какой целью вы делали рентгеноструктурный анализ люминофоров?
16. Какова погрешность измерений квантового выхода?
17. Не являются ли образцы с гадолинием не иттрий алюминиевым гранат, а иттрий гадолиний алюминиевым гранатом?
18. В чем заключается новизна вашей работы?

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Цзюй Янян является законченной научной работой, выполненной на актуальную тему, содержит новые результаты, опубликованные в научной печати. Положения, выносимые на защиту, не вызывают возражений, имеют научную новизну и теоретически обоснованы в тексте диссертации.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации.

Личный вклад автора состоит в проведении экспериментов, обработке, анализе полученных результатов исследований структуры люминофоров, спектрально-кинетических, энергетических характеристик люминесценции, выполнении расчетов предельных значений стоксовых потерь энергии, оценке времени и величины нагревания люминофора за счет энергии, выделяющейся при преобразовании излучения возбуждения в люминесценцию.

Степень достоверности результатов проведенных исследований.

Достоверность результатов исследования обеспечивается корректностью постановки решаемых задач и их физической обоснованностью, использованием современных методов и методик исследования, большим объемом экспериментальных данных, тщательностью их обработки, соответствием установленных в работе закономерностей с фактами, полученными другими исследователями.

Научная новизна диссертационной работы:

1. Люминофоры серий СДЛ 2700 - 4000 и YAG 01-06 различаются формой полос люминесценции и возбуждения. Различие обусловлено состоянием собственной дефектности в этих люминофорах, то есть дефектами, вводимыми и формирующимися при синтезе. Установлено, что различие в технологических режимах синтеза приводит к формированию совокупности нанодефектов, с идентичным качественным составам, но различающимся количественно по компонентам состава.

2. Смещение полосы люминесценции в ИАГГ:Ce^{3+} относительно полосы в ИАГ:Ce^{3+} происходит с ~ 540 нм до ~580 нм в люминофорах СДЛ серии и с 540 до 560нм в люминофорах YAG серии вне зависимости от содержания Gd^{3+} в решетке. Полоса люминесценции при этом почти не меняет форму, полуширина не меняется. Вероятно, в ИАГ:Ce формируются нанодефекты, в составе которых центры свечения, ионы Ce^{3+}, находятся в окружении ионов Y^{3+}, тогда как в ИАГГ:Ce в окружении центров свечения ионы Y^{3+} полностью или частично замещены ионами Gd^{3+}.

3. Разработан алгоритм расчёта минимальных предельных значений потерь энергии излучения чипа при преобразовании люминофором этой энергии в люминесценцию. Тепловые потери определяются взаимным положением спектров излучения чипа и люминофора. Установлено, что для всех исследованных ИАГ:Ce люминофоров при возбуждении излучением чипа с λ=454 нм, 344 нм, 240 нм, предельные потери на нагрев люминофора равны 24 %...31 %, 39 %...44 %, 49…56 %, соответственно.

4. Показано, что физический предел световой отдачи в светодиоде с преобразованием спектра определяется потерями энергии при преобразовании. Предельные значения величины световой отдачи белого СД при возбуждении излучением чипа на 454 нм не могут быть больше 362 Лм/Вт, излучением чипа на 344 нм - 303 Лм/Вт. Предельные значения величины световой отдачи СД зависят от вида спектра люминесценции люминофора. У СД "теплого" света световая отдача всегда меньше, чем у СД "холодного" света.

5. Впервые в кинетике затухания люминесценции люминофоров СДЛ серии при оптическом возбуждении выделен коротковременной компонент с τ_1~1.5-4 нс дополнительно к известному с τ_2~60-68 нс.

6. Оценена величина изменения температуры люминофора при возбуждении в области УФ излучения. Возбуждение излучением лазера с λ=337 нм и плотностью мощности 2 мВт/ $см^2$ приводит к повышению температуры люминофоров: на 14±2°C в СДЛ2700 и 18±7°C в YAG 06.

Практическая значимость работы определяется установленными в работе экспериментальными данными о влиянии технологических режимов синтеза люминофоров на основе ИАГ:Ce^{3+} на их излучательные свойства. Представленные в работе экспериментальные результаты могут быть полезны для развития представлений о физических процессах в ИАГ:Ce люминофорах при возбуждении, разработке способов повышения эффективности преобразования излучения чипа в видимое.

Апробация работы.

Основные результаты исследования были доложены устно и обсуждены на следующих конференциях: European Materials Research Society (E-MRS) (France, 2016); XIII Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием (Саранск, 15—16 марта 2017 г.); International Symposium on Advances in Materials Science (IAMS 2016), Shanghai; Международная научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Высокие технологии в современной науке и технике» (ВТСНТ) (Томск, 2016, 2017,2018);

International Congress on energy Fluxes and Radiation Effects – EFRE (Томск, 2016, 2018); XV Всероссийская конференция студенческих научно-исследовательских инкубаторов (СНИИ – 2018) (Томск, 2018); XVI Международная молодежная конференция «Люминесценция и лазерная физика» (Аршан, 2018); The 5th International Conference on Physics of Optical Materials and Devices (ICom), (Montenegro, 2018)

Публикации автора, полнота отражения в публикациях основных положений диссертационного исследования.

Результаты работы, основные положения достаточно полно представлены в 16 работах, в том числе в следующих 10 публикациях в журналах из списка рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных исследований и зарубежных, индексируемых в базах Scopus и WOS:

1. Ju Yangyang. Luminescence Spectrum of Yttrium Aluminum Garnet Based Phosphors with Initiating by Different Sources of Optical Excitation / V.M. Lisitsyn, S.A. Stepanov, H.A. Abdullin, A.T. Tulegenova, Yangyang Ju, V. Kolomin // Key Engineering Materials Submitted. – 2016. – V. 712. – P. 362-366.
2. Цзюй Янян. Характеристика фотолюминесценции люминофоров разной предыстории на основе иттрий-алюминиевого граната с Ce, Gd / В.М. Лисицын, Н.П. Сощин, Янян, Цзюй С.А. Степанов, Л.А. Лисицына, А.Т. Тулегенова, Х.А. Абдуллин // Изв. Вуз. Физика. – 2017. – Т.60, №5.-С.106-111.
3. Ju Yangyang. Luminescence decay kinetics of yttrium aluminium garnet phosphor at different temperature / Yangyang Ju, V.M. Lisitsyn, N.P. Soschin, S.A. Kruglyakov // Journal of Physics: Conference Series– 2018. – V. 115. – P. 052004.
4. Ju Yangyang. Nanodefects in YAG:Ce phosphors / Lisitsyn, V.M., Tulegenova, A.T., Lisitsyna, L.A., Vaganov, V.A., Ju, Yangyang // Journal of Physics: Conference Series – 2018. – V. 115. – P. 052036.
5. Ju Yangyang. Photoluminescence Characteristics of YAG:Ce, Gd Based Phosphors with Different Prehistories / V.M. Lisitsyn, N.P. Soshchin, Yangyang Ju, A.T. Tulegenova K.A. Abdullin // Russian Physics Journal – 2017. – V. 60. – c. 1268.
6. Ju Yangyang. Complex study on photoluminescence properties of YAG:Ce,Gd phosphors / V.M. Lisitsyn, Yangyang Ju, S.A. Stepanov, N.M. Soschin // Journal of Physics: Conference Series– 2017. – V. 830. – P. 012160.
7. Ju Yangyang. Dispersion characteristic of photoluminescence decay times of phosphor YAG: Ce, Gd / V.M. Lisitsyn, Yangyang Ju, S.A. Stepanov, N.M. Soschin // Journal of Physics: Conference Series – 2017. – V. 830. – P. 012161.
8. Ju, Yangyang. White LEDs with limit luminous efficacy /V. M. Lisitsyn, V. S. Lukash, S. A. Stepanov, Ju Yangyang // AIP Conference Proceedings – 2016. – V. 1698. – P.06-09.
9. Ju Yangyang. Losses of energy in phosphor of led at transformation of emission spectrum /Ju Yangyang, V.M. Lisitsyn, V.S. Lukash//2016 International Symposium on Advances in Materials Science (IAMS 2016), Shanghai MATEC Web of Conferences 110, 05023 (2017) DOI:10.1051/matecconf/201711005023

Соответствие работы приоритету развития науки и техники Российской Федерации (Указ президента РФ от 07.07.2017г. №899):

- Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика.

Соответствие работы критическим технологиям (Указ президента РФ от 07.07.2017г. №899):

- Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств;
- Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии.

Диссертация выполнена по тематическим планам научно-исследовательских работ отделения материаловедения инженерной школы новых производственных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Диссертация **«Нагревание светодиодных люминофоров при преобразовании возбуждения в люминесценцию»** Цзюй Янян рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - «Физика конденсированного состояния».

Заключение принято на объединенном семинаре отделения материаловедения инженерной школы новых производственных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Присутствовало на заседании 12 чел.
Результаты голосования «за» – 12 чел., «против» - нет, «воздержавшихся» - нет, протокол № 15 от «26» февраля 2019 г.

Председатель объединенного научного семинара, профессор, д.ф.-м.н., руководитель отделения материаловедения ИШНПТ ТПУ **В.А. Клименов**

«26» февраля 2019 г.

Секретарь научного семинара, к.т.н., доцент отделения материаловедения **К.П. Толкачева**

«26» февраля 2019 г.