

Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

Номер соглашения о предоставлении субсидии (государственного контракта)
14.587.21.0012

Название проекта

Разработка высокопреломляющих стекол и технологий инкорпорирования в них высокоэффективных люминофоров для мощных светоизлучающих диодов и матриц

Тематическое направление

Индустрия наносистем

Исполнитель

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики"

Цели и задачи исследования

Проект ориентирован на формирование существенного научно-технологического вклада в области разработки высокоэффективных энергосберегающих белых светодиодов, на получение значимых научных результатов, позволяющих переходить к созданию новых видов осветительной техники, а также на вывод на рынок новой научно-технической продукции – «люминофор в стекле» для мощных белых светодиодов и разработки технологий их получения мирового уровня. Проект охватывает разработку технологии производства наночастиц люминофора (международный партнёр - Eidgenössische Materialprüfungs und Forschungsanstalt – EMPA, Швейцария), разработку технологии синтеза прозрачных высокопреломляющих стеклообразных матриц и методов введения наноразмерного порошка люминофора в стекло (Университет ИТМО), а также разработку теории конверсионной эффективности в прозрачных люминофорах (международный партнер - Technische Universität Hamburg-Harburg – TUHH, Германия).

Актуальность и новизна исследования

Данный Проект направлен на решение важнейшей проблемы перехода экономики РФ на энергосберегающие технологии, стоящей перед научными центрами и промышленными предприятиями в рамках приоритетного направления развития науки, технологий и техники РФ – «Энергетика и энергосбережение. Актуальность и новизна Проекта также определяются его уникальностью, связанной с комплексным характером решаемых задач и с объединением в его рамках двух критических технологий РФ: 1) технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепла и электроэнергии; 2) нанотехнологии и наноматериалы. Проект ориентирован на повышение светоотдачи и срока службы светодиодов и светодиодных устройств при снижении их стоимости и полностью соответствует задачам Технологической платформы РФ «Развитие российских светодиодных технологий» и современным тенденциям развития светотехнических устройств. Одной из ключевых задач, стоящих сейчас в этой области, является решение проблемы отвода избыточного тепла из светодиодных структур при повышении мощности светодиодов. Из-за низкой теплопроводности полимерного

связующего эластомера, тепло, которое выделяется в люминофоре при преобразовании энергии, приводит к локальным перегревам, что отрицательно сказывается на свойствах как частиц люминофора, так и самого эластомера, существенно снижает эффективность светодиодов, смещает максимум спектра их излучения, и заметно сокращает срок службы. Для дальнейшего улучшения параметров светодиодов и светодиодных устройств, требуется разработка новых люминофоров, и наиболее перспективным здесь является развитие неорганических композитов типа люминофоров в стекле.

Описание исследования

Для достижения прозрачности в люминофоре в стекле (PiG) в рамках проекта будут применены два подхода:

1) подбор показателя преломления стеклянной матрицы к показателю преломления частиц люминофора. В этом случае традиционные крупнозернистые люминофоры будут введены в матрицу с высоким показателем преломления.

2) использование низкорассеивающих наночастиц до 100 нм. Основное внимание в этом направлении будет направлено на изготовление наночастиц с большим квантовым выходом и введение этих частиц в стеклянную матрицу. Показатель преломления этих стекол будет максимально увеличен, чтобы усилить квантовый выход наночастиц.

Низкорассеивающие композиты определяют новую область оптического дизайна и архитектуры вывода белого света из LED и матриц, которая будет исследована ТУНН. Прозрачные композиты не производят обратное рассеяние голубого света и генерируют желтый свет, в равной степени распределенный в прямом и обратном направлении. В проекте будут исследованы разные варианты для увеличения эффективности светоизвлечения, такие как форма слоя люминофора, топография поверхности и остаточное объемное рассеяние. Низкотемпературные стекла с показателем преломления 1.7-2.2 разработаны и применяются для смешивания с наночастицами YAG:Ce. Выбранные стекла с высоким показателем преломления будут использованы для изготовления композитов с экстремально высоким содержанием наночастиц TiO₂, изготовленных ЕМРА. Одной из задач является изготовление спрессованного материала на основе наночастиц титана и высокопреломляющего стекла, где заполняющие наночастицы будут плотно упакованы и расстояние между ними будет полностью заполнено стеклом.

Окончательно выбранная наилучшая система материалов для экологически безопасных высокопреломляющих стекол будет оптимизирована для подходящих по показателю преломления композитов близких к показателю преломления YAG (1.83). Наконец, стекло будет активировано редкоземельными (Sm, Eu, Tb) ионами и ионами переходных (Mn) металлов, люминесценция которых в видимом диапазоне может усилить показатель цветопередачи белых LED.

Стандартным методом добавления порошка люминофора в стекло в данном проекте является горячее прессование. Синтезированное исходное стекло будет размолото в порошок и смешано с различными весовыми частицами

люминофора YAG:Ce. Итоговый порошок будет спекаться (~550°C) в плоскопараллельную пластину толщиной ~0.3-2 мм.

В качестве альтернативы, порошок люминофора/наполнителя может быть введен в расплавленном состоянии либо в процессе синтеза стекла. Исходное стекло также дробится, размалывается в порошок и смешивается с порошком люминофора. Полученная смесь загружается в тигель и нагревается до температуры на 100-150°C выше, чем температура стеклования. В течение нагрева, смесь механически перемешивается и после гомогенизации производится отливка полученного PiG. Технология отливки значительно упрощает процесс получения сложной конфигурации, требуемой для оптимизации вывода света из LED структуры.

Результаты исследования

Были разработаны и синтезированы высокопреломляющие стекла (показатель преломления 1,7-2,2) на основе свинцово-силикатных и бессвинцовых стекол. Определены характеристические температуры данных стекол и определены режимы спекания композитов. Проведена активация данных стекол оксидами марганца европия и самария с различными концентрациями (1-20 мол%). Максимальный квантовый выход люминесценции 46 % был получен для стекла с концентрацией оксида европия 1 мол%.

Разработана технология получения порошков YAG:Ce методом твердотельного синтеза размером более 1000 нм и 10-100 нм методом пламенного пиролиза аэрозолей. Получены образцы порошков люминофоров с различной концентрацией оксида церия 0,1-2,0 мол%. Проведены исследования дисперсности порошков размеров частиц от условий синтеза. Разработана технология и получены наночастицы диоксида титана методом пламенного пиролиза аэрозолей размером частиц 10-100 нм, доля рутила в порошке не менее 30%.

Разработана модель распространения излучения в низкорассеивающем композите, которая описывает прохождение света возбуждения 450 нм и люминесценции 560 нм в композите с размерами частиц 10- 1000 нм.

Практическая значимость исследования

Практическая значимость заключается в разработке прозрачного композита PiG с высоким конверсионным показателем. Некоторые важные научные и технологические задачи решены впервые:

- увеличение показателя преломления стеклянной матрицы без использования токсичных тяжелых металлов
- изготовление композитов на основе стекол и двуокиси титана с экстремально большим содержанием наночастиц и ультравысоким показателем преломления
- изготовление кристаллических кубических наночастиц YAG и TiO₂ в один этап посредством пламенного пиролиза аэрозолей
- усиление квантового выхода наночастиц посредством высокопреломляющей матрицы
- формование и дизайн поверхности прозрачного люминофора для максимального выходного излучения и гомогенного углового распределения

- регулирование остаточного рассеяния для обеспечения эффективного выхода в низкое обратное рассеяние и равномерного углового распределения