

**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

**Основное приоритетное направление:** Индустрия наносистем

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

**Руководитель проекта:** Nikonorov

**Должность:** заведующий кафедрой Оптикоинформационных технологий и материалов

**E-mail:** nikonorov@oi.ifmo.ru

**Ключевые слова:** белый светодиод, стекло с высоким показателем преломления, нанопорошок алюмо-иттриевого граната с церием, люминофор в стекле, высокотемпературный синтез стекол, низкотемпературный золь-гель синтез, люминесценция церия, квантовый выход люминесценции

### **Цель проекта**

Разработка высокоэффективных нанокompозитных люминофоров типа «люминофор в стекле» для мощных белых светодиодов и матриц. Предлагаемый 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 (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 (TUNH, Германия).

### **Основные планируемые результаты проекта**

- Составы прозрачных высокопреломляющих стекол со следующими характеристиками: показатель преломления 1.7–2.2, диапазон прозрачности 400–900 нм, температура синтеза < 1400оС.
- Составы прозрачных высокопреломляющих стекол, активированные Mn, Eu и Sm, со следующими характеристиками: показатель преломления 1.7–2.2, диапазон прозрачности 400–900нм, температура синтеза < 1400оС.
- Технология создания прозрачных нанокompозитных люминофоров методом спекания (температура спекания <600оС).
- Технология создания прозрачных нанокompозитных люминофоров методом

золь гель методом (температура синтеза <400°C).

Совместно с ЕМРА и ТУНН:

- Высокоэффективные люминофоры на основе прозрачных стеклянных нанокompозитов типа «люминофор в стекле» для высокомоощных светоизлучающих диодов и матриц со следующими характеристиками: квантовый выход >80%; диапазон прозрачности 400 – 900 нм; пропускание не менее 80%; показатель преломления 1.7 - 2.2.

- Лабораторный макет мощного светодиода с люминофором типа «люминофор в стекле» со следующими характеристиками: цветовая температура не более 6500 К; индекс цветопередачи более 85; эффективность не менее 100 лм/Вт.

ЕМРА:

- Технология создания порошков YAG:Ce методом пламенного пиролиза аэрозолей со следующими характеристиками: размеры частиц 10-100 нм.

- Технологии создания порошков TiO<sub>2</sub> методом пламенного пиролиза аэрозолей со следующими характеристиками: размеры частиц 10-100 нм, доля рутила в порошке не менее 30%.

- Технология создания порошков YAG:Ce методом твердотельных реакций со следующими характеристиками размеры частиц более 1000 нм.

- Технология создания порошков модифицированных гранатов, активированных церием, методом твердотельных реакций со следующими характеристиками: размеры частиц более 1000 нм, ионы модификаторы Gd, Ga, Cr, Tb.

ТУНН:

- Модель распространения излучения в низкорассеивающем композите.

Модель должна описывать прохождение света возбуждения 450 нм и люминесценции 560 нм в композите с размерами частиц 10- 1000 нм;

- Модель вывода излучения для структурированных поверхностей с характеристиками: размер шероховатости 10-100 мкм, длины волн 560 нм и 450 нм.

- Модель изменения квантового выхода излучения из наночастиц при различных показателях преломления окружения (1,7 -2.2).

### **Краткая характеристика создаваемой/созданной научной (научно-технической, инновационной) продукции**

Будут разработаны и получены лабораторные опытные образцы высокоэффективных люминофоров на основе прозрачных стеклянных нанокompозитов типа «люминофор в стекле» для высокомоощных светоизлучающих диодов и матриц со следующими характеристиками:

- квантовый выход – не менее 80%
- диапазон прозрачности 400–900 нм
- пропускание - не менее 80%
- показатель преломления 1.7-2.2.

Будет создан лабораторный макет мощного светодиода с люминофором типа «люминофор в стекле» со следующими характеристиками:

- цветовая температура - не более 6500 К
- индекс цветопередачи - 85
- эффективность - не менее 100 лм/Вт.

Подходы и пути решения.

Будет разработан новый тип стекла с высоким показателем преломления с большой концентрацией частиц  $TiO_2$ , не содержащий токсичных компонентов. Характеристики низкорассеивающих PiG будут оптимизированы с помощью моделирования эффектов объемного и поверхностного рассеяния возбуждающего синего и излучаемого желтого излучения (ТУНН).

Для достижения прозрачности в PiG будут применены два подхода:

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

2) подбор показателя преломления стеклянной матрицы к показателю преломления частиц люминофора. В этом случае традиционные крупнозернистые люминофоры (коммерческие и выполненные в EMPA) будут введены в матрицу с высоким показателем преломления (Университет ИТМО).

Будет синтезирована серия силикатно-германатных стекол с высоким содержанием оксида/фторида свинца (на основе состава экстраплотных флинтных стекол,  $n=1.963$ ). Введение компонентов фторидного стекла помогает уменьшить температуру стеклования и последующего спекания.

Низкотемпературные стекла с показателем преломления 1.7-2.2 будут разработаны и применены для смешивания с наночастицами YAG:Ce. Позже, дополнительные тяжелые ионы в виде оксидов и фторидов будут введены в стекло. Следующим этапом будет попытка заменить свинец материалами, более дружелюбными окружающей среде (Ga, Nb, Bi).

Выбранные нетоксичные стекла с высоким показателем преломления будут использованы для изготовления композитов с экстремально высоким содержанием наночастиц  $TiO_2$ , изготовленных EMPA. Одной из задач является изготовление спрессованного материала на основе наночастиц титана и высокопреломляющего стекла (посредством горячего прессования), 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). Некоторые низкорассеивающие композиты с остаточным показателем будут изготовлены в соответствии с разработками ТУНН.

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 ( $\sim 550^\circ C$ ) в плоскопараллельную пластину толщиной  $\sim 0.3-2$  мм. Применение давления

(~100 МПа) в процессе спекания необходимо, чтобы повысить прозрачность композита (удаление пузырьков).

### **Назначение и область применения, эффекты от внедрения результатов проекта**

Ожидается, что успешное выполнение работы будет способствовать значительному прогрессу в области внедрения систем светодиодного освещения на основе мощных светодиодов и светодиодных модулей, а также появлению нового класса светодиодных устройств – сверхмощных прожекторов и промышленных осветителей. В этом смысле выполнение работы полностью соответствует программе развития Технологической платформы (ТП) «Развитие российских светодиодных технологий», в частности, целям ТП, обозначенным как «...развитие в Российской Федерации отрасли по производству светодиодной продукции и ряда смежных отраслей...» и «...обеспечение конкурентоспособного мирового уровня НИОКР в сфере светодиодного освещения...». Реализация ПНИ будет напрямую способствовать решению задач ТП по направлениям «Разработка белых светодиодов на основе синих светодиодных кристаллов с люминофорными покрытиями» и «Интегрированные светодиодные решения», а также может быть востребована для решения задач по направлению «Гибридные многокристальные белые светодиоды (RGB, RGAB, RGBW)». Как отмечено выше, выполняемые работы полностью соответствуют Программе стратегических исследований ТП «Развитие российских светодиодных технологий», в частности, в решении задач по улучшению вывода света из светодиодов и светодиодных модулей и разработке материалов для фотонного преобразования (этап 5 до 2015 года). Предлагаемый Проект ориентирован на повышение светоотдачи и срока службы светодиодов и светодиодных устройств при снижении их стоимости. Он начинается с проверки усиления квантового выхода наночастиц в матрицах с высоким показателем преломления и разработки теории конверсионной эффективности в прозрачных люминофорах заканчивается технологией производства наночастиц люминофора и прозрачных композитов типа «люминофор в стекле». Люминофоры являются важным компонентом для повышения светоотдачи и улучшения цветового представления светодиодов. Применение композиционных материалов PiG позволяет сконструировать ультра высокомогущный светодиодный источник белого света с мощностью выше 15 Вт. Высокомощные светодиоды, основанные на новых композитах, позволят решить широкий спектр применения в архитектурной и промышленной области, в сфере общего наружного освещения зданий и транспортных магистралей. В таких случаях затраты на срок службы и эксплуатацию могут быть важнее, чем цена самого источника. Высокомощные светодиодные источники можно также рассматривать для внутреннего освещения. Такие приложения, как эмуляторы солнца (<http://www.coelux.com/>) могут обеспечить возможность для новых люминофоров с расчетными свойствами рассеяния синего и желтого света. Новые исследования миопии, показывают, что воздействие солнечного света высокой яркости больше, чем

1000 лк может предотвратить развитие миопии у детей. Эти результаты могут привести к переосмыслению внутреннего освещения помещений.

### **Текущие результаты проекта**

Подготовлен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках исследований, в том числе обзор научных информационных источников.

Проведены патентные исследования по объектам, исследуемым в рамках проекта.

Разработана технология создания порошков YAG:Ce с размером частиц от 1000 до 5000 нм методом твердотельных реакций.

Разработана теоретическая модель распространения излучения в низкорассеивающем композите, описывающей прохождение света возбуждения длиной 450 нм и люминесценции длиной 560 нм в композите с размерами частиц от 10 до 1000 нм.