

## Исследование спектра люминесценции YAG:Ce керамики

*Н.В. Амбарникова\**

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия*

*\*nva18@tpu.ru*

**Аннотация.** В данной работе исследовались свойства люминесценции образцов ИАГ-керамики с процентным содержанием оксида церия 0.3% и 0.5%. Измерялись спектры излучения, энергетическая яркость и координаты цветности  $x$ ,  $y$  при использовании спектрорадиометра CS-2000A. После обработки результатов измерений получили спектры люминесценции. Исследование показывает, что спектр люминесценции не зависит от тока, подаваемого на светодиод, координаты цветности  $x$ ,  $y$  при более низкой концентрации оксида церия неравномерно распределяются по поверхности образца. Энергетическая яркость растёт линейно с увеличением токовой нагрузки, зависит от количества активатора и наибольшая при 0.5% содержании оксида церия. При концентрации 0.3% яркость может отличаться в 2.5 раза в зависимости от исследуемой области поверхности образца люминесцирующей керамики.

**Ключевые слова:** люминесценция, ИАГ-керамика, YAG:Ce, спектр, координаты цветности  $x$ ,  $y$ .

### 1. Введение

Технология синтеза ИАГ-керамики разработана учёными Томского Политехнического Университета в 2019 году и изучается по сей день [1]. Компоненты будущей люминесцирующей керамики, оксид иттрия и оксид алюминия, смешиваются в схематическом соотношении. В качестве активатора добавляется оксид церия в пропорциях от 0.1% до 1% по отношению к общей массе шихты. При облучении пучком высокоэнергетических электронов происходит спекание компонентов керамики, за секунды формируется новый материал в виде монолита [2].

В данной работе исследовались свойства люминесценции образцов ИАГ-керамики с процентным содержанием оксида церия 0.3% и 0.5%.

### 2. Экспериментальная установка

Исследование проводилось при использовании спектрорадиометра CS-2000A, который позволяет проводить точечные измерения яркости на малой площади, проанализировать спектральные и колориметрические характеристики любой излучающей или отражающей поверхности. Оптическое разрешение прибора вкупе с дополнительной линзой-насадкой позволяет исследовать объекты размером менее 1 мм<sup>2</sup>.

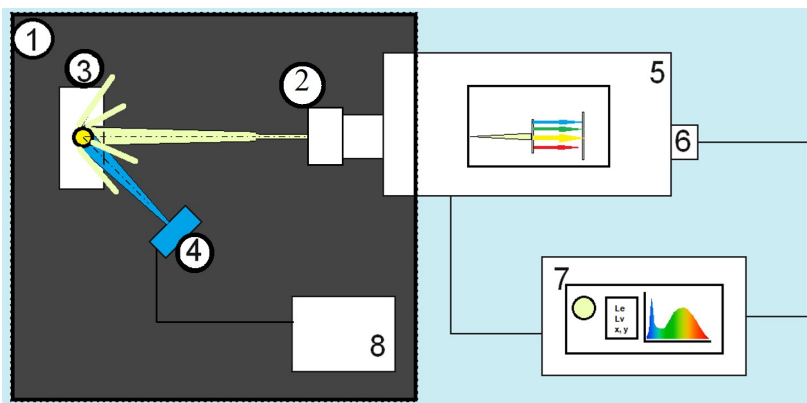


Рис. 1. Блок-схема измерений: 1 – Светонепроницаемый короб; 2 – Линза-насадка; 3 – Образец; 4 – Светодиод с узконаправленной линзой; 5 – Спектрорадиометр CS-2000A; 6 – CCD-камера; 7 – Персональный компьютер; 8 – Источник питания СД.

На Рис. 1 представлена блок-схема измерений при расположении образцов в вертикальной плоскости. Образец ИАГ-керамики помещается вертикально на предметный столик который позволяет осуществлять движение в пространстве, тем самым сканировать облучаемую поверхность.

В качестве источника возбуждения люминесценции ИАГ-керамики использовался расположенный на небольшом удалении, примерно 6 см, и под углом  $45^\circ$  светодиод с узконаправленной линзой. Образец помещался в центр пучка синего света, пиковая длина волны которого составляла 451 нм, расстояние от поверхности образца до объектива составляло примерно 6.5 см. Исследования проводились при изменении прямого тока светодиода от 10 до 200 мА с шагом 10 мА. Измерялись спектры излучения образцов в разных точках облучаемой поверхности.

### 3. Результаты и их обсуждение

#### 3.1. Обработка результатов измерений спектров излучения

При измерениях спектрорадиометр регистрирует спектральную плотность энергетической яркости в видимом диапазоне. При облучении синим светом YAG:Ce керамика возбуждается и люминесцирует в жёлто-зелёной области спектра, что вкуче даёт белый свет. С целью получения спектра люминесценции необходимо избавиться от синей составляющей спектра. Для этого проводилось измерение спектра излучения синего чипа светодиода напрямую. Измеренные спектры излучения образцов люминесцирующей керамики нормировались к максимальному пику всей спектральной характеристики. Синяя часть интерполировалась к соответствующему максимуму пика на длине волны 451 нм и составляла в зависимости от образца от 20% до 80%, после чего проводилось вычитание условных интенсивностей для каждой длины волны.

На Рис. 2–5 приведены спектры излучения для образцов ИАГ-керамики с 0.3% содержанием активатора до обработки в измеренных и относительных единицах. Цифрами обозначены разные точки воздействия синим светом на поверхность образца, в работе приведены два крайних случая, когда спектр максимально изменялся и когда был практически не изменен. На Рис. 6 и 7 отображены спектры для образца с количеством активатора 0.5%. По поверхности люминесцирующей керамики наблюдалось равномерное распределение характеристик. Все спектры приведены к единой шкале для визуальной оценки интенсивности люминесценции.

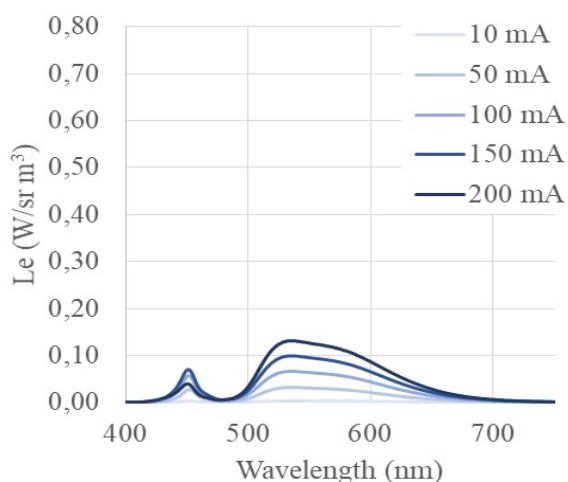


Рис. 2. Спектр люминесценции YAG:Ce 0.3% (1), энергетические единицы.

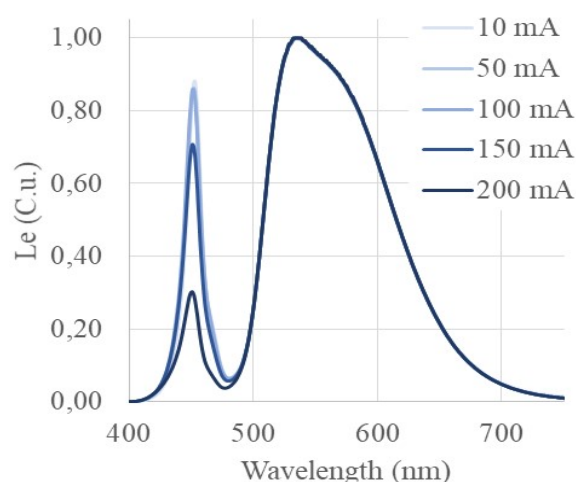


Рис. 3. Спектр люминесценции YAG:Ce 0.3% (1), относительные единицы.

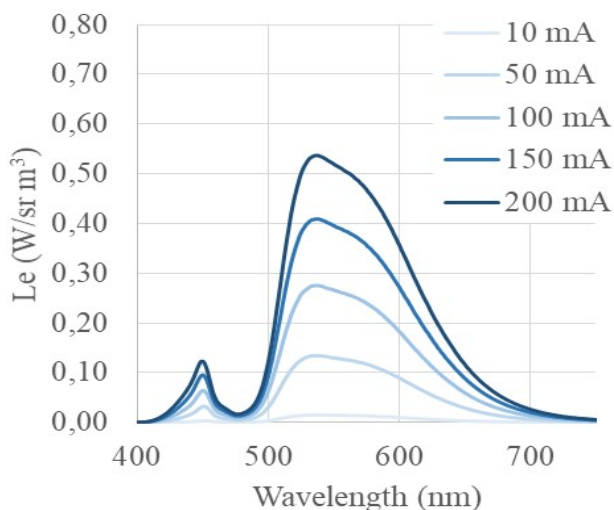


Рис. 4. Спектр люминесценции YAG:Ce 0.3% (2), энергетические единицы.

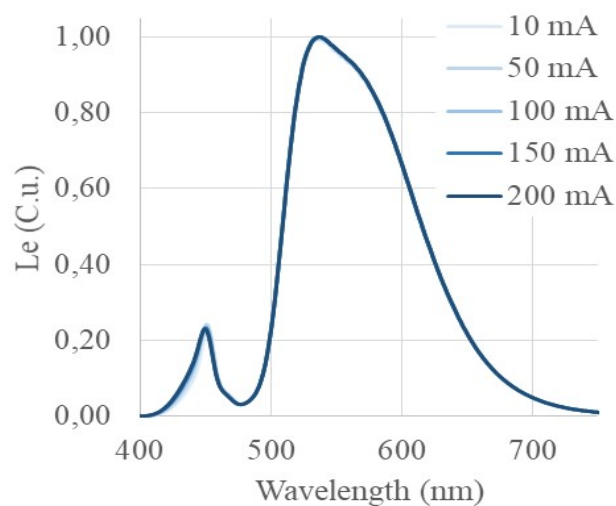


Рис. 5. Спектр люминесценции YAG:Ce 0.3% (2), относительные единицы.

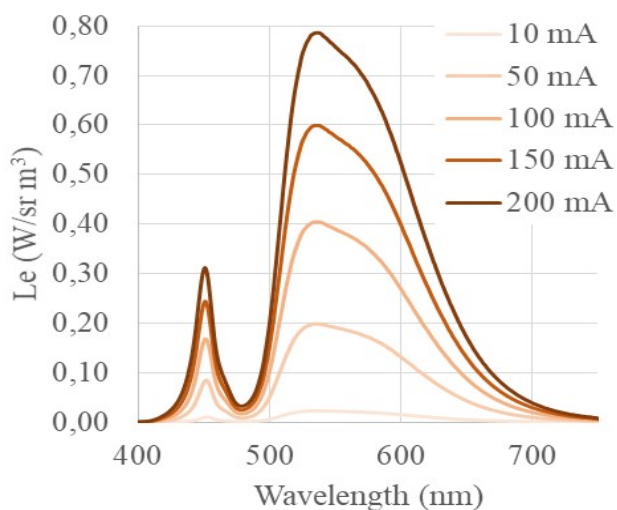


Рис. 6. Спектр люминесценции YAG:Ce 0.5%, энергетические единицы.

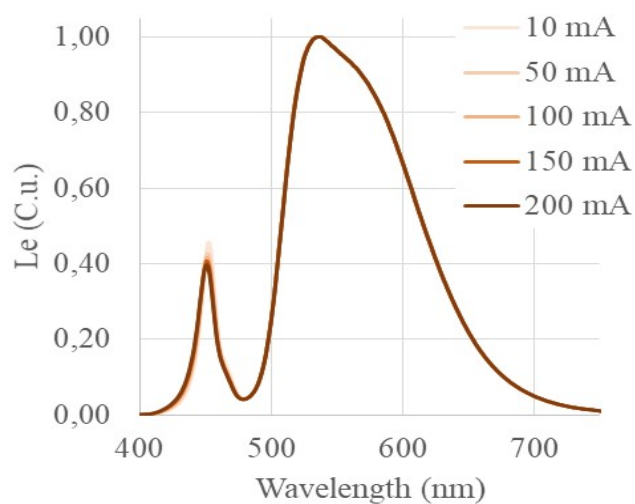


Рис. 7. Спектр люминесценции YAG:Ce 0.5%, относительные единицы.

На Рис.8 представлен результат обработки спектров излучения для разных концентраций оксида церия в образцах ИАГ-керамики, все спектры идентичны.

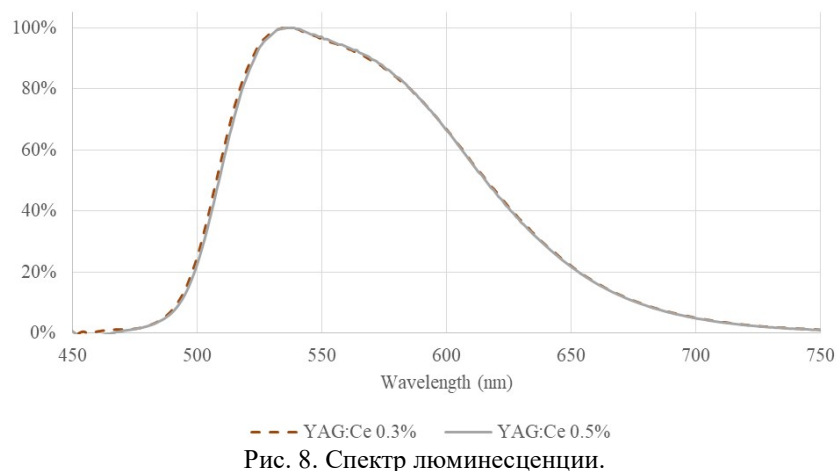


Рис. 8. Спектр люминесценции.

### 3.2. Определение координат цветности $x, y$

В ходе работы координаты цветности  $x, y$  измерялись при проведении эксперимента. После обработки результатов измерений определили координаты для спектров люминесценции по методу, описанному в [3].

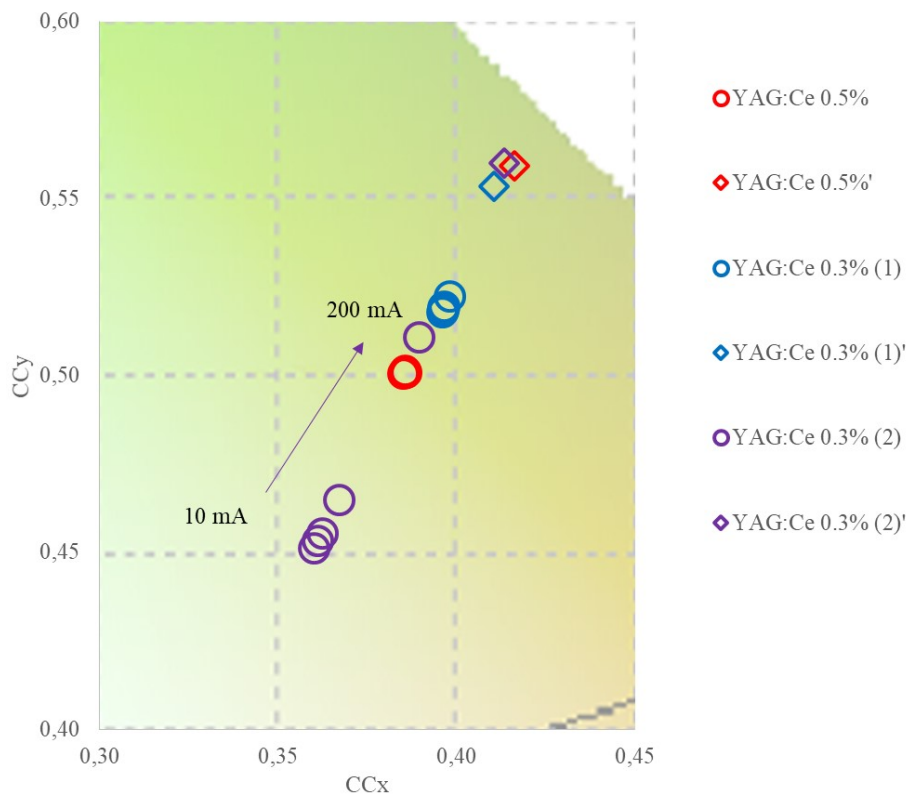


Рис. 9. Расположение координат цветности по результатам измерений и обработки данных образцов YAG:Ce.

На Рис. 9 представлено расположение координат цветности по результатам измерений (обозначены кружками) и обработки данных образцов (ромбы). Исследование показало, что при концентрации активатора 0.3% в одной точке смещение спектра излучения не происходит, тогда как в другой с ростом тока наблюдается резкое перемещение в желто-зелёную область. При концентрации оксида церия 0.5% зависимости от мощности светодиода не наблюдается. После обработки данных видно, на Рис. 9 помечены штрихом, что координаты цветности всех образцов локализуются в желто-зелёной области.

### 3.3. Энергетическая яркость спектров люминесценции

Образцы ИАГ-керамики исследовались при облучении синим светом, результаты измерений спектров получают в энергетических единицах. После обработки данных и удаления синей составляющей спектра результаты представлены в относительных единицах. Если интерполировать обратно и умножить на максимум энергетической величины при длине волны 535 нм для каждого значения тока, то можно построить токовую зависимость образцов ИАГ-керамики.

На Рис. 10 построены зависимости яркости люминесценции от тока, подаваемого на светодиод. Образец с концентрацией оксида церия 0.5% ярче на 30% образца с меньшей концентрацией. При этом у образца YAG:Ce 0.3% яркость по поверхности отличается в 2.5 раза в зависимости от исследуемой области.

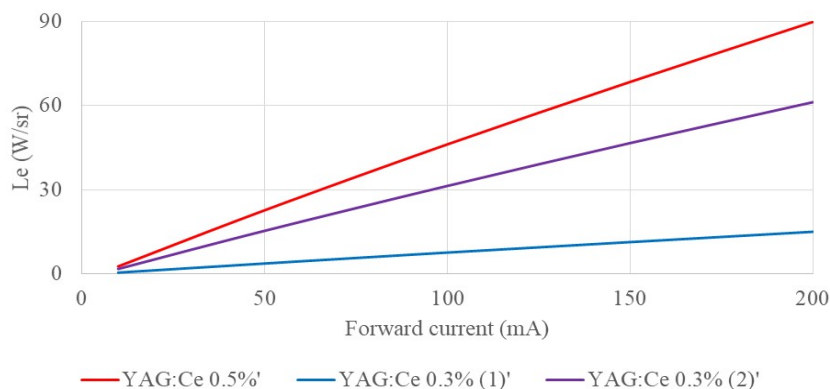


Рис. 10. Энергетическая яркость люминесценции образцов керамики YAG:Ce.

#### 4. Выводы

В результате воздействия было установлено, что интенсивность свечения изменяется с увеличением силы тока, подаваемого на светодиод, при этом форма спектра люминесценции остается неизменной и не зависит от концентрации оксида церия, максимальная длина волны составляет 535 нм.

Спектр люминесценции не зависит от тока, подаваемого на светодиод, координаты цветности  $x$ ,  $y$  при более низкой концентрации оксида церия неравномерно распределяются по поверхности образца.

Энергетическая яркость растёт линейно с увеличением токовой нагрузки, зависит от количества активатора и наибольшая при 0.5% содержании оксида церия. При концентрации 0.3% яркость может отличаться в 2.5 раза в зависимости от исследуемой области поверхности. При этом при минимальном значении яркости спектр излучения образца YAG:Ce 0.3% постоянен, а при в точке максимальной яркости наблюдается смещение в жёлто-зелёную область с ростом тока.

На данном этапе исследований полученные данные не позволяют вычислить чётких закономерностей и требуют продолжения дальнейшего изучения свойств люминесцирующей керамики.

#### Благодарности

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда №23-73-00108, <https://rscf.ru/project/23-73-00108/>

#### 5. Использованные источники

- [1] V.M. Lisitsyn, D.A. Musakhanov, A.V. Ermolaev, Formation of Luminescing High-Temperature Ceramics upon Exposure to Powerful High-Energy Electron Flux, *Russian Physics Journal*, vol. **63**, 2021, doi: 10.1007/s11182-021-02213-9
- [2] Z.T. Karipbayev, V.M. Lisitsyn, M.G. Golkovski, Electron Beam-Assisted Synthesis of YAG:Ce Ceramics, *Materials*, vol. **16**, 2023, doi: 10.3390/ma16114102
- [3] ГОСТ 23198-2021, *Источники света электрические. Методы измерений спектральных и цветовых характеристик*, 2021.