

Исследование влияния структуры и состава порошков YAG:Ce,Gd на энергетические и спектральные характеристики люминесценции

С.В. Лисовский, В.В. Иванов, Е.В. Коростылёв

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Одной из важнейших энергоэффективных технологий является освещение на основе белых светодиодов. Наиболее распространённой схемой является сочетание синего (Ga,In)N светодиода и фотолуминофора YAG:Ce³⁺, которая уже сейчас занимает долю рынка осветителей. Однако внедрение технологии ограничивается рядом моментов, связанных с её относительной дороговизной, особенностями спектра белых светодиодов и снижением энергоэффективности при попытке эти особенности сгладить. Цель настоящей работы создать предпосылки для комплексного решения этих проблем и создания белого светодиода, максимально отвечающего всему спектру предъявляемых требований. Исследование посвящено порошкам фотолуминофора, а именно изучению взаимозависимости свойств порошка и его люминесцентных характеристик.

Предварительной стадией исследования является характеристика порошка на его фазовый и гранулометрический состав, проводимая, соответственно, с помощью рентгеновской дифрактометрии порошков и растровой электронной микроскопии (РЭМ). Образец подходит для исследования, если, во-первых, его фазовый состав полностью соответствует иттрий-алюминиевому гранату, т.е. присутствие иных фаз не превышает следовых количеств, во-вторых, если частицы порошка фотолуминофора представлены в широком диапазоне размеров частиц, от субмикронных до тридцати и более микронных.

Второй стадией исследования является сравнение интенсивности фотолуминесценции и элементного состава исходного порошка фотолуминофора и его мелкофракционной фракции, проводимое, соответственно, с помощью спектрофотометра и масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой. Ключевым моментом этой стадии является экстракция мелкофракционной фракции порошка из исходной, осуществляемая через суспензирование порошка с применением неконтактного ультразвукового диспергирования при сопутствующем охлаждении проточной водой и постоянном взбалтывании. Основываясь на уравнении Стокса для скорости седиментации удаётся извлечь мелкофракционную фракцию, которая возвращается в состояние порошка и характеризуется с помощью РЭМ.

Третьей стадией исследования является изучение спектров катодолюминесценции отдельных частиц люминофора, возбуждаемой пучком электронов РЭМ и снимаемой с применением адаптированной для этой задачи спектрофотометра. В качестве количественной характеристики спектров выбрано значение медианного среднего. На основе выборки частиц строится зависимость медианного среднего спектра катодолюминесценции от размеров возбуждаемой частицы.

С использованием данного подхода исследованы три коммерческих образца порошков фотолуминофоров, представленных для исследования партнёрами из компании Платан, и получены следующие хорошо согласующиеся результаты:

- для всех трёх образцов существует размер, ниже которого частицы этого порошка демонстрируют синий сдвиг люминесценции (назовём это зоной «провала»);
- для образца, мелкогазмерная фракция которого в значительной степени представлена в зоне «провала», эта фракция в сравнении с исходным порошком демонстрировала пониженное содержание Ce и Gd (на 20% и 15%, соответственно), а интенсивность фотолуминесценции оказалась ниже приблизительно в 2 раза;
- для образца, мелкогазмерная фракция которого в зоне «провала» представлена незначительно, не наблюдалось различий между этой фракцией и исходным порошком как со стороны содержания Ce и Gd, так и со стороны интенсивности фотолуминесценции.

На основе полученных результатов можно сделать вывод о наличии в порошках YAG:Ce,Gd размера, ниже которого частицы демонстрируют худшие характеристики люминесценции (меньшая интенсивность, синий сдвиг), и констатировать наличие связи этих характеристик с содержанием Ce и Gd в этих частицах. Эти результаты находят частичное подтверждение в литературных источниках [1][2], в которых указывается на характерный для мелких частиц, включая наночастицы, синий сдвиг, однако не предлагается способа выявить причины этого сдвига и признаётся затруднение объяснить этот сдвиг в рамках текущих теоретических представлений.

Литература

1. *Huang S.C. [et al.] Particle size effect on the packaging performance of YAG:Ce phosphors in white LEDs – Int. J. Appl. Ceram. Tech. – 2009. – Т. 6. – №. 4. – С. 465-469.*
2. *Kim K.M., Ryu J.H. Synthesis of $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ colloidal nanocrystals by pulsed laser ablation and their luminescent properties – J. Alloy. Comp. – 2013. – Т. 576. – С. 195-200.*