

ОПТИМИЗАЦИЯ ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКА БЕЛОГО СВЕТА НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНОГО ДИОДА И СМЕСИ ЛЮМИНОФОРОВ

Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь,

Б. Д. Урманов, А. В. Данильчик, М. С. Леоненя

Использование полупроводниковых светоизлучающих диодов (СИД) и лазерных диодов (ЛД) в осветительных приборах позволяет получить эффективные и мощные твердотельные источники белого света. Наиболее распространенной на данный момент является система из InGaN-СИД и люминофора YAG:Ce³⁺, которая позволяет получить белый свет за счет смешивания синего излучения СИД и зелено-оранжевого излучения люминофора. В лазерных диодах, в отличие от СИД, не происходит снижения эффективности излучения с увеличением максимального тока, что делает ЛД более привлекательными источниками для возбуждения излучения в люминофорах [1]. Источники белого света на основе системы из InGaN-ЛД и люминофора уже нашли свое применение в автомобильной сфере, биофотонике и в технологии лазерной беспроводной связи Li-Fi [2]. Тем не менее, существенным недостатком таких систем является низкий коэффициент цветопередачи (CRI) и высокая цветовая температура.

Целью данной работы является повышение CRI и уменьшение цветовой температуры источников белого света на основе системы из InGaN-ЛД и YAG:Ce³⁺-люминофора. Идея заключается в устранении спектрального провала интенсивности излучения системы в сине-зеленой и красной областях за счет введения дополнительных люминофоров. В качестве последних использовались: коммерческий люминофор YAG:Ce³⁺; люминофор BaGa₂S₄:Eu²⁺ с сине-зеленым спектром излучения, обладающий высокой стабильностью эффективности и спектральных характеристики в широком интервале уровней возбуждения вплоть до 10⁴ Вт/см² [3]; коммерчески доступный люминофор с излучением в красной области спектра.

В ходе экспериментальных исследований определялся оптимальный состав смеси люминофоров для достижения высокого значения индекса цветопередачи (CRI > 80) и оптимальной цветовой температурой (T < 5000 K). Исследовались следующие смеси люминофоров:

- 1 – YAG:Ce³⁺, с добавлением BaGa₂S₄:Eu²⁺;
- 2 – YAG:Ce³⁺, с добавлением коммерческого красного люминофора;
- 3 – YAG:Ce³⁺ с одновременным добавлением BaGa₂S₄:Eu²⁺ и коммерческого красного люминофора.

Смеси 1 – 3 возбуждались непрерывным излучением InGaN-ЛД с высокой выходной оптической мощностью около 6 Вт на длине волны 445 нм. На рисунке 1 представлены спектры излучения системы из InGaN-ЛД и смеси 3 при комнатной температуре и разных значениях мольной доли (x_B) люминофоров в исследуемой смеси. Оценка цветовых характеристик полученных источников белого света проводилась путем анализа их спектров излучения по стандартной методике CIE.

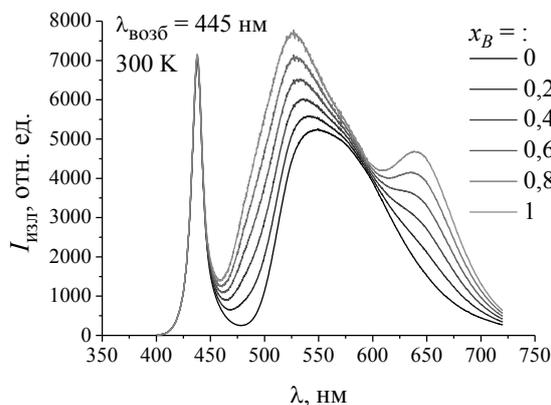


Рис. 1. Спектры излучения системы из InGaN-ЛД и смеси 3 при комнатной температуре и разных значениях мольной доли (x_B) люминофоров

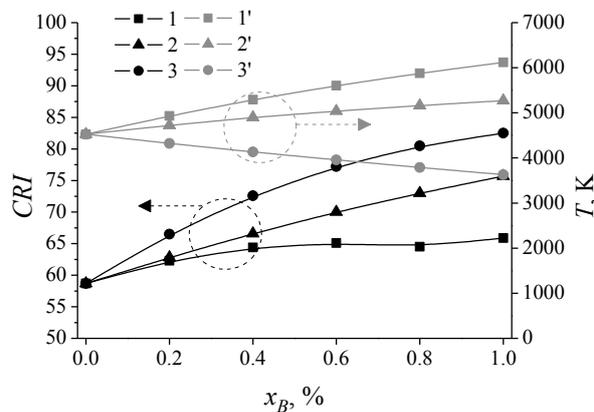


Рис. 2. Зависимость CRI (1, 2, 3) и цветовой температуры (1', 2', 3') источников белого света от мольной доли люминофоров в смесях 1 (1, 1'), 2 (2, 2') и 3 (3, 3')

Полученные значения индекса цветопередачи и цветовой температуры источников белого света на основе системы из InGaN-ЛД и люминофоров представлены на рисунке 2 в качестве зависимостей от мольной доли люминофоров в смесях 1 – 3. В результате, максимальное значение величины CRI составило 82,5 для смеси 3 при смешивании люминофоров в соотношении 1:1:1. Оно является достаточно высоким по сравнению с соответствующим значением в 56,5 для системы из InGaN-ЛД и YAG:Ce³⁺-люминофора. При этом значение цветовой температуры составило 5230 K, что является допустимым для применения в системах освещения. Дальнейшим этапом работы является использование InGaN-ЛД с излучением в фиолетовой области и дополнительного синего компонента в смеси люминофоров для дальнейшей оптимизации цветовых характеристик таких источников белого света.

Список использованных источников:

- [1] K. A. Denault, M. Cantore, S. Nakamura // AIP Advances. 2013. Vol. 3. P. 072107.
- [2] Kim. P. Hansen // Photonics. 2013. Vol. 4. P. 46–49.
- [3] M. S. Leanenia, E. V. Lutsenko, M. V. Rzhetski, et. al. // Journal of Luminescence. 2017. Vol. 181. P. 121–127.