

СВЕТОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ БЕЛЫХ СВЕТОДИОДОВ НА НИТРИДАХ С ЖЕЛТЫМ ЛЮМИНОФОРОМ

Чжан Чжибинь, Лу Веньсин, В. К. Кононенко

Белорусский государственный университет, Минск

E-mail: vklavik@gmail.com

Мощные светодиоды широко используются для освещения и индикации, в системах безопасности, а также для медицинских, военных и других целей [1–3]. Важнейшие задачи – это повышение КПД и надежности полупроводниковых диодных излучателей, подбор и оптимизация спектрального диапазона, поиск новых материалов, улучшение конструкции светодиодов, их световых и тепловых характеристик [4–7].

Настоящая работа посвящена моделированию спектров мощных светодиодов видимого излучения и анализу путей повышения световой эффективности полупроводниковых диодных излучателей. Основное внимание уделено светодиодам белого свечения на основе гетероструктур в системе GaInN–GaN и GaN–AlGaIn. В таких светодиодах используются в основном желтые люминофоры YAG:Ce³⁺ [2, 8, 9]. Свечение люминофоров охватывает широкий спектр от 0.50 до 0.65 мкм и соответствует белому излучению. При этом спектр возбуждения люминофоров состоит из двух полос, которые расположены в области 0.34 мкм и 0.46 мкм и перекрываются с излучением полупроводниковых гетероструктур на соединениях нитридов.

В зависимости от накачки гетероструктур в системе GaInN–GaN и GaN–AlGaIn рассчитаны скорости и спектры спонтанной излучательной рекомбинации. Полосы излучения гетероструктур начинаются с энергии квантов 2.9 эВ и 3.3 эВ соответственно. Таким образом, излучение данных нитридных гетероструктур приходится на длины волн в области 0.43 мкм и 0.38 мкм. Так как желтый люминофор YAG:Ce³⁺ сильно поглощает синий свет, то по параметрам этот люминофор подходит к светодиодным чипам на основе нитридов.

Однако для системы GaInN–GaN установлено, что с ростом накачки гетероструктуры квантовая эффективность возбуждения свечения желтого люминофора YAG:Ce³⁺ падает (из-за уменьшения перекрытия полосы излучения гетероструктуры со спектром возбуждения люминофора) [10]. Поэтому световая эффективность излучателя уменьшается с возрастанием уровня накачки гетероструктуры (рис. 1). Максимальная световая эффективность светодиода составляет порядка 100 лм/Вт.

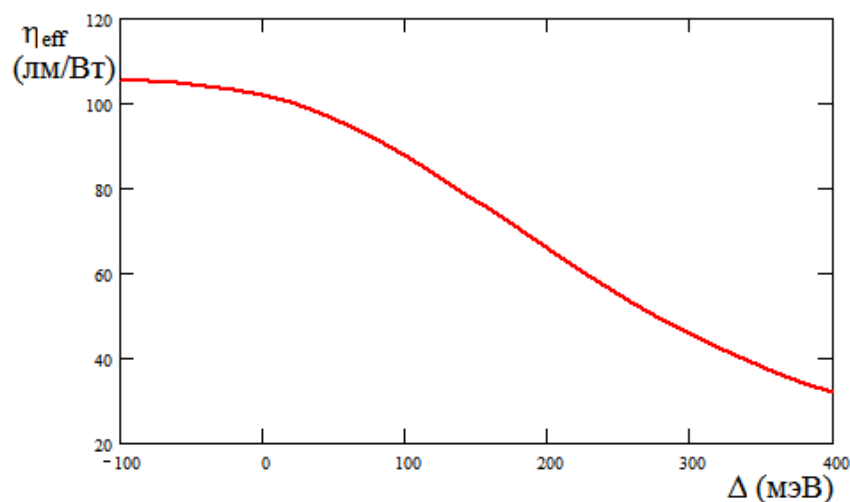


Рис. 1. Зависимость световой эффективности η_{eff} от уровня накачки $\Delta = \Delta F - E_g$ для системы GaInN–GaN

Система GaN–AlGaN ведет себя иначе. В этой системе синее излучение гетероструктуры перекрывается со второй полосой возбуждения люминофора, и эффективность возбуждения люминофора растет с ростом накачки гетероструктуры [11]. При этом световая эффективность светодиодов достигает в пределе 100 лм/Вт (рис. 2).

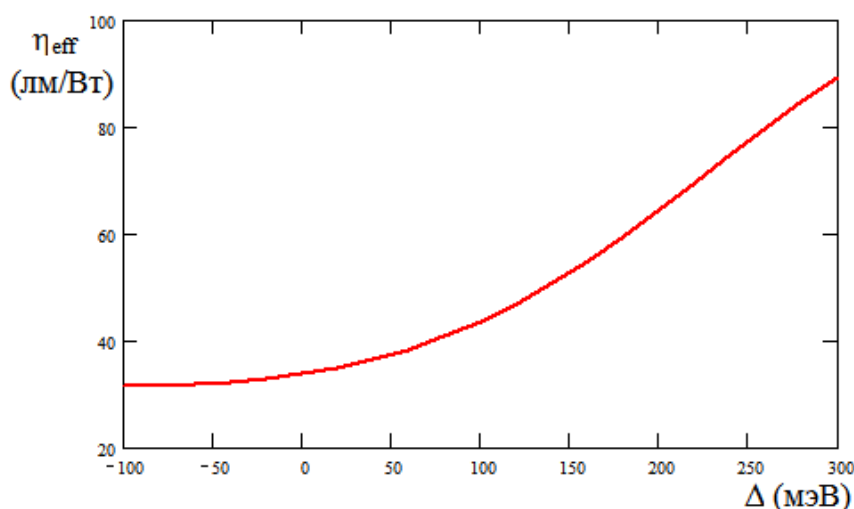


Рис. 2. Зависимость световой эффективности η_{eff} от уровня накачки $\Delta = \Delta F - E_g$ для системы GaN–AlGaN

Как показывают оценки, предельная световая эффективность светодиодов с желтым люминофором YAG:Ce³⁺ составляет порядка 400 лм/Вт. Такая эффективность возможна при хорошем перекрытии полосы излучения гетероструктуры с полосой возбуждения свечения люминофора и высоком квантовом выходе излучения люминофора, т. е. при отсутствии нагрева светодиода и не высокой температуре.

Таким образом, для повышения эффективности белых светодиодов следует оптимизировать излучательные параметры гетероструктур и повысить перекрытие спектров излучения с полосами возбуждения люминофора [12–15]. В пределе световая эффективность белых светодиодов на основе нитридов может составить порядка 400 лм/Вт.

В заключение, для различных излучателей на нитридах выполнены расчеты световой эффективности с учетом спектральной чувствительности человеческого глаза. Рассмотренные особенности излучательных характеристик гетероструктур позволяют наметить дальнейшие пути повышения световой эффективности белых светодиодов и получить предельные характеристики излучателей.

1. Аладов А. В., Васильева Е. Д., Закгейм А. Л. и др. // Светотехника. 2010. № 3. С. 8–16.
2. Xie R.-J., Li Y. Q., Hirosaki N., Yamamoto H. Nitride Phosphors and Solid-State Lighting. N. Y.: Taylor & Francis, CRC Press, 2011. 328 p.
3. Закгейм А. Л. // Светотехника. 2012. № 6. С. 12–21.
4. Bumai Yu. A., Vaskou A. S., Kononenko V. K. // Metrology and Measurement Systems. 2010. Vol. 17, No. 1. P. 39–46.
5. Васьков О. С., Кононенко В. К., Нусс В. С. // Докл. БГУИР. 2011. № 4. С. 74–79.
6. Елисеев Н. П., Решёнов С. П. // Светотехника. 2012. № 4. С. 12–18.
7. Zakgeim A. L., Chernyakov A. E., Vaskou A. S. et al. // Proc. 14th Int. Conf. on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems, EuroSimE 2013. Wroclaw, 2013. P. 1/7–7/7.
8. Katelnikovas A., Bettentrup H., Uhlich D. et al. // J. Luminescence. 2009. Vol. 129, No. 11. P. 1356–1361.
9. Youjie H., Degang D., Huanping W. et al. // Acta Optica Sinica. 2010. Vol. 30 (s1). P. s100101.
10. Kononenko V. K. // Актуальные проблемы физики твердого тела. Сб. докл. Междунар. науч. конф. ФТТ-2007. Т. 2. Минск, 2007. С. 42–46.
11. Kononenko V. K. // XII Междунар. симпоз. “Нанопизика и наноэлектроника”. Т. 2. Н. Новгород, 2008. С. 485–486.
12. Muthu S., Schuurmans F. J. P., Pashley M. D. // IEEE J. Select. Topics Quantum Electron. 2002. Vol. 8, No. 2. P. 333–338.
13. Бадгутдинов М. Л., Коробов Е. В., Лукьянов Ф. А. и др. // ФТП. 2006. Т. 40, № 6. С. 758–763.
14. Narukawa Y., Narita J., Sakamoto T. et al. // Phys. stat. sol. (a). 2007. Vol. 204. No. 6. P. 2087–2093.
15. Narukawa Y., Ichikawa M., Sanga D. et al. // J. Phys. D: Appl. Phys. 2010. Vol. 43, No. 35. P. 354002.