

06;07

Влияние сапфировой подложки на спектры излучения светодиодов из нитрида галлия

© В.Е. Кудряшов, С.С. Мамакин, А.Э. Юнович

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию 3 марта 1999 г.

В спектрах излучения зеленых светодиодов на основе гетероструктур InGaN/AlGaIn/GaN обнаружена слабая тонкая дублетная линия на длинноволновом спаде спектров. Эта линия объясняется люминесценцией остаточных примесных ионов Cr^{3+} в подложке из сапфира (аналогично рубину, $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}$, длины волн дублета 692.9 и 694.3 nm). Ионы возбуждаются излучением светодиодов в видимой области, которая близка к полосам поглощения ионов Cr^{3+} . Показана возможность возбуждения люминесценции рубина излучением голубых и зеленых СД на основе GaN.

1. Исследования и разработки светодиодов (СД) на основе нитрида галлия в последние годы доведены до массового промышленного выпуска [1,2]. Однако спектры электролюминесценции этих СД продолжают быть предметом исследований многих групп (см. работы [3,4] и ссылки в них). Исследования механизмов рекомбинации в гетероструктурах InGaIn/AlGaIn/GaN с квантовыми ямами показали важность изучения не только основных спектральных полос, но и деталей длинноволнового и коротковолнового спада спектров.

В настоящей работе в спектрах излучения СД на основе GaN обнаружена не замеченная ранее спектральная линия. СД фирм Хьюлетт–Паккард и Ничия были изготовлены из гетероструктур, выращенных на подложках из сапфира (Al_2O_3) [1,2]. Спектры люминесценции этих СД имеют максимум в голубовато-зеленой области $\approx 502\text{--}505\text{ nm}$ при комнатной температуре и токах 10–15 mA.

2. На рис. 1 показан характерный спектр одного из СД с деталями, видными на длинноволновом хвосте спектра при увеличении в 70 раз коэффициента усиления и расширении в 5 раз спектральных щелей монохроматора МДР-12. Интенсивность узкой линии вблизи 694 nm росла с увеличением тока в интервале $J = 2\text{--}20\text{ mA}$ (рис. 2).

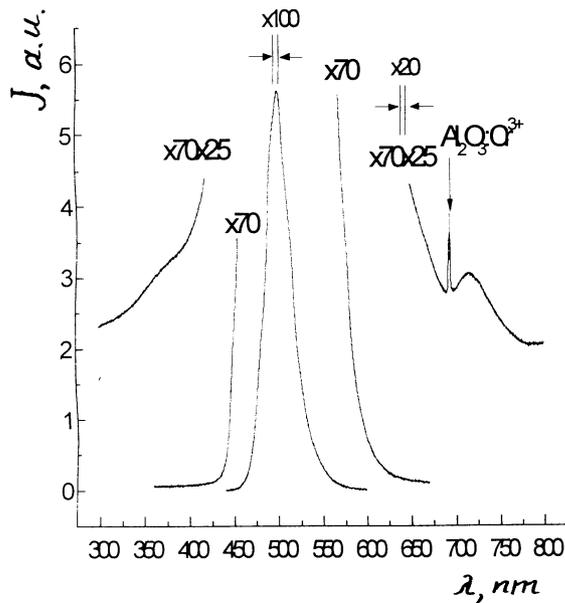


Рис. 1. Спектры электролюминесценции светодиода HLMP-CE30 при $J = 30 \text{ mA}$ и комнатной температуре, на которых проявляется линия примеси Cr^{3+} в сапфировой подложке.

Детали спектра для двух СД (HLMP-CE30, NSPG-510S) показаны на рис. 3: линии дублета имеют максимумы 692.9 и 694.3 nm. Для разных исследованных СД интенсивность этих линий варьируется в 10–20 раз. Известно, что в спектрах люминесценции рубина ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$) имеются такие линии и полосы возбуждения этих линий лежат вблизи 410 и 560 nm [5].

Контрольный опыт был поставлен на образце рубина с содержанием 0.05% ионов Cr. СД разных марок (голубые, голубовато-зеленые и зеленые) ставились пластмассовым куполом вплотную к торцу рубинового цилиндра диаметром 6 mm и длиной 25 mm; наблюдались спектры люминесценции со стороны другого торца при возбуждении излучением СД при $J = 30 \text{ mA}$.

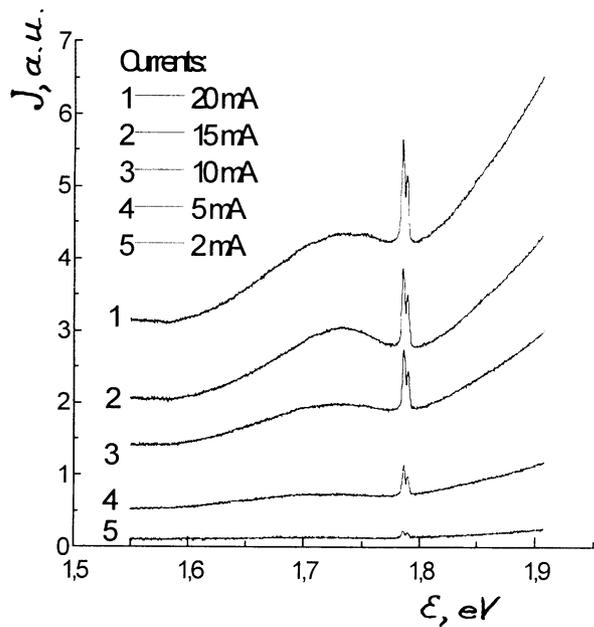


Рис. 2. Изменение спектров излучения примеси Cr^{3+} в сапфировой подложке при изменении тока через светодиод.

На рис. 3 показан характерный спектр фотолюминесценции $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$ в сравнении с линиями в спектрах светодиодов — положение и форма линий дублета совпадают с точностью $\pm 0.1 \text{ nm}$.

3. Таким образом показано, что наблюдаемая в спектрах СД линия обусловлена влиянием остаточных примесей Cr в подложках из сапфира. Показана также возможность возбуждения люминесценции рубина излучением СД на основе гетероструктур из GaN. Особый интерес представляет тот факт, что эти гетероструктуры в принципе возможно выращивать не только на чистом сапфире, но и на рубине — $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}^{3+}$.

Известно, что одно из важных технических применений СД и инжекционных лазеров на основе GaAs, излучающих в ИК-области $\approx 800 \text{ nm}$, — возбуждение лазеров из неодимовых гранатов [5]. Если

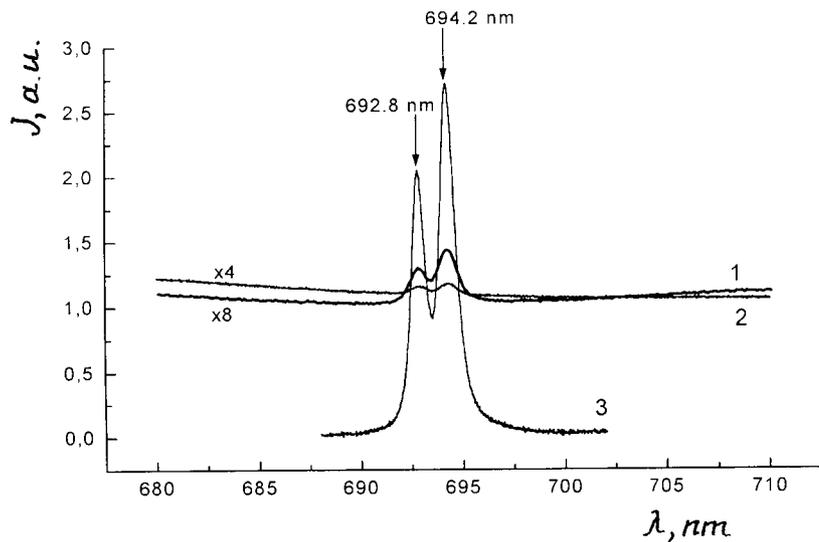


Рис. 3. Тонкая структура линии примеси Cr^{3+} в сапфире для двух разных светодиодов в сравнении с линией фотолюминесценции рубина при возбуждении излучением светодиода HLMP-CM30: 1 — HLMP-CE30, $J = 15 \text{ mA}$; 2 — NSPG-510S, $J = 15 \text{ mA}$; 3 — Ruby (excitation: HLMP-CM30, 30 mA).

мощность излучения СД на основе GaN будет достаточно велика, а спектр их излучения будет подобран для совпадения с полосами возбуждения ионов Cr^{3+} , то кажется интересной постановка исследований возможности возбуждения рубиновых лазеров этими СД. Недавнее сообщение фирмы Ничия о начале выпуска инжекционных лазеров на основе GaN [6] дает возможность постановки опытов по возбуждению рубина и GaN-лазерами.

Известно, что разработаны СД, в которых белый цвет достигается покрытием голубых СД на основе GaN желтым люминофором [7]. Если излучение СД будет достаточно эффективно преобразовываться в линию рубина, то возможно изменение цвета излучения СД за счет сложения основной голубой или зеленой полосы излучения с красным излучением рубина.

Авторы выражают благодарность д-ру П. Мартину (лаборатория фирмы Хьюлетт–Паккард) за присланные на кафедру полупроводников МГУ образцы СД и Н.А. Кравцову за предоставление рубина и обсуждение результатов.

Список литературы

- [1] *Ponce F., Bour De* // Nature. March 1997. V. 386. P. 351–359.
- [2] *Nakamura S., Fasol G.* The blue Laser Diode; GaN based Light Emitters and Lasers. Springer. 1997. 256 S.
- [3] *Yunovich A.E., Kudryashov V., Turkin A., Zolina K., Kovalev A., Manyakhin F.* // Proc. of the 2nd Symp. on III–V Nitride Materials and Processes. V. 97–34 of Electrochem. Soc. Pennington. NY, 1998. P. 83–102.
- [4] *Ковалев А.Н., Маняхин Ф.И., Кудряшов В.Е., Туркин А.Н., Юнович А.Э.* ФТП. 1999. Т. 33 (2). С. 224.
- [5] *Зверев Г.М., Голяев Ю.Д.* Лазеры на кристаллах и их применение. М.: Радио и связь, 1994. 312 с.
- [6] *MRS Internet Journal Nitride Semiconductors Research* "Nichia announces laser commercialization". <http://nsr.mij.mrs.org/news/lasers4sale.html>.
- [7] *Nakamura S.* // MRS Symp. Proc. 1997. V. 449. P. 135–141.