

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР AlGaN / InGaN / GaN С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ИМПУЛЬСНОЙ Хе-ЛАМПОЙ

А.В. Сычева, С.Г. Сысоева

Научный руководитель: профессор, д. т. н. В.И. Олешко
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: sychyova.a.v@gmail.com

Введение

На сегодняшний день наиболее ресурсоэффективным источником излучения считаются светоизлучающие диоды. Их основой являются полупроводниковые гетероструктуры нанесенные на инородную подложку – сапфир Al_2O_3 .

Для контроля качества используют такие методы, как атомно-силовая микроскопия (АСМ) [1], рентгеноструктурный дифракционный метод [2], просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) [3] и метод измерения плотности ямок травления (ПЯТ) [4]. Однако, несмотря на свою точность, обработка полученных результатов является долгим и трудоемким процессом, а в случае с ПЯТ происходит разрушение образцов. Исходя из этих недостатков можно сделать вывод о невозможности использования данных методов в промышленных масштабах. Свободными от этих недостатков считаются люминесцентные методы такие как фото- и катодолюминесценция. Преимущества люминесцентных методов были показаны ранее авторами работ [5, 6]

Цель настоящей работы заключается выявлении преимуществ комплексной люминесцентной диагностики полупроводниковых гетероструктур.

Образцы и методики эксперимента

В качестве исследуемых образцов использовались светодиодные структуры AlGaN / InGaN / GaN синего диапазона, выращенные методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений на сапфире в направлении [0001], активная область которых состояла из множественных квантовых ям и барьеров InGaN / GaN. Фотолюминесценция (ФЛ) образцов возбуждалась импульсной Хе-лампа с шириной пульса 2 мкс.

Результаты и обсуждения

Измерение спектров ФВ и ФЛ образцов показали, что максимумы «синей» полосы лежат в интервале $\lambda_{\max \text{ ФВ}} = 260\text{--}379$ нм, $\lambda_{\max \text{ ФЛ}} = 436\text{--}463$ нм. Для «зеленой» полосы – $\lambda_{\max \text{ ФВ}} = 365\text{--}368$ нм, $\lambda_{\max \text{ ФЛ}} = 550$ нм. Максимумы «синей» полосы люминесценции соответствуют эффективной ширине запрещенной зоны в квантовых ямах InGaN, а различия их положений связаны с неодинаковой концентрацией In в активной области [7–8]. Для определения соотношения интенсивностей ФЛ в синей области спектра (рис. 1) различных образцов возбуждение осуществлялось в максимуме полосы ФВ каждого образца. Несложно заметить, что интенсивность свечения ГС2 значительно превосходит интенсивность остальных образцов. Такое явление объясняется различной технологией выращивания исследуемых гетероструктур, которая, в свою очередь, напрямую влияет на эффективность светодиодных структур [9].

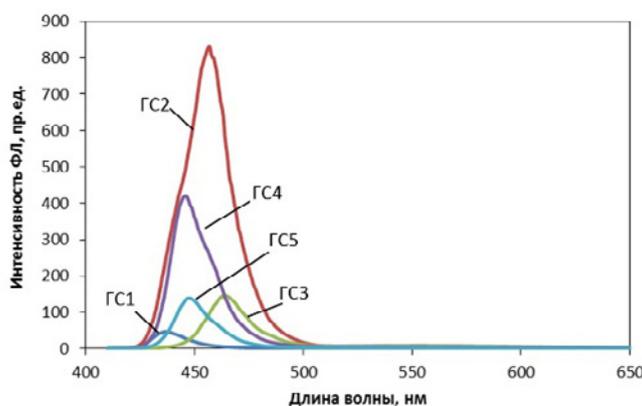


Рис. 1. Соотношение максимумов интенсивностей ФЛ образцов при возбуждении в максимуме ФВ ($\lambda_{\max \text{ ФВ}} = 260\text{--}379$ нм)

Измерения ФЛ при возбуждении в максимуме зеленой полосы показали, что для некоторых образцов интенсивность зеленой полосы соизмерима, а иногда и превосходит, величину интенсивности полосы в синей области (рис. 2).

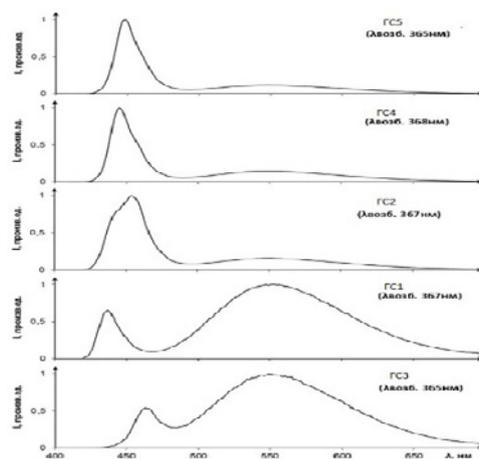


Рис. 2. Спектры ФЛ при возбуждении в максимуме зеленой полосы ($\lambda_{\text{max ФЛ}} = 365\text{--}368$ нм)

Выводы

Излучение гетероструктур в области $\lambda_{\text{max ФЛ}} = 436\text{--}463$ нм является основным свечением AlGaIn / InGaIn / GaIn гетероструктур синего свечения. Ее интенсивность, а также положение максимума напрямую зависят от технологии выращивания.

Появление зеленой полосы излучения $\lambda_{\text{max ФЛ}} = 550$ нм, в большинстве случаев, объясняется соотношением концентрации In в активном слое светодиодных гетероструктур. Имеются работы [10], где интенсивность «зеленой» полосы связывается с энергией возбуждения гетероструктур.

Список литературы

1. Chen Z. Su L.W., Shi J.Y. et al. AFM application in III-nitride materials and devices, atomic force microscopy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.intechopen.com>. – 2012.
2. Kaganer V. M., Brandt O., Trampert A. et al. X-ray diffraction peak profiles from threading dislocations in GaN epitaxial films // Phys. Rev. B. – 2005. – Vol. 72. – 045423. – P. 1–12.
3. Selvaraj L.S., Egawa T.. Transmission electron microscopy to study gallium nitride transistors grown on sapphire and silicon substrates // The transmission electron microscope / Dr. Khan Maaz (ed.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.intechopen.com>. – 2012.
4. Habel F., Seyboth M. Determination of dislocation density in epitaxially grown GaN using an HCl etching process // Phys. Status Solidi C. – 2003. – Vol. 0, No. 7. – P. 2448–2451.
5. Олешко В.И., Горина С.Г., Цысюань Л. и др. Время-разрешенная люминесцентная спектроскопия эпитаксиальных слоев GaN, выращенных на подложках Al₂O₃ // Современные: техника и технологии : труды XX Междунар. научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2014. – Т. 2. – С. 103–104.
6. Oleshko V.I., Gorina S.G., Korepanov V.I. et al. Luminescence of thin-film light-emitting diode structures upon excitation by a high-current electron beam // Russian Physics J. – 2013 – Vol. 56, No. 1. – P. 62–66.
7. Золина К.Г., Кудряшов В.Е., Туркин А.Н. и др.. Спектры люминесценции голубых и зеленых светодиодов на основе многослойных гетероструктур InGaIn/AlGaIn/GaN с квантовыми ямами // ФТП. – 1997. – Т. 31, вып. 7 – С. 1055–1051.
8. Horenburg P., Bub E.R., Rossow U. et al. Strain dependence of In incorporation in m-oriented GaInN/GaN multi quantum well structures // J. Appl. Phys. – 2016. – Vol. 108, No. 1.
9. Лундин В.В., Николаев А.Е., Сахаров А.В. и др. О зависимости эффективности Al^{III}N светодиодов синего диапазона от структурного совершенства буферных эпитаксиальных слоев GaN // ФТП. – 2014. – Т. 48, вып. 1. – С. 55–60.
10. Александров И.А., Журавлёв К.С. Многочастичные эффекты в фотолюминесценции низкоразмерных структур GaN/AlN. // Тезисы докладов 7-й Всероссийской конференции «Нитриды галлия, индия и алюминия – структуры и приборы». – СПб., 2010. – С. 37.