

Литература

1. *Zenkevich E., Sagun E., Knyukshto V.* Photophysical and photochemical properties of potential porphyrin and chlorin photosensitizers for PDT // *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.* 1996. № 33. p. 171–180
2. *Gouterman M.* The Porphyrins, ed. D. Dolphin. New York. 1978. p. 165
3. *Ермолаев В. Л., Бодунов Е. Н., Свешикова Е. Б., Шахвердов Т. А.* Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения. Л.: Наука, 1977. 238 с.

СВЕТОДИОДЫ И ОПТИЧЕСКИ НАКАЧИВАЕМЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ОСНОВЕ INGAN/GAN ГЕТЕРОСТРУКТУР

А. В. Данильчик, Р. Б. Пигаль

Введение

Первый светоизлучающий диод (светодиод) – был создан к началу 1962 года. Он состоял из активного слоя, включающего электронно-дырочный переход между полупроводниками *n*- и *p*-типа, и омических контактов. Когда ток протекает в прямом направлении электроны проходят через переход со стороны *n*-полупроводника, а дырки – со стороны *p*-полупроводника, в результате чего в области *p*-*n* перехода происходит излучательная рекомбинация с образованием фотона с энергией $h\nu = E_g$, где E_g – ширина запрещённой зоны. Этот процесс гораздо эффективнее происходит в прямозонных полупроводниках, в которых интенсивность прямых оптических переходов значительно превосходит интенсивность непрямых [1].

Изменяя состав веществ как функцию расстояния, можно контролировать уровень инжекции, излучательной рекомбинации, а также перепоглощение. При изменении состава веществ изменяется ширина запрещенной зоны, появляется возможность изменять потенциальный профиль. Структуры, состоящие из полупроводниковых материалов с различными E_g называются гетероструктурами [2]. В результате использования гетероструктур было достигнуто увеличение внешней квантовой эффективности и повышение инжекции в современных светодиодах. Особый случай гетероструктур – квантовые ямы, дополнительная выгода от которых состоит в квантовом ограничении носителей

Сплавы $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ это прямозонные полупроводники величина ширины запрещенной зоны E_g которых может изменяться от 0.7–0.9 до 3.4 эВ в зависимости от концентрации содержания In. Эти твердые растворы отлично подходят для производства ярких светодиодов (LEDs), которые покрывают спектральный диапазон от красного света до ближнего ультрафиолета (UV).

Основные области применения – индикаторы, светофоры, осветительные приборы, приемопередатчики в устройствах оптоволоконной связи, а так же для получения лазерных диодов. Лазерные диоды применяются в оптических устройствах записи и хранения информации.

Цель работы

В данной работе проводилось исследование основных параметров электролюминесцентных структур таких как электролюминесценция и вольтамперные характеристики, а также порог и спектр генерации. Использовались различные гетероструктуры, выращенные на двух типах подложки – сапфире и кремнии [3].

Методы измерений

Для измерения спектров фото-, электролюминесценции и генерации использовалась установка с регистрацией оптического сигнала на CCD линейки, что позволяло следить за изменением оптического сигнала в реальном масштабе времени и быстро производить настройку.

Источниками возбуждения служили: для фотовозбуждения – импульсный азотный лазер ЛГИ-505 ($\lambda = 337,1$ нм; $E_{\text{имп}} = 32$ мкДж; $\tau = 8$ нс; $\nu = 1000$ Гц) с блоками питания и системами охлаждения; для электровозбуждения - источник питания постоянного тока Б5-50 или импульсный генератор Г5-27 с контактным устройством.

Возбуждение излучением азотного лазера осуществлялось при помощи волоконно-оптической системы или непосредственно, а электровозбуждение – посредством золотых, танталовых контактных групп, In контактов, а также нанесением полупрозрачных Au/Ni контактов с последующим их вжиганием.

Результаты измерений

Получены спектры фото- и электролюминесценции InGaN/GaN, выращенных на сапфировых и кремниевых подложках, при импульсном и непрерывном возбуждении при изменении плотности инжекционного тока. Также исследовались зависимости спектра и порога генерации от температуры. Наблюдалось смещение пиков люминесценции при увеличении плотности тока у структур на сапфире сначала в коротковолновую, а затем в длинноволновую сторону спектра с увеличением плотности тока. Коротковолновое смещение объясняется заполнением хвостов состояний, а длинноволновое – перегревом области рекомбинации, обусловленное тем, что теплопроводность сапфира в четыре раза меньше чем нитрида галлия.

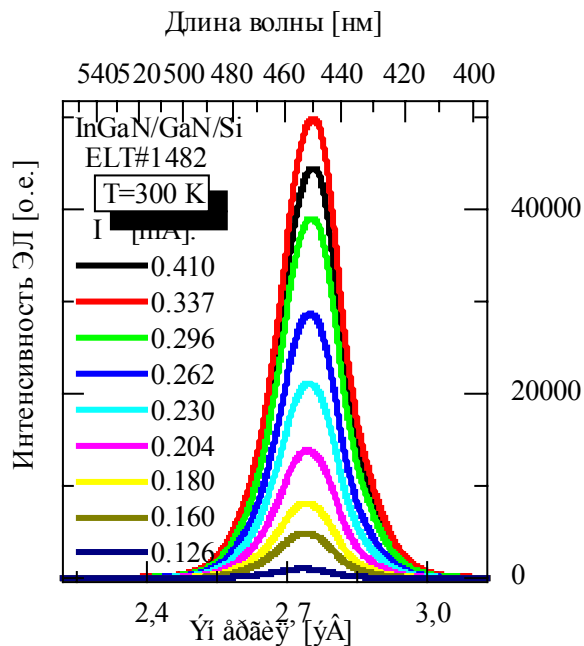


Рис. 1. Спектр фотолюминесценции. Прижимные контакты

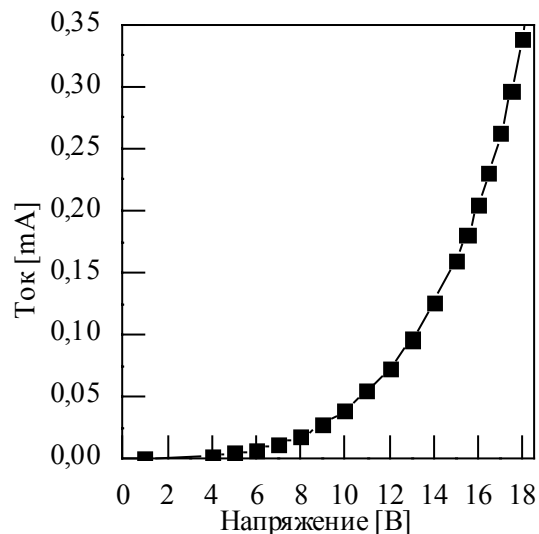


Рис. 2. Вольт амперная характеристика

На рисунке 1 представлены спектры фотолюминесценции InGaN/GaN на кремниевой подложке. Несмотря на то, что эффективность данных структур меньше, смещения в длинноволновую область не наблюдалось, следовательно можно говорить о хорошем теплоотводе из активной области. На рисунке 2 представлена вольтамперная характеристика одной из тестовых структур с Si подложкой.

Исследование порога генерации от температуры показало, что лазеры на сапфировых подложках обладают характеристической температурой $T_0 = 300$ K в области температур 78 – 220 K, а при более высоких температурах $T_0 = 110 – 130$ K.

Характеристическая температура лазеров на кремниевых подложках (рис. 3) составила $T_0 = 190$ K при $T < 210^\circ\text{C}$, и $T_0 = 55$ K при $T > 210^\circ\text{C}$. Низкий порог генерации и большая характеристическая температура вблизи комнатной температуры лазеров на кремниевых подложках позволили получить генерацию до 360°C , что является, насколько нам известно, самой высокой рабочей температурой лазеров на данном виде соединений.

Смещение длины волны генерации (см. вставку на рис. 3) в длинноволновую область связано с уменьшением ширины запрещенной зоны при нагревании образца [4].

Впервые получена генерация квантоворазмерных гетероструктур InGaN/GaN, выращенных на кремниевых подложках при оптическом возбуждении.

Порог генерации при комнатной температуре составил величину всего лишь 30 кВт/см² на длине волны генерации 453–455 нм (что соответствует синему цвету), импульсная мощность – порядка 20 Вт. Генерация наблюдалась вплоть до 360°C. В тоже время минимальный порог генерации для лазеров на сапфировых подложках ($\lambda_{\text{ген}}=452$ нм) составил величину 70–100 кВт/см².

Сравнение спектров возбуждения фотолюминесценции гетероструктур обоих типов показывает различие в кластеризация InGaN, что и позволило добиться рекордных результатов для лазеров, выращенных на кремнии.

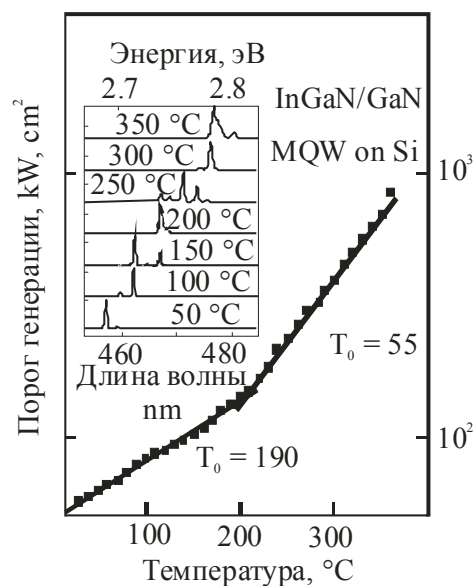


Рис. 3. Спектр и порог генерации в зависимости от температуры. Возбуждение азотным лазером

Литература

1. Zukauskas A., Shur M. S., Gaska R. Introduction to Solid-State Lightning / 200, (2002).
2. Casey H. C., Jr. Muth J., Krishnankutty S., and Zavada J. M. Dominance of tunneling current and band filling in InGaN/AlGaIn double heterostructure blue light emitting diodes // Appl. Phys. Lett, 68, (20), pp. 2867–2869 (1996).
3. Yablonskii G. P., Lutsenko E. V., Pavlovskii V. N. Luminescence and stimulated emission from GaN on silicon substrates heterostructures // Phys. Stat. Sol. (a) 192, (2002) pp. 54–59.
4. Shan W., Schmidt T. J., Yang X. H., Hwang S. J., and Song J. J. Temperature dependence of interband transitions in GaN grown by metalorganic chemical vapor deposition // Appl. Phys. Lett, vol 66, №20, p 985.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ РАСТВОРОВ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК И КРАСИТЕЛЯ DODCI. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ УЛЬТРАЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ БИОСЕНСОРОВ

И. А. Капуцкая

В настоящее время одним из перспективных направлений использования полупроводниковых нанокристаллов (квантовых точек) в биологии и медицине является создание сигнальных молекулярных систем (СМС) на их основе. Эти системы представляют собой олигонуклеотидную нить, к концам которой пришиваются хромофоры, один из которых (органический краситель) является тушителем флуоресценции другого (на-