

06.3;07

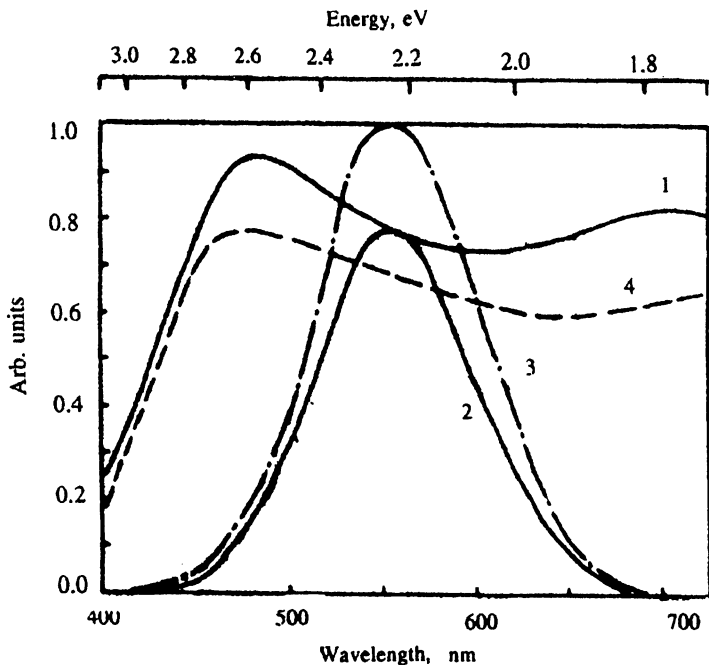
## СВЕТОДИОДЫ ИЗ НИТРИДА ГАЛЛИЯ С БЕЛЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

© А.Г.Дрижук, М.В.Зайцев,  
В.Г.Сидоров, Д.В.Сидоров

Создание источников излучения, имеющих спектр, близкий к спектру чувствительности глаза человека, заслуживает внимания. Во-первых, такие источники необходимы для использования в метрологии в качестве опорных, и во-вторых, они могут быть использованы в качестве простых белых индикаторов, дополняющих семейство источников, имеющих чистые цвета излучения.

В работе [1] сообщалось об изготовлении светодиодов с изменяющимся цветом излучения — от голубого до красного. Светодиоды изготавливались на основе  $i-n-GaN$  структур с активной областью из  $GaN$ , легированного цинком и кислородом одновременно. Эти примеси, а также определенный уровень легирования обеспечивали существование двух полос излучения в спектрах электролюминесценции диодов: голубой с  $h\nu_{max} = 2.55$  эВ, линейно поляризованной до 60%, и красной с  $h\nu_{max} = 1.8$  эВ, неполяризованной. Частичное гашение голубой поляризованной полосы с помощью поворачивающегося поляроида приводит к изменению цвета излучения светодиода. При некотором положении поляроида цвет излучения таких светодиодов можно сделать близким к белому.

Белый цвет излучения для  $M-i-n-GaN(Zn,O)$ -структур может быть получен и чисто технологически, путем выбора режима выращивания и уровня легирования активного  $i$ -слоя структуры. Светодиодные структуры выращивались газотранспортным методом в хлоридно-гидридвой системе с использованием в качестве газа-носителя гелия [2]. Выращивание структур осуществлялось на подложках сапфира, ориентированных в плоскости  $(10\bar{1}2)$ . При этом  $i-n$ -структуры  $GaN$  были ориентированы в плоскости  $(10\bar{2}0)$ . Слой нелегированного  $n-GaN$  толщиной  $(20-30)$  мкм выращивался при температуре  $\sim 1050^\circ C$  со скоростями роста до  $20$  мкм/ч. Концентрация и подвижность электронов в этих слоях изменялись в пределах  $(6-10) \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  и  $60-100 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$  соответственно. В том же процессе на слое  $n-GaN$  выращивалась высокоомная  $i$ -область, но при более низких температурах и при более низких скоростях роста. Активная  $i$ -область имела толщину  $(1-3)$  мкм и состояла из



Спектральные характеристики светодиодов с белым излучением: 1 — плотность потока излучения и 2 — плотность светового потока для GaN-светодиода; 3 — кривая спектральной чувствительности глаза; 4 — плотность потока излучения для ZnO-светодиода [3].

двух слоев: легированного цинком и кислородом и легированного только цинком. Концентрация цинка в *i*-области составляла  $N_{Zn} = (10^{20} - 10^{21}) \text{ см}^{-3}$ . При таких концентрациях  $N_{Zn}$  в спектрах электролюминесценции структур одновременно присутствуют полосы с энергиями максимумов  $h\nu_{max}$ : 2.55, 2.4, 2.2 и 1.8 эВ, что обеспечивает широкий суммарный спектр, перекрывающий весь видимый диапазон (см. рисунок, кривая 1). При определенном соотношении интенсивностей указанных полос результирующие спектры электролюминесценции светодиодов достаточно хорошо повторяют спектр чувствительности глаза человека (см. рисунок, кривые 2, 3). При этом излучение светодиодов воспринимается как чисто белое. Степень поляризации электролюминесценции изготовленных таким образом структур составляла 15–20%, сила света равнялась  $\sim 0.05$  мкд при токе через структуру  $\sim 5$  мА, эффективность достигала 0.1%. Вольт-амперные характеристики светодиодов в диапазоне напряжений (4–30) В сохраняли линейность. По спектральным характеристикам такие светодиоды близки к источни-

кам белого света, изготовленным на кристаллах окиси цинка (рис. 1, кривая 4), но превосходят их по эффективности на порядок [3].

Работа выполнена при частичной поддержке Аризонского университета (США).

### Список литературы

- [1] Дрижук А.Г., Зайцев М.В., Сидоров В.Г., Сидоров Д.В. // Письма в ЖТФ. 1996 г. (в печати).
- [2] Андреев В.М., Оплеснин В.Л., Виданов А.П., Вигдорович Е.П., Хренов В.Т. // Тез. докл. V Междунар. симп. по процессам роста и синтеза полупр. кристаллов и пленок. Новосибирск, 1978. С. 50.
- [3] Minami T., Takata S., Jamanishi M., Kawamura T. // Jap. J. of Appl. Phys. 1979. V. 18. N 8. P. 1617.

Физико-технический институт  
им.А.Ф. Иоффе РАН  
С.-Петербург

Поступило в Редакцию  
5 апреля 1996 г.