

06.3;07

СВЕТОДИОДЫ ИЗ НИТРИДА ГАЛЛИЯ С УПРАВЛЯЕМЫМ ЦВЕТОМ ИЗЛУЧЕНИЯ — ОТ ГОЛУБОГО ДО КРАСНОГО

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

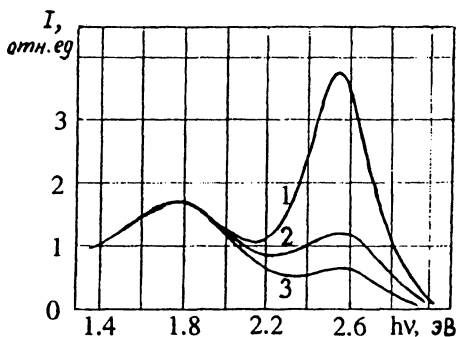
Индикатор, цветом излучения которого можно управлять, имеет значительно большие возможности для применения по сравнению с одноцветным, что и определяет актуальность таких разработок. К настоящему времени известны различные способы управления цветом излучения электролюминесцентных индикаторов [1]. Например, многоцветные излучатели могут быть изготовлены на основе многослойных светодиодных структур с несколькими $p-n$ -переходами, каждый из которых имеет свой цвет свечения. При этом, изменяя соотношение токов $p-n$ -переходы, можно получать промежуточные цвета для суммарного излучения такого устройства.

Спектральный состав излучения может зависеть от величины и полярности, от частоты, длительности и формы импульсов возбуждающего напряжения. В этом случае в активной области излучателя происходит перераспределение потоков рекомбинации между различными рекомбинационными центрами, а также пространственное смещение области рекомбинации в неоднородной структуре, что и определяет изменение цвета излучения. Такой способ управления цветом излучения характерен преимущественно для порошкообразных люминофоров [2], но возможен и в $p-n$ -переходах [3].

В настоящей работе мы сообщаем об уникальных возможностях для управления цветом излучения в $M-i-n$ -структурах, изготовленных из нитрида галлия, легированного цинком и кислородом.

Излучающие $i-n$ -структуры, ориентированные в плоскости $(11\bar{2}0)$, были выращены газотранспортным методом в хлоридно-гидридной системе на подложках из сапфира $(10\bar{1}2)$. Слои низкоомного нелегированного n -GaN имели толщину 10–30 мкм и концентрацию электронов $(6-10) \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Высокоомные i -области имели толщину 1–5 мкм и состояли из двух слоев: внутреннего, легированного Zn и O, и поверхностного, легированного только Zn.

Электролюминесценция (ЭЛ) возбуждалась в i -GaN (Zn, O)-слое при отрицательной полярности напряжения на контакте к слою i -GaN(Zn) и регистрировалась со стороны под-



Спектры люминесценции $M-i-n-GaN(Zn,O)$ -структур при различных углах между осью поляроида и азимутом поляризации излучения структуры; α , рад: 1 — 0; 2 — $\pi/3$, 3 — $\pi/2$.

ложки. При концентрациях Zn в i -слое $N_{Zn} \leq 10^{20} \text{ см}^{-3}$ в спектрах ЭЛ структур наблюдалась только одна полоса с энергией максимума $h\nu_{\text{max}} = 2.55 \text{ эВ}$, имеющая линейную поляризацию до 60%. С увеличением концентрации Zn в спектрах ЭЛ в дополнение к поляризованной полосе наблюдается последовательное появление неполяризованных полос с максимумами 2.4, 2.2, 1.8 эВ.

Для изготовления светодиодов с изменяющимся цветом излучения использованы структуры с $N_{Zn} \geq 10^{21} \text{ см}^{-3}$. При этом среднее удельное сопротивление i -слоя составляло $(1-5) \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, а в спектрах ЭЛ наблюдались две достаточно яркие полосы: красная, неполяризованная с $h\nu_{\text{max}} = 1.8 \text{ эВ}$ и голубая, поляризованная с $h\nu_{\text{max}} = 2.55 \text{ эВ}$.

Если на пути излучения светодиода поместить поворачивающийся поляроид, то с его помощью можно плавно изменять цвет излучения от голубого до красного за счет частичного гашения голубой полосы (см. рисунок), а полученный прибор использовать как датчик угловых и поступательных перемещений. Эффект изменения цвета излучения проявляется наиболее ярко, когда интенсивность голубой полосы в несколько раз превосходит интенсивность красной.

Функциональные возможности данного устройства могут быть расширены, если между стационарно установленным поляроидом и светодиодом поместить жидкокристаллическую ячейку. При этом вращение азимута поляризации голубой полосы светодиода в такой ячейке можно осуществлять с помощью электрического или магнитного полей, изменением температуры или с помощью механических воздействий. Такое устройство может служить цветовым индикатором отклонения параметров соответствующих полей от

заданных значений. Использование ячеек Керра или Покельса вместо жидкокристаллической обеспечивает устройству быстроедействие до 10^{-10} с.

Цветом излучения описанных выше светодиодов можно управлять и с помощью напряжения, так как интенсивность красной и голубой полос изменяется различным образом в зависимости от напряжения смещения на диоде. При напряжениях 5–15 В в спектре ЭЛ доминирует красная полоса. С увеличением напряжения ее интенсивность стремится к насыщению и при напряжениях больше 15–20 В голубая полоса становится основной.

Светодиоды с изменяющимся цветом излучения имели следующие параметры (без поляроида): рабочее напряжение 5–40 В; сила света (при 5 мА) 0.2 мкд; яркость 400 кд/м²; максимум излучения от 1.8 до 2.55 эВ; эффективность 0.1%.

Работа выполнена при частичной поддержке Аризонского Университета (США).

Список литературы

- [1] Косяченко Л.А. // Микроэлектроника. 1979. Т. 8. С. 387–397.
- [2] Прикладная электролюминесценция / Под ред. М.В. Фока. М.: Сов. радио, 1974. 416 с.
- [3] Logan R.A., Rosenzweig W., Wiegmann W. Пат. США, кл. 313–108Д (НО5 33/16), № 3603833. 1970.

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

Поступило в Редакцию
22 февраля 1996 г.