

обработки сигнала состоял из ЧД, селективного усилителя с полой пропускания 200 Гц, настроенного на частоту модуляции оптической длины трассы, детектора огибающей и СД, измеряющего сигнал на частоте прерывания. При времени интегрирования 10 с отношение сигнала к шуму составило $(7-12) 10^3$ и 300-500 для отражателя из дюралюминия и наждачной бумаги соответственно.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Берштейн И.Л. Изв. вузов. Сер. Радиофизика. 1973. Т. 16. № 4. С. 526-530.
- [2] Берштейн И.Л., Степанов Д.П. Изв. вузов. Сер. Радиофизика. 1973. Т. 16. № 4. С. 531-535.
- [3] Желтухин А.А., Козин Г.И., Коновалов И.П., Петров В.В. В сб.: Газовые лазеры / Под ред. Проценко Е.Д. М.: Энергоатомиздат, 1983. С. 47-57.
- [4] Козин Г.И., Коновалов И.П., Петровский В.Н. и др. Квантовая электрон. 1980. Т. 7. № 11. С. 2405-2414.

Поступило в Редакцию
18 июля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 23

12 декабря 1990 г.

06.3

© 1990

ЗЕЛЕННЫЕ SiC-6H СВЕТОДИОДЫ

Б.И. Вишневская, В.А. Дмитриев,
Л.М. Коган, Я.В. Морозенко,
В.Е. Челноков, А.Е. Черенков

Спектры излучения светодиодов, выпускаемых современной промышленностью, перекрывают почти весь видимый диапазон. Зеленые, желтые и красные промышленные светодиоды изготавливаются на основе соединений A_3B_5 . Их коротковолновая граница определяется GaP-светодиодами (длина волны максимума электролюминесценции $\lambda_{max} = 555$ нм), что соответствует границе зеленого и желто-зеленого цветов (рис. 1, г). Синие и фиолетовые светодиоды изготавливаются на основе карбида кремния: использование SiC политипа 6H позволило разработать промышленные синие светодиоды с $\lambda_{max} = 470-480$ нм [1, 2] (рис. 1, б), использование SiC политипа 4H - создать первые фиолетовые

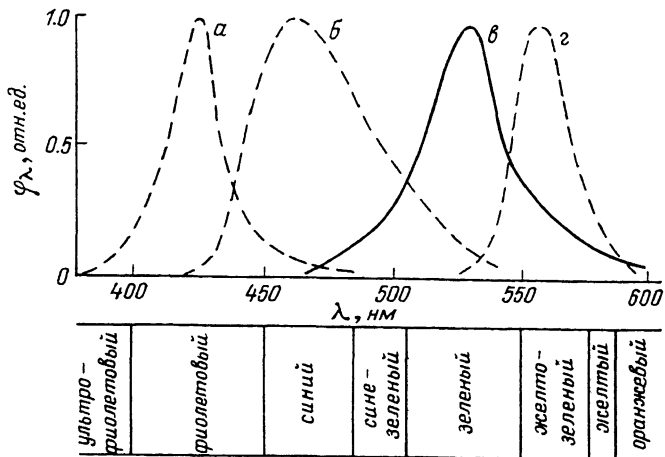


Рис. 1. Спектры электролюминесценции светодиодов: а - фиолетовый SiC -4Н светодиод [3], б - синий SiC -6Н светодиод [2], в - зеленый SiC -6Н светодиод, г - GaP - светодиод [6].

светодиоды с $\lambda_{max} = 423$ нм [3] (рис. 1, а).

Лишь область длин волн от 500 до 550 нм, соответствующая зеленому цвету, оптоэлектронной промышленностью практически не освоена. Между тем, светодиоды с чисто зеленым свечением могут найти применение в биологии, медицине, спектроскопии, в качестве эталонов цвета, в газоанализаторах, в системах записи и воспроизведения информации.

В [4] сообщалось о разработке зеленых светодиодов ($\lambda_{max} = 520$ –530 нм), а также многоэлементных светодиодных линеек на базе гетероэпитаксиальных слоев карбида кремния политипа 4Н. Световая мощность одиночного элемента составляла 1.1 мкВт при токе около 100 мА. В настоящей работе представлены характеристики и параметры зеленых SiC -6Н светодиодов с мощностью излучения до 2.6 мкВт при токе 20 мА.

1. Создание р-п-структур.

SiC -6Н р-п-структура изготавливалась методом бесконтейнерной жидкостной эпитаксии из раствора-расплава Si-C [5]. Эпитаксиальная р-п-структура выращивалась на (0001) Si-границы монокристаллической SiC -6Н подложки. Перед эпитаксией проводилось травление приповерхностного слоя подложки в расплаве КОН. Рост эпитаксиальной р-п-структуры производился при температуре 1600 °С; р-слой легировали алюминием (акцептор), п-слой - азотом (донор). Формирование мезаструктур на эпитаксиальной р-п-структуре, нанесение контактов и резка на отдельные мезаструктуры аналогичны описанному в [2]. Светодиоды оформлены в стандартный светодиодный корпус с полимерной линзой.

2. Характеристики и параметры светодиодов.

Измерение электрических и электролюминесцентных характеристик проводилось на светодиодах в корпусе с полимерной линзой.

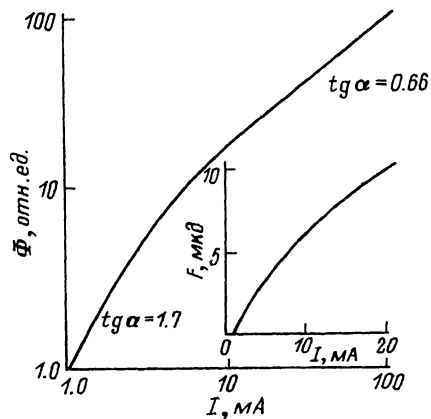


Рис. 2. Характеристика поток фотонов (Φ) – ток (1).

На вставке: характеристика силы света (F) – ток (I) светодиода с полушириной диаграммы направленности излучения 12° , измеренная на постоянном токе. $T = 293$ К.

Измерения производились при комнатной температуре в интервале токов 0.5–100 мА. Характеристики измерялись на импульсах (для предотвращения

разогрева структуры); длительность импульсов 10 мкс, скважность $10\text{--}10^3$.

а) Характеристика прямой ток (I) – напряжение (U) практически линейна при $U > 3.5$ В. Остаточное дифференциальное сопротивление структуры около 40 Ом, падение напряжения при токе 20 мА составляет 3.6 В.

б) Спектр электролюминесценции зеленых светодиодов (рис. 1, в) слабо зависит от тока (в интервале токов 5–100 мА). С ростом тока спектр незначительно сдвигается в коротковолновую область. Энергия максимума спектра равна 2.31 эВ ($\lambda_{max} = 536$ нм) при токе 5 мА и 2.35 эВ ($\lambda_{max} = 527$ нм) при токе 100 мА; полуширина спектра в этом интервале токов остается практически неизменной и составляет 0.16 эВ.

в). Характеристика поток фотонов (Φ) – прямой ток (I) (рис. 2), измеренная на импульсах (изотермический режим) имеет вид $\Phi = \Phi_0 \cdot I^\alpha$. При малых токах (1–7 мА) $\alpha = 1.7$; при больших токах (10–100 мА) $\alpha = 0.66$. На постоянном токе (неизотермический режим), при токе, большем 10 мА, Φ – I характеристика сублинейна.

г) Сила света светодиодов, измеренная при пропускании постоянного тока 20 мА, равна 9 мкд (полуширина диаграммы направленности 12°).

д) Переходная характеристика электролюминесценции слабо зависит от тока в интервале 20–100 мА. При возбуждении электролюминесценции импульсным током интенсивность света возрастает от уровня 0.1 до уровня 0.9 при включении тока и падает в том же интервале уровней при выключении тока за 100 нс.

Заметное повышение световой мощности излучения светодиодов с чисто зеленым цветом свечения расширяет возможности практического применения SiC-светодиодов.

- [1] Light Emitting Diodes. Short Form Catalog, 1986/1987, Ordning N В3-В3303-х-х-7600. Siemens, München, 1986. 14 p.
- [2] Вишневская Б.И., Дмитриев В.А., Коваленко И.Д., Коган Л.М., Морозенко Я.В., Родкин В.С., Сыркин А.Л., Царенков Б.В., Челноков В.Е. // ФТП. 1988. Т.22. В.4. С.664-669.
- [3] Дмитриев В.А., Коган Л.М., Морозенко Я.В., Царенков Б.В., Челноков В.Е., Черенков А.Е. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 1. С. 39-43.
- [4] Бараш А.С., Водаков Ю.А., Кольцова Е.Н., Мальцев А.А., Мохов Е.Н., Роенков А.Д. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В.24. С. 2222-2225.
- [5] Дмитриев В.А., Иванов П.А., Коркин И.В., Морозенко Я.В., Попов И.В., Сидорова Т.А., Стрельчук А.М., Челноков В.Е. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 4. С. 238-241.
- [6] Коган Л.М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды. М.: Энергоатомиздат, 1983. 208 с.

Поступило в Редакцию

12 июля 1990 г.