

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ  
СВЕТОДИОДОВ БЛИЖНЕГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ДИАПАЗОНА**

Исследовано быстродействие светодиодов (СИД) ближнего ультрафиолетового (УФ) диапазона с постоянной оптической мощностью достигающей 1 мВт и зависимость пиковой оптической мощности от тока накачки.

Ультрафиолетовая (УФ) область 250–400 нм весьма перспективна для построения систем атмосферной оптической связи (АОС) за счет уменьшения фоновых помех и бликов от Солнца и роста пропускной способности канала связи. Повсеместное использование этой области спектра до сих пор сдерживалось отсутствием эффективных и портативных излучателей. С появлением полупроводниковой техники работающей в этом спектральном диапазоне в качестве источников излучения в АОС могут быть использованы полупроводниковые светодиоды (СИД). Спектральная плотность мощности, эффективность и быстродействие которых достаточны для создания портативных информационных систем работающих на расстояния до 1 км, а масса – габаритные параметры, механическая прочность, надежность, устойчивость к перепадам температур существенно превосходят аналогичные показатели других источников УФ излучения. Срок службы светодиодов 10 000 ч, превышает жизненный цикл большинства установок работающих на открытом воздухе.

В целях получения необходимых данных для создания АОС после предварительного анализа были исследованы несколько типов СИД: RLT360-1.5-30-3CC, NSHU-590, ARL52BVC, L-7113UVC. Их паспортные характеристики представлены в табл. 1 [1].

Обычно производители, указывают оптические характеристики светодиодов работающих в постоянном режиме при типовом значении тока. Вместе с тем импульсные параметры светодиодов не менее важны.

Быстродействие СИД или предельная частота модуляции ограничивается временем жизни неосновных носителей, поэтому при включении и выключении СИД, световой поток возрастает до максимума и спадает до минимума не мгновенно. Инерционность ограничивает возможности применения СИД при работе с сигналами высокой частоты. Наличие инерционности у СИД приводит к тому, что величина их светового потока зависит от частоты модуляции тока – с увеличением частоты световой поток уменьшается. Поэтому при измерении быстродействия СИД, достаточно увеличивая частоту модуляции найти момент, когда световой поток начнет уменьшаться. Быстродействие также зависит от внутреннего сопротивления и емкости (RC) конкретного образца СИД и может незначительно меняться от температуры.

Таблица 1. Паспортные данные УФ СИД

Паспортные данные	Модель СИД			
	RLT360	NSHU-590	L-7113	ARL52
Длина волны, нм	360	375	395	400
Средний ток, мА	30*3	30	30	30
Напряжение питания, В	5	4	4,2	3,5
Угол излучения, градусы	10*3	10	20	20
Диапазон температур, °С	от -40 до +100	от -30 до +85	от -40 до +85	-
Оптическая мощность, мкВт	500*3	750	160 мкКд	200 мкКд

Для измерения быстродействия была собрана лабораторная установка. Напряжение питания подавалось на СИД с генератора прямоугольных импульсов Г5-78 и одновременно – на вход синхронизации осциллографа С1-99. Задавалась частота и длительность импульсов (до 1 нс) модулирующих излучение исследуемых СИД. Светодиод и фотодиод установлены соосно в жесткой пластиковой муфте. Фотодиод ФД-256, с постоянной времени 2 нс, включен в трансимпедансный усилитель разрешающий 0,9 нс. Сигнал с усилителя через согласованный кабель поступает на осциллограф С1-99, который предназначен для наблюдения формы и измерения параметров электрических сигналов длительностью до 50 нс, а с растяжкой до 5 нс. Все измерения были проведены при комнатной температуре +22 °С. Полученные данные показаны на рис. 1. Для сравнения на графике показано быстродействие СИД видимого диапазона, а именно зеленого и красного цветов.

Величина предельного быстродействия УФ СИД лежит в диапазоне от 100–300 нс, что по порядку величины меньше наблюдаемой в цветных и белых СИД видимого диапазона, но больше чем в красных и инфракрасных.

При питании СИД важно установить величину максимально допустимого и разрушающего импульсного тока при больших скважностях, чтобы полностью реализовать их ресурс при максимальной излучаемой пиковой мощности. Яркостью СИД можно легко управлять с помощью скважности, делая неразличимой видимую компоненту излучения СИД, работающих на границе УФ и видимого излучения. Коэффициент модуляции СИД чрезвычайно высок и достигает до 98 %.

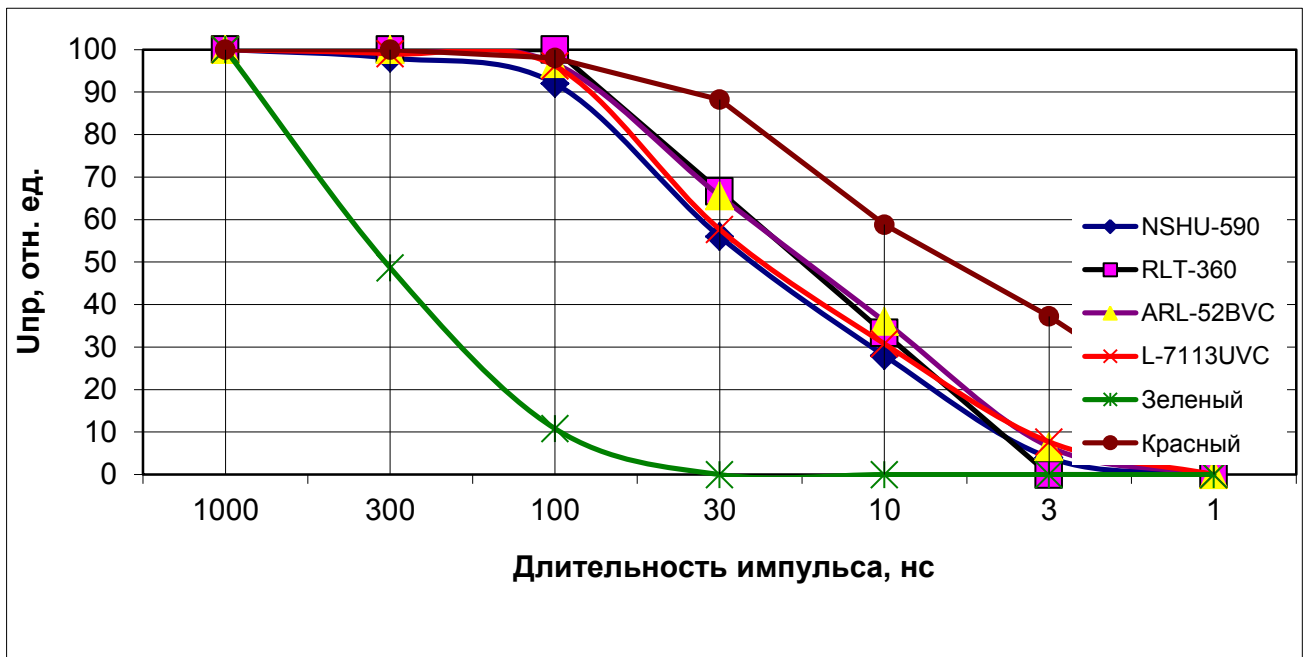


Рис. 1. Быстродействие ультрафиолетовых светодиодов

Измерение импульсной оптической мощности в УФ диапазоне представляет собой весьма сложную задачу, так как специальные радиометрические средства имеют увеличивающуюся с частотой погрешность. Поэтому с их помощью на высоких частотах можно получить только качественную зависимость, а не количественную. Исходя из этого для измерения зависимости импульсной оптической мощности от тока накачки была собрана установка на базе УФ фотодиода ФД-УФ1. Работа проводилась следующим образом: амплитуда сигнала принятого приемником на базе ФД-УФ1 включенном в фотодиодном режиме со смещением 1 В (штатный режим) с нагрузкой 1 Ком регистрировалась осциллографом С1-65, а затем рассчитывалась излучаемая мощность исходя из чувствительности фотодиода на заданной длине волны и угла расходимости СИД. Исследуемый светодиод включался в схему питания и управления, которая позволяла регулировать импульсный ток накачки от 0 до 10 А. Питание схемы управления –  $U_{п} = 2-10$  В. На схему с генератора прямоугольных импульсов Г5-63 подавался управляющий сигнал:  $T = 10$  мс,  $\tau = 30$  мкс,  $Q = 333,3$ . Напряжение на контрольном сопротивлении  $R = 1$  Ом, включенном последовательно с СИД также регистрировалась осциллографом С1-65. Для проверки средний ток через СИД измерялся с помощью мультиметра MAS-838. Расстояние между СИД и фотоприемником задавалось в зависимости от угла расходимости светодиода и принималось таким образом, чтобы на максимальных токах накачки фотодиод не входил в режим насыщения. Также были проведены измерения постоянной излучаемой мощности с помощью данной установки и УФ радиометра ТКА-ПКМ.

В результате получены условия, позволяющие достичь максимальную пиковую мощность излучения светодиодов. На рис. 2 показан сводный график зависимости оптической мощности от импульсного тока накачки для трех УФ СИД: RLT360-1.5-30-3CC; NSHU-590; ARL52BVC.

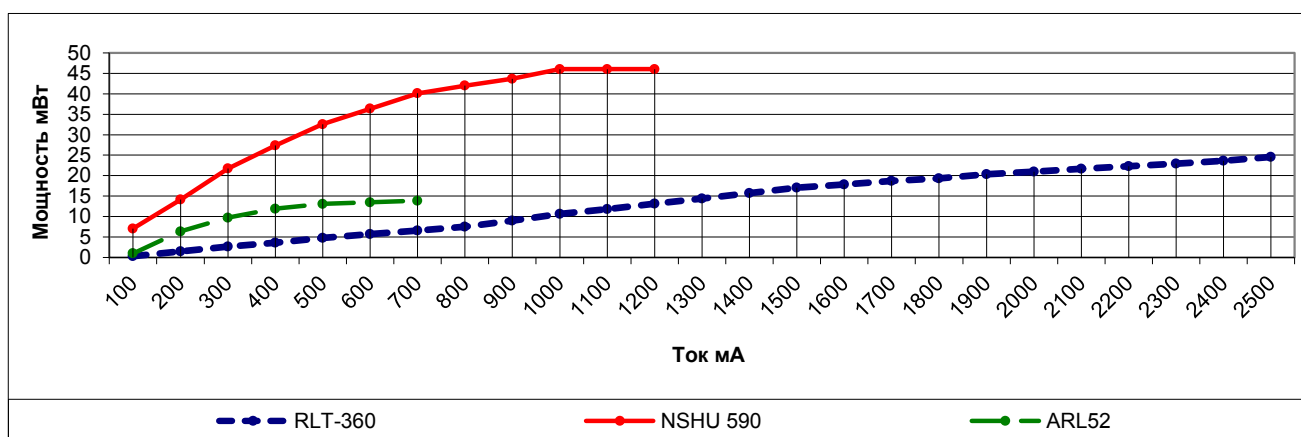


Рис. 2. График зависимости оптической мощности УФ СИД от импульсного тока накачки

Из графика видно, что NSHU-590 излучает большую оптическую мощность на тех же токах, что и другие СИД. Это связано с одной стороны с тем, что данный СИД выполнен более качественно и его эффективность выше, с другой стороны частично это связано с тем, что использовалась монохроматическая чувствительность на длине волны  $\lambda = 400$  нм, фотодиода ФД-УФ1, равная 0,11 А/Вт. На спектральной кривой чувствительности ФД-УФ1 видно, что максимум чувствительности приходится на  $\lambda = 375$  нм, то есть совпадает с максимум излучения NSHU-590, а на  $\lambda = 400$  нм и  $\lambda = 360$  нм чувствительность несколько ниже.

В ходе дополнительных измерений было установлено, что динамическое сопротивление при одинаковых токах у ARL52 самое низкое. Несмотря на это свечение видимое глазом в затемненной комнате у NSHU-590 наблюдалось при токах  $I = 0,01$  мА и напряжении питания  $U = 2,8$  В, у RLT360 при токах  $I = 0,45$  мА и  $U = 2,8$  В, а у ARL52 при токах  $I = 3,3$  А и  $U = 2,71$  В. В связи с этим на рисунке 2 можно видеть, что начальный уровень мощности NSHU-590 заметно выше, чем у других светодиодов, а рост мощности от тока более крутой. Это дает дополнительные преимущества по управлению мощностью излучателя на базе NSHU-590, так как увеличивается диапазон регулировки тока накачки для более широкой подстройки мощности в зависимости от внешних условий.

Оптическая мощность у ARL52 достигла насыщения при амплитуде тока  $I = 600$  мА, дальнейшее повышение тока через СИД привело к деградации кристалла и уменьшению излучаемой мощности. У NSHU-590 оптический максимум наблюдался на  $I = 1\ 000$  мА, дальнейшее повышение импульсного тока до 1 200 мА и более не привели к выходу из строя светодиода. Большие токи через RLT360 объясняются тем, что в нем, в отличие от остальных представленных СИД объединены сразу три излучающих кристалла. У данного образца наблюдался постоянный рост оптической мощности, вплоть до импульсных токов превышающих 2,5 А. В области 3 А произошло разрушение двух кристаллов.

При питании рассмотренных СИД постоянным током 22,5 мА средняя оптическая мощность составила: NSHU-590 –  $P_o \approx 1$  мВт; ARL52 –  $P_o \approx 0,762$  мВт, что соотносится с паспортными данными, а также с измерениями, полученными с помощью УФ радиометра в пределах ошибки измерения 25 %.

Таким образом, нами было показано, что частота модуляции УФ СИД ограничена диапазоном частот ниже 10 МГц. Стоит отметить, что это вполне достаточно для большинства приложений, так как допускает модуляцию на частотах превышающих тепловые шумы. Приведенные мощностные характеристики показали сильное влияние параметров импульса накачки на спонтанные излучательные рекомбинационные процессы в кристалле и выходную оптическую мощность СИД на основе AlGaIn. В ходе измерений было установлено, что в представленных светодиодах при комнатной температуре может быть достигнута непрерывная оптическая мощность до 1 мВт при стандартных токах, что согласуется с паспортными данными и максимальная пиковая оптическая мощность от 15 мВт до 45 мВт. Продемонстрирован характер зависимости оптической мощности СИД от параметров импульса накачки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коняев, С.И. Обзор некоторых характеристик ультрафиолетовых светодиодов для оптических информационных систем / С.И. Коняев, Б.В. Поллер, Е.В. Удальцов // Матер. междунар. конгр. «Гео-Сибирь-2006» – 2006. –Т. 4. – С. 181–183.

© С.И. Коняев, Е. В. Удальцов, Б.В. Поллер, 2007