

Борис Авдоченко, к. т. н. | AvdochenkoBI@rzi.tusur.ru
 Анатолий Вилисов, д. т. н. | VilisovAA@mail.ru
 Владимир Пушкарев, к. т. н. | vpp@radiosibir.ru
 Константин Тепляков | Василий Юрченко

Источник мощных оптических импульсов

на диодах инфракрасного диапазона длин волн

Источники мощных оптических импульсов используются в оптических системах связи, активно-импульсном телевидении, мониторинге экологического состояния атмосферы, охранных системах и др. Построенные на базе твердотельных полупроводниковых лазеров, они имеют высокую стоимость и малый временной ресурс работы. В статье представлены результаты исследования возможности построения импульсных источников на основе светоизлучающих диодов ИК-диапазона.

Развитие указанных систем предъявляет к характеристикам импульсных оптических генераторов всевозрастающие требования, что вызывает необходимость проведения исследований с целью усовершенствования оптических излучателей и источников их накачки. Одним из важнейших элементов в источниках мощных оптических импульсов являются излучающие диоды, например ИК-диапазона.

Тенденцией современного развития излучателей является увеличение генерируемой мощности, которое достигается за счет увеличения прямого тока, улучшения технологии изготовления, повышения эффективности генерации и вывода излучения из кристалла диода и т. п. Повышение мощности ИК-излучения светодиодами обеспечивается за счет увеличения прямого тока.

Общеизвестно, что с ростом прямого тока интенсивность излучения мощных ИК-диодов растет сублинейно. Для режимов постоянного

прямого тока в подавляющем большинстве случаев эта сублинейность является следствием разогрева активной области протекающим током. Однако в случае квазихолодного режима, т. е. при большой скважности импульсного режима работы, разогрев диода практически исключен. Для гетероструктур InGaAsP/InP эта сублинейность интерпретируется как результат конкуренции безызлучательных потерь вследствие Оже-рекомбинации и утечки избыточных носителей из активной области в эмиттерные слои [4, 5]. При рассмотрении стационарного баланса рекомбинационных процессов в активной области кристалла расчетным путем и экспериментально были определены коэффициенты основных рекомбинационных процессов и установлены их зависимости от концентрации инжектированных носителей заряда и состава активной области. Коэффициент Оже-рекомбинации увеличивается более чем на порядок с переходом от структур с $\lambda = 1,06$ мкм к структурам с $\lambda = 1,55$ мкм.

Исследование характеристик светодиодов в режиме одиночных токовых импульсов больших амплитуд имеет большую актуальность.

Излучающие диоды (ИД) АЛ148А ($\lambda \approx 870$ нм) разработаны для систем связи с открытыми атмосферными каналами передачи информации [2]. В «нормальных», паспортных режимах такой ИД (рис. 1) имеет мощность излучения при прямом постоянном токе 1 А не менее 150 мВт (типичные значения 170–200 мВт), импульсную мощность излучения при токе 6 А не менее 700 мВт (типичные значения 800–1000 мВт), полуширину диаграммы направленности 20–30°. Диод собран на медном держателе, обеспечивающем тепловое сопротивление 5–9 К/Вт.

Пиковая мощность излучения диода АЛ148А может быть увеличена в десятки раз при соответствующем увеличении скважности прямого импульсного тока. Увеличение скважности импульсной последовательности тока позволяет существенно улучшить технико-экономические параметры ИК-трансивера в целом: увеличить дальность действия светового потока; уменьшить стоимость за счет упрощения оптической части устройства; снизить требования к фотоприемнику; существенно компенсировать временное ухудшение условий распространения излучения на трассе (увеличение влажности, дождь, туман, дым, снегопад и т. п.).

Кроме того, существует класс задач, в которых предельная пиковая мощность излучения является основным параметром ИК-излучателя и системы в целом. Прежде всего, это устройства, в которых по одиночному прошедшему или отраженному импульсу излучения проводится измерение параметров подвижного или нестационарного объекта (среды, процесса), необходимых для принятия оперативного решения.

Геометрия вывода излучения в диодах АЛ148А такова, что при одинаковой плотности рабочих токов поток мощности излучения через световыводящее окно диода на два-три порядка меньше, чем через зеркала импульсных лазерных диодов. Если в качестве обобщенной оценки ориентироваться на предельные плотности рабочих токов импульсных лазерных диодов, то предельный ток для диода АЛ148 должен составлять 200 А при длительности импульса 100 нс и 600 А при длительности 25 нс.



Рис. 1. Внешний вид излучающего диода АЛ148А

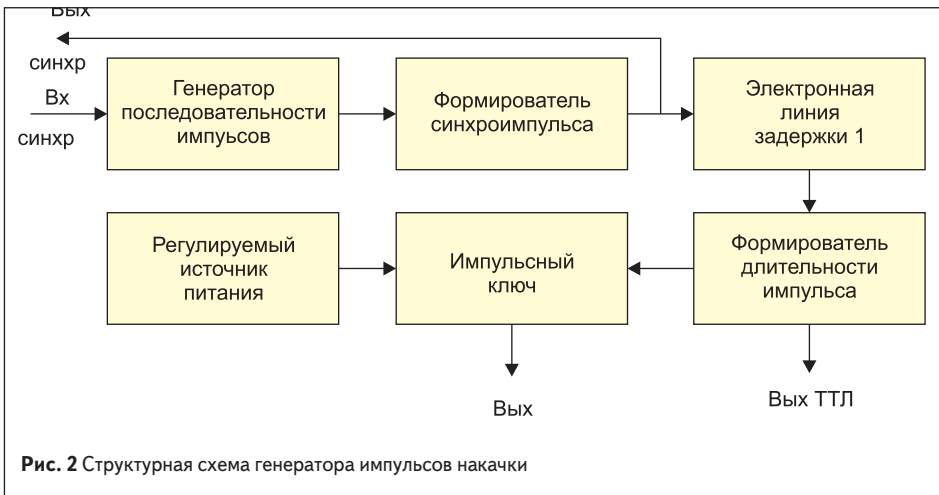


Рис. 2 Структурная схема генератора импульсов накачки

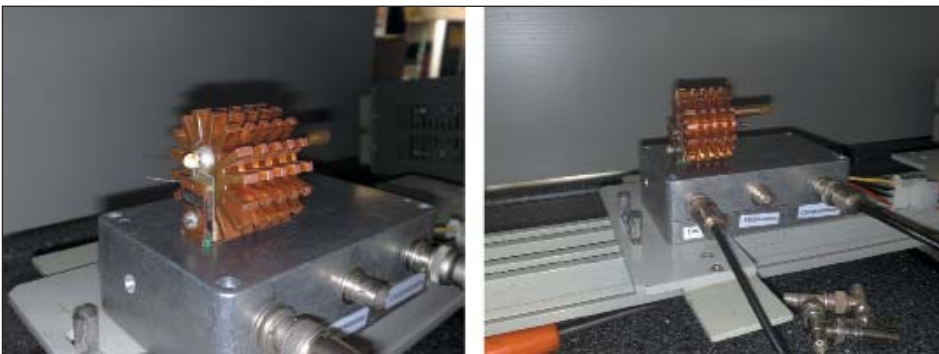


Рис. 3. Внешний вид генератора импульсов накачки

Очевидно, что измерения характеристик диодов в таких режимах имеют особенности. При проведении экспериментов использовался разработанный генератор, несколько модификаций фотоприемников и различные схемы измерения. Разработанный источник может использоваться в качестве базового блока в разработках:

- локационных систем с наносекундным разрешением во времени;
- в различных метрологических установках, приборах экологического контроля атмосферы, водных и лесных массивов;
- всепогодных оптических локаторов, в том числе для средств передвижения (измерение параметров движения, обнаружение препятствий);
- различных охранных устройств и неконтактных датчиков и т. д.

Структурная схема генератора импульсов накачки приведена на рис. 2, его внешний вид — на рис. 3.

В состав генератора импульсов тока накачки входят следующие устройства:

- Генератор импульсной последовательности, вырабатывающий импульсы с регулируемой частотой 0,1–10 кГц. Работа генератора синхронизируется с внешним устройством при частоте синхроимпульсов выше внутренней частоты генератора.
- Формирователь синхроимпульса ТТЛ-уровня для синхронизации с внешними устройствами.
- Электронная линия задержки, обеспечивающая задержку выходного импульса относи-

тельно синхроимпульса, предназначенная для синхронизации генератора с внешними устройствами.

- Формирователь необходимой длительности импульса.
- Импульсный ключ на основе мощных полевых транзисторов, вырабатывающий импульс тока накачки светодиода с заданной длительностью.

Для исследования технических параметров импульсных светодиодов предусмотрены четыре внешних регулировки параметров импульсов: регулировка частоты следования импульсов, управление задержкой импульса синхронизации, регулировка длительности вырабатываемого импульса, регулировка амплитуды импульса накачки. В ходе исследования производился контроль формы импульса тока через нагрузку — оптический излучатель.

Технические характеристики генератора импульсов накачки:

- время нарастания и спада выходных импульсов 10–15 нс;
- длительность формируемых импульсов от 50 нс до 50 мкс;
- выходной ток до 300 А на нагрузке 0,2 Ом.

Экспериментально снимались эпюры напряжений на излучающем диоде АЛ148А (или его эквиваленте при настройке) и на токоизмерительном резисторе. Для области токов 10–250 А величина токоизмерительного резистора выбиралась равной 0,05 Ом.

Форма импульсов излучения измерялась фотоприемниками на основе фотодиодов

ФД-256 и трансимпедансными усилителями с верхней частотой пропускания до 330 МГц или ФЭУ-28 с временным делителем ($F_B \approx 120$ МГц). Временные характеристики оптического тракта тестировались импульсами полупроводникового лазера (длительность $\tau_r \leq 300$ пс, мощность излучения $P_{из} \sim 1$ Вт). Амплитудная калибровка оптических трактов проводилась по реперным точкам ВТАХ диода, полученным по измерениям в фотометрическом шаре. Работа фотоприемников на линейном участке обеспечивалась ослаблением излучения посредством наборов светофильтров, калиброванных для области 0,7–1,0 мкм.

Поскольку в РБТ ток I_d через диод ограничивается последовательным сопротивлением диода (сопротивления объема полупроводника, омических контактов $r_{об}$, токоподводящих выводов и пр.), то основная часть токового импульса возбуждения рассеивается на этом последовательном сопротивлении. Обычно его определяют экспериментально как дифференциальное по наклону ВАХ. Это формальный параметр эквивалентной схемы диода, величина которого зависит от прямого тока. С ростом прямого тока дифференциальное сопротивление резко уменьшается за счет увеличения концентрации носителей заряда в базовых областях диода. Однако физическое содержание этого параметра сложнее, чем просто модуляция проводимости различных областей полупроводниковой структуры, так как с ростом плотности прямого тока увеличивается диффузионное падение напряжения на градиенте концентрации основных носителей заряда [7]. Из-за наличия последовательного сопротивления в РБТ внешняя квантовая эффективность электролюминесценции (или КПД) излучающего диода (светодиода) с ростом прямого тока уменьшается пропорционально величине тока с сохранением линейности ВТАХ.

Излучающие ИК-диоды АЛ148А имеют достаточно высокое быстродействие. Длительность фронта нарастания импульса излучения по уровню 0,1–0,9 не превышает 20 нс (рис. 4, кривая 2). Отсюда следует, что для полного использования амплитуды электрического импульса возбуждения необходимо, чтобы его длительность была не менее ~ 65 нс (рис. 4, $t_{2(мин)}$).

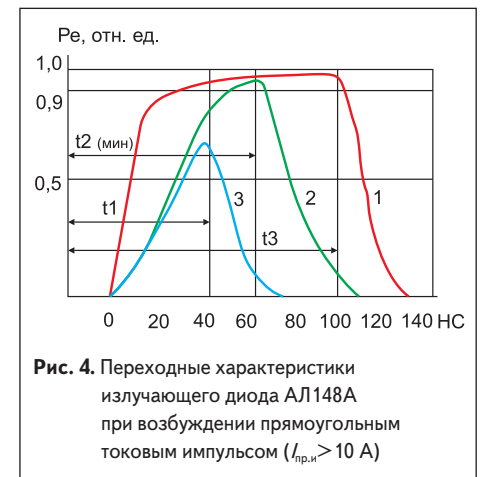
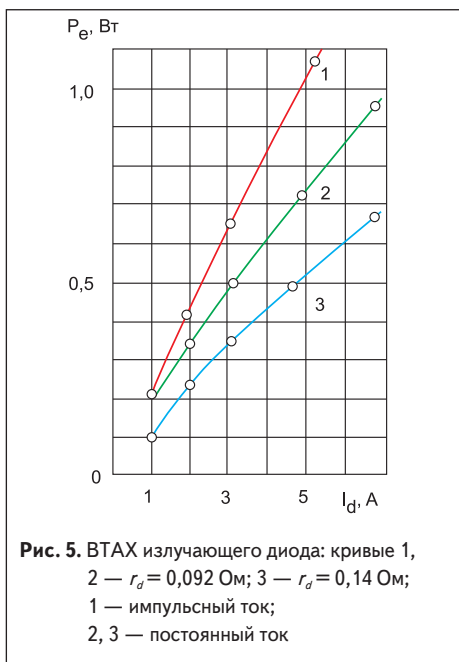
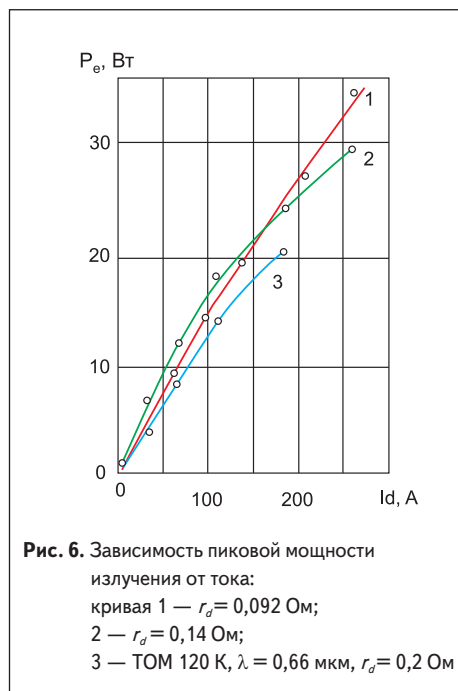


Рис. 4. Переходные характеристики излучающего диода АЛ148А при возбуждении прямоугольным токовым импульсом ($I_{пр.и} > 10$ А)



Ниже приведены характеристики излучающего диода AL148A в режиме больших прямых токов (РБТ) (рис. 5, 6). В частности, представлены результаты измерений вольтамперных (ВАХ) и ваттамперных (ВТАХ) характеристик диодов в диапазоне токов до 200–250 А и пиковой мощности излучения до 30 Вт (рис. 6). На рис. 5 наблюдается разница в излучаемой мощности в импульсном режиме (кривая 1) и на постоянном токе (кривая 2). Видно, что ИД с меньшим сопротивлением r_d при меньшей начальной эффективности электролюминесценции сохраняет линейность ВТАХ (кривая 1) до больших токов. На рис. 6 для примера приведена ВТАХ мощного красного светодиода ТОМ 120 К (кривая 3).

Экспериментальные значения ряда параметров в РБТ типичного излучающего диода AL148A приведены в таблице. Диод имеет полуширину диаграммы направленности 20–30°, последовательное дифференциальное сопротивление 0,1 Ом. Измерения выпол-



нены на частотах следования импульсов 10–5000 кГц при длительности токового импульса 50 нс. Видно, что для получения высокой мощности излучения приходится жертвовать значением КПД. Собственно, такая зависимость КПД от тока наблюдается для всех излучающих (и вообще полупроводниковых) приборов, где последовательно с рабочим переходом имеется «паразитное» последовательное сопротивление.

Таким образом, достигнута пиковая мощность излучения диода AL148A более 30 Вт. По виду ВАХ и ВТАХ типичных диодов режим импульсных токов (200–250 А) не является предельным. С учетом специфики РБТ на основе диода AL148A возможна доработка излучающего ИК-диода для режима большого сигнала с пиковой мощностью излучения в десятисотни ватт.

В заключение отметим, что мощные однокристалльные излучающие диоды, по-видимому,

Т а б л и ц а . Параметры ИД AL148A в режиме больших токов

$I_{p, \text{кГц}}$, А	U_d , В	P_e , Вт	К.П.Д., %	F , кГц
10	2,4	2	8,4	5000
17	3,2	3	5,5	3000
90	10	18	2	6
250	30	30	0,4	10
6 ($t_n = 50 \text{ мкс}$)	1,9	1	11	10

всегда будут проигрывать многокристалльным вариантам прибора [1, 3, 8] по КПД. Однако по скоростным параметрам, надежности, габаритам, технологичности и ценовым характеристикам они имеют преимущества. ●

Литература

1. Волков В. В., Закгейм А. Л., Кузьмичев Ю. С. Мощные высокоэффективные полупроводниковые источники излучения в красной и ближней ИК-областях спектра // Электронная промышленность. 1996. № 4.
2. Вилисов А. А., Захарова Г. Н., Кухта А. М., Нефедцева И. В. Мощный излучающий диод AL148A // Электронная промышленность. 1990. № 10.
3. Коган Л. М. Светодиоды с повышенной мощностью излучения // Светотехника. 2000. № 2.
4. Елисеев П. Г., Цимберова И. С. Безызлучательные потери в гетероструктурах InGaAsP/InP // Квантовая электроника. 1989. № 10.
5. Елисеев П. Г., Цимберова И. С. Нелинейность люминесценции гетероструктур InGaAsP/InP в диапазоне 1,0–1,6 мкм // Радиотехника и электроника. 1989. № 3.
6. Елисеев П. Г. Введение в физику инжекционных лазеров. М.: Наука. 1983.
7. Агаханян Т. М. Основы транзисторной электроники. М.: Энергия. 1974.
8. Патент № 97109754/25 (РФ) Источник света / Н. В. Карпович, Н. П. Криворотов, А. В. Хан // Бюл. 1999. № 16.
9. Дьяконов В. П. Импульсный трансформатор для регистрации токов наносекундного диапазона // ПТЭ. 1987. № 2.