

ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА И ТЕХНИКА

УДК 621.373.826.038.825.3

ЭРБИЕВЫЕ АКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СО ЩЕЛЕВОЙ ДИАФРАГМОЙ

© 2014 г. Л. О. Бышевская-Конопко^{*}; А. Б. Губин^{**}; А. А. Изынеев^{*}, канд. техн. наук;
Ю. Б. Пирожков^{**}; П. И. Садовский^{*}, канд. физ.-мат. наук

^{*}Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова
Российской академии наук, г. Фрязино, Московская обл.

^{**}ООО «НЕЛА», Санкт-Петербург

E-mail: aai219@ire216.msk.su

Предложен способ улучшения качества генерируемого импульса эрбиевого лазера с помощью формируемой в активном элементе щелевой диафрагмы. Представлены результаты, полученные для излучателя с диодной накачкой, работающего в широком диапазоне частот повторения импульсов от одиночных до 10 Гц.

Ключевые слова: эрбиевый лазер, безопасный для зрения импульсный дальномер.

Коды OCIS: 140.3500, 160.3380

Поступила в редакцию: 02.09.2013

Введение

Безопасные для зрения компактные лазерные излучатели на эрбиевом стекле получили за последнее десятилетие широкое распространение в приборах импульсной дальнометрии [1–4]. В зависимости от решаемых задач и набора требуемых характеристик используются как традиционная, более дешевая, ламповая накачка – обычно для устройств с частотой повторения импульсов до 1 Гц, так и накачка лазерными диодами с частотой повторения импульсов до десятков герц. Во всех случаях требования к качеству генерируемого импульса остаются высокими.

Специфика эрбиевой активной среды состоит в том, что из-за трехуровневой схемы генерации и низкого сечения лазерного перехода (7×10^{-21} см²) во избежание высоких значений энергии накачки приходится использовать стекла с низкой концентрацией ионов эрбия (коэффициент усиления активного элемента не превышает 0,1–0,2) и высокодобротный резонатор (коэффициент отражения выходного зеркала R_{out} более 80%). В этих условиях в случае неравномерного поглощения энергии накачки по сечению активного элемента (АЭ)

моменты возникновения генерации различных мод могут различаться, что приводит к появлению дополнительного импульса, отстающего от основного на сотни наносекунд, а его амплитуда составляет 5% от амплитуды основного импульса. Для некоторых приложений это недопустимо. Эта проблема особенно остра при использовании модулятора с медленным изменением добротности (например, призма нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО)). Все известные методы гомогенизации излучения накачки, включая использование диффузных керамических отражателей, ограничены требованиями компактности излучателя и не позволяют полностью решить проблему дополнительного импульса. Один из способов борьбы с дополнительным импульсом – подача на затвор запирающего напряжения сразу же после прохождения основного импульса. Этот способ предъявляет дополнительные требования к управляющей электронике и конструкции призмы НПВО, которые не всегда удается выполнить в силу приборных ограничений.

Второй способ борьбы с дополнительным импульсом – модовая селекция, т.е. использование диафрагмы для ограничения индекса мод. Наиболее простое и распространенное техническое

решение – увеличенные круговые фаски на торцах АЭ. Известны примеры, когда ширина таких фасок доходит до 30% от диаметра АЭ [5]. Недосток этого способа состоит в необходимости значительного увеличения энергии накачки для достижения заданного уровня выходного импульса и в повышении лучевой нагрузки внутри излучателя. Эти же недостатки присущи и приборам, в которых используется АЭ уменьшенного диаметра [6]. В случае использования излучателей с низкой частотой следования импульсов (до 0,5 Гц) дополнительный импульс без существенного уменьшения выходной энергии можно устранить, разъюстируя зеркала и таким образом снижая добротность резонатора. Однако при работе лазера в широком диапазоне частот повторения (от 0,1 до 20 Гц) данный способ не применим из-за наведения в АЭ переменной термолинзы и термоклина, влияющих на добротность резонатора.

Эксперимент

Анализ распределения энергии накачки внутри АЭ показал, что как в случае ламповой накачки, так и в случае накачки лазерными диодами, прокачиваемая зона имеет форму эллипса, вытянутого в направлении источника. Конкретные параметры этого эллипса зависят от многих факторов. В данной работе будет

рассмотрена схема диодной накачки компактного лазера с керамическим диффузным отражателем [7], приведенная на рис. 1а. Линейки располагаются с одной стороны, что благодаря лучшей компоновке, обеспечивающей эффективный отвод тепла, решает задачу минимизации размеров излучателей. Типичное распределение поглощенной энергии в АЭ такого лазера приведено на рис. 1б. Распределение инверсной населенности ионов эрбия в значительной степени повторяет распределение энергии накачки.

Исследования проводились в плоском резонаторе. Схема расположения элементов резонатора приведена на рис. 2. Коэффициент отражения выходного зеркала – 83%, АЭ размером $\varnothing 2,2 \times 22$ мм выполнен из фосфатного иттербий-эрбиевого стекла ЛГС-ДЕ (ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН) с концентрацией ионов эрбия $N_{Er} = 1,6 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, затвор – призма НПВО, длина резонатора – 90 мм. Частота следования импульсов варьируется в пределах 0,1–10 Гц.

На рис. 3 представлена энергетическая характеристика такого лазера. Временная структура генерируемого импульса представлена на осциллограмме (рис. 4). При 50-кратном усилении (кривая 2) видно, что после основного импульса имеется дополнительный импульс с амплитудой, равной 1% амплитуды основного.

С целью улучшения временной структуры генерируемого импульса была использована

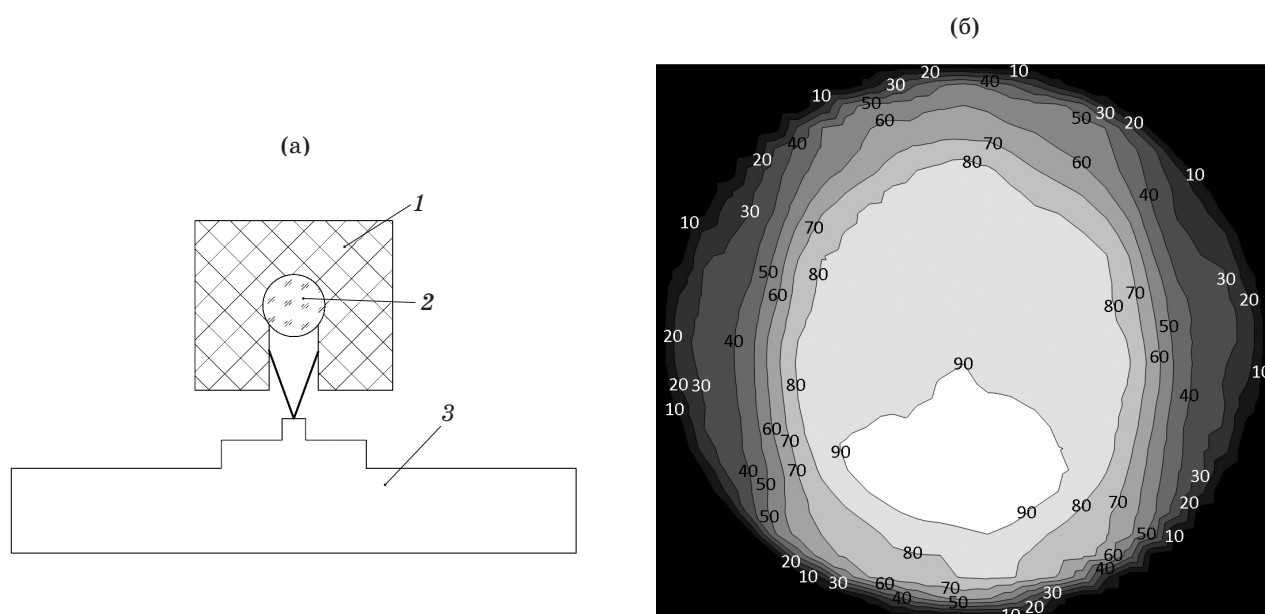


Рис. 1. Схема оптической накачки эрбиевого элемента диодными линейками (а) и распределение поглощенной энергии по сечению АЭ (б). 1 – керамический диффузный отражатель, 2 – активный элемент, 3 – диодные линейки с теплоотводом.

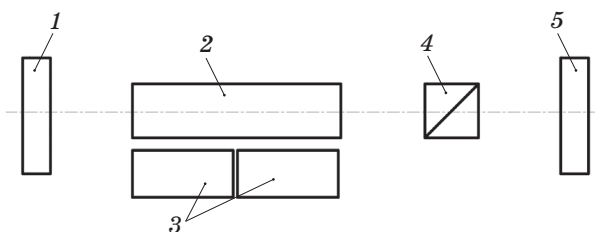


Рис. 2. Схема расположения элементов излучателя. Глухое зеркало (1), активный элемент (2), диодные линейки (3), призма НПВО (4), выходное зеркало (5).

щелевая диафрагма. Диафрагма помещалась вблизи выходного торца АЭ. Растр диафрагмы изменялся от 2,2 до 1,0 мм. Было установлено, что по мере уменьшения раstra диафрагмы амплитуда дополнительного импульса уменьшается. Экспериментальным путем был определен максимально допустимый растр диафрагмы, равный 1,7 мм, при котором дополнительный импульс полностью исчезает во всем заявленном диапазоне частот следования импульсов. Введение диафрагмы в резонатор сопряжено с рядом проблем: точная центровка по отношению к АЭ, дополнительный элемент крепления в лазере, подбор материала диафрагмы (металл может обгорать). Эти проблемы было предложено решить путем формирования диафрагмы в объеме или на торцах АЭ.

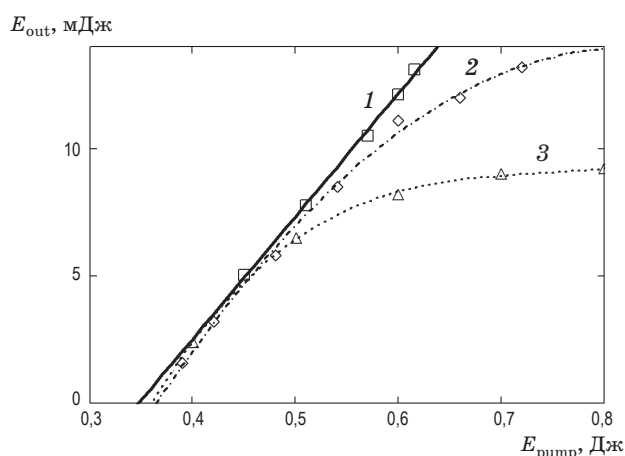


Рис. 3. Энергетические характеристики лазера. 1 – АЭ без диафрагмы, 2 – со щелевой диафрагмой 1,7 мм, 3 – АЭ с круглой диафрагмой диаметром 1,7 мм.

Все приведенные ниже экспериментальные результаты были получены с АЭ, внешний вид которого приведен на рис. 5. Роль щелевой диафрагмы здесь играют симметричные прорезы определенной глубины на боковой поверхности АЭ. Из энергетической характеристики такого элемента (рис. 3, кривая 2) видно, что для получения выходной энергии 10 мДж требуется лишь незначительное (менее 5%) увеличение энергии накачки, в то время как для АЭ с круговыми фасками (рис. 3, кривая 3),

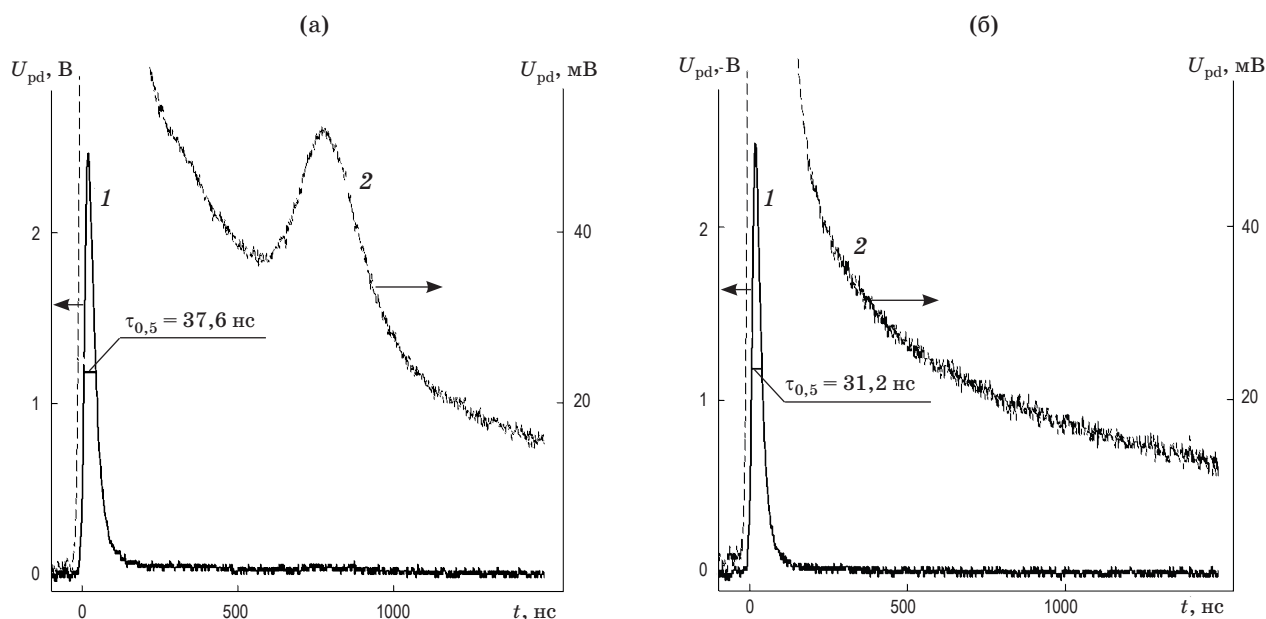


Рис. 4. Временная структура генерируемого импульса при частоте следования 1 Гц (кривые 1), где АЭ без диафрагмы (а) и со щелевой диафрагмой 1,7 мм (б). U_{pd} – сигнал, регистрируемый фотоприемником. Кривые 2 – сигнал с фотоприемника, усиленный в 50 раз.

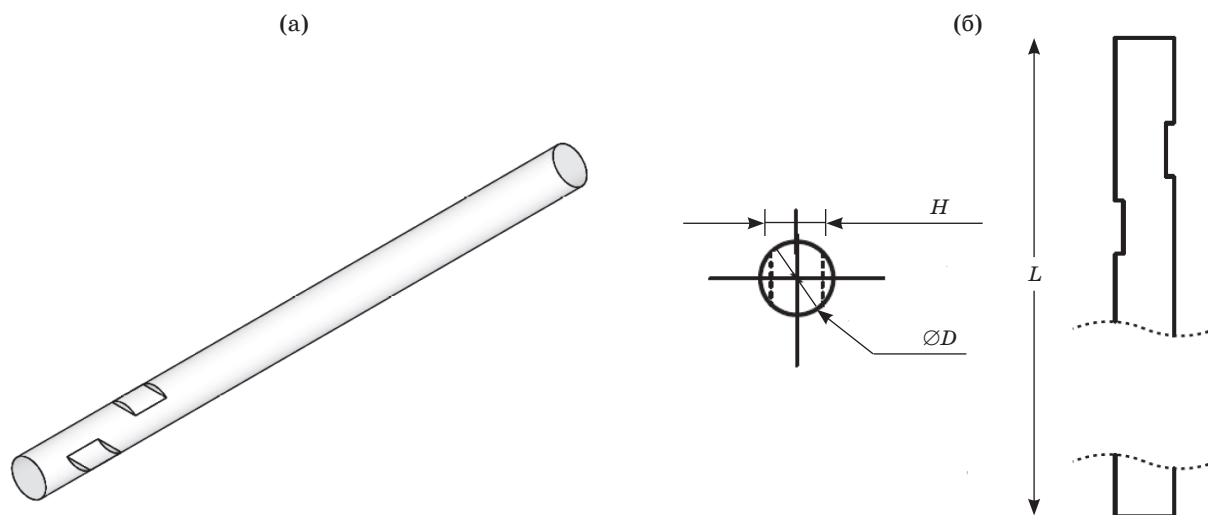


Рис. 5. Внешний вид (а) и схема (б) активного элемента со щелевой диафрагмой.

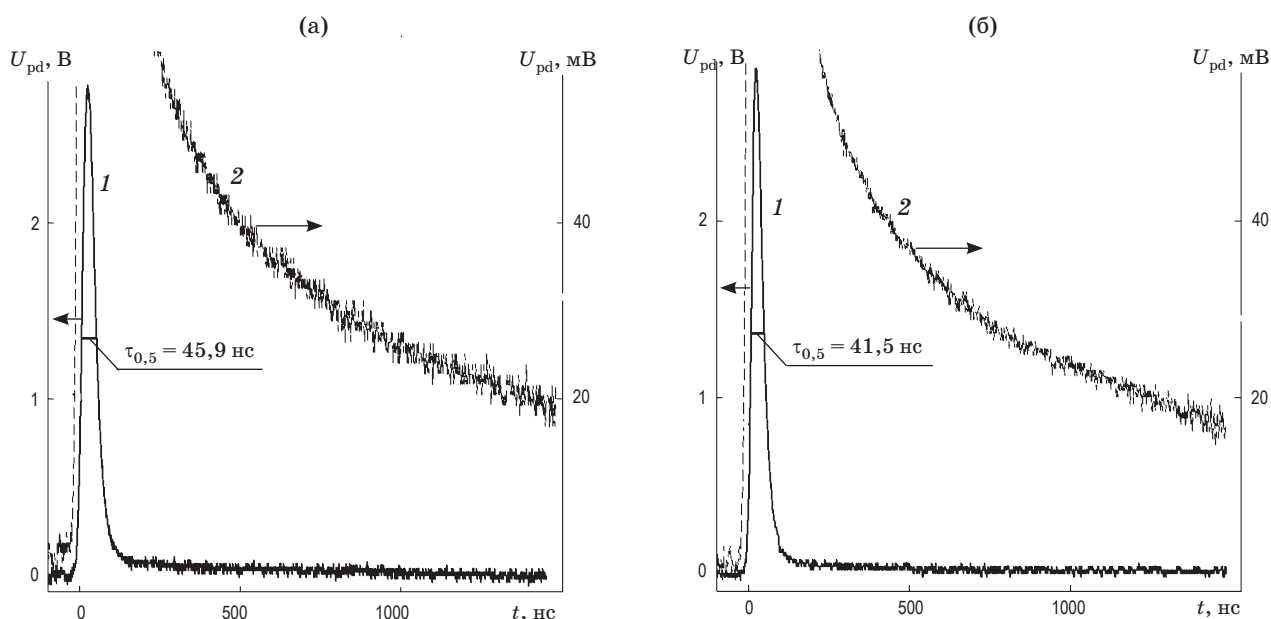


Рис. 6. Временная структура генерируемого импульса при частоте следования 10 Гц (кривые 1), где АЭ – без диафрагмы (а) и со щелевой диафрагмой 1,7 мм (б). Кривые 2 – сигнал с фотоприемника, усиленный в 50 раз.

обеспечивающими подавление дополнительного импульса, необходимо существенно увеличить накачку.

На рис. 4б приведена временная структура импульса при частоте следования 1 Гц. Помимо того, что исчезает дополнительный импульс, также видно, что укорачивается и основной с 37,6 до 31,2 нс. Характерная картина с дополнительным импульсом в первые несколько секунд работы проявля-

ется и на частоте 10 Гц пока не установится термолинза в АЭ. По мере роста устойчивости резонатора дополнительный импульс перемещается к основному и поглощается в нем, увеличивая при этом его длительность (рис. 6а). Использование АЭ с диафрагмой исключает возникновение дополнительного импульса на переходном этапе, а также уменьшает длительность основного на 10% (рис. 6б).

Заключение

На АЭ из иттербий-эрбиевого стекла размером $\varnothing 2,2 \times 22$ мм со сформированной на боковой поверхности целевой диафрагмой в ла-

ре с накачкой диодными линейками получена устойчивая генерация основного импульса и сокращение его длительности в широком диапазоне частот повторения от одиночных импульсов до 10 Гц.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Wu R., Myers J.D., Myers M. Diode pumped erbium glass eye-safe laser transmitter at 50 Hz // Submit to Photonics West'99. P. 67–72.
2. Быков В.Н., Изынеев А.А., Садовой А.Г., Садовский П.И., Сорокина О.А. Излучатель на эрбиевом стекле с поперечной полупроводниковой накачкой и пассивной модуляцией добротности // Квант. электрон. 2008. Т. 38. С. 209–212.
3. Гагарский С.В., Галаган Б.И., Денкер Б.И., Корчагин А.А., Осико В.В., Приходько К.В., Сверчков С.Е. Миниатюрные диодно-накачиваемые лазеры на иттербий-эрбиевых стеклах с модуляцией добротности оптическими затворами на нарушенном полном внутреннем отражении // Квант. электрон. 2000. Т. 30. № 1. С. 9–11.
4. Vetrovec J., Copeland D., Litt A.S. Erbium-based edge-pumped disk laser // SPIE LASE 2012 Conference. San Jose, CA, February 2–7, 2013. Paper 8599-61.
5. <http://www.thalescomminc.com/datasheets/optronics/CELT2-US.pdf>
6. Boutchenkov V., Kuchma I., Levoshkin A., Mak A., Petrov A., Hollemann G. High efficiency diode-pumped Q-switched Yb:Er:Glass lasers // Opt. Commun. 2000. V. 177. № 1. P. 383–388.
7. <http://sites.google.com/site/ceramicslaser/>