

Импульсно-периодический с высокой частотой повторения импульсов режим работы лазера – режим максимальной эффективности

В. В. Аполлонов

В настоящее время в технологических процессах использующих лазеры с большой средней мощностью (более 1кВт), нашли применение только источники, работающие в двух режимах – непрерывном и импульсно-периодическом (И-П) с частотой повторения импульсов от единиц до сотен Гц при длительности импульсов в пределах десятков – сотен микросекунд и даже миллисекунд. При этом в обсуждаемых технологических процессах в основном реализуется чисто тепловой механизм воздействия, т. к. используется возможность лазерного источника подвести достаточно большое количество энергии к малой площади поверхности обрабатываемой детали. Высокочастотные И-П лазерные системы с большой средней мощностью, работающие в режиме модуляции добротности, который обеспечивает требуемые длительности импульсов в периодической последовательности от единиц до сотен наносекунд, позволяют реализовать принципиально другой механизм взаимодействия излучения с веществом – возгонку (абляцию), обеспечивающую локальность выделения энергии не только в пространстве, но и во времени. При этом происходит взрывное локальное испарение вещества без промежуточной жидкой фазы. Такой механизм может существенно расширить область технологических применений лазерных источников. Однако, он не нашел реального применения на практике в силу большой сложности его реализации при требуемых в значительном ряде технологий уровне средней мощности. В основном, такие лазеры при незначительном уровне мощности используются при микрообработке поверхностей, маркировке изделий, скрайбировании, термораскалывании, сверлении микроотверстий, лазеро-индуцированном химическом травлении.

Известно, что для непрерывного излучения пороговая плотность мощности испарения определяется как:

$$q_{и} = \frac{kT_{и}}{Ar_0}$$

для стали (A – коэффициент поглощения ($A = 1-R$), при $T_{и} = 3000K$, $A = 0,5$ К. $A = 0,5$ ($\lambda = 1,60$ мкм), k – коэффициент теплопроводности, $k = 0,32$ Вт/см · К, r_0 – радиус поперечного сечения луча в фокальной плоскости, ($r_0 = 10$ мкм) получаем: $q_{и} = 1,9 \times 10^6$ Вт/см². Соответствующая мощность лазера равна: $P_{и} = qS$, где S – площадь лазерного пятна, и таким образом $P_{и} = 6,0$ Вт.

Для И-П лазерного источника с теми же параметрами и соответствующим тепловым режимом пороговая плотность мощности может быть выражена как:

$$q_{и} = \frac{kT_{и}}{2A} \sqrt{\frac{\pi}{a\tau}}$$

(a – коэффициент теплопроводности, $a = 3,45 \cdot 10^{-2}$ см²/с для стали), что дает величину $q_{и} \approx 0,9 \cdot 10^6$ Вт/см².

Кроме того, можно вычислить импульсную мощность, $P_{и}$ и среднюю мощность $\bar{P}_{и}$: $\bar{P}_{и} = P_{и} f \tau = W_{и} f$ (f – частота повторения импульсов), $P_{и} \approx 2,8$ Вт и

$\bar{P}_{и} = 7 \times 10^{-2}$ Вт при $\tau = 10^{-4}$ с, $f = 50$ Гц.

Итак, исходя из выше сказанного, мы можем заключить в общем случае следующее:

$$\frac{\bar{P}_{и}}{P_{и}} = f \tau \frac{r_0}{\sqrt{a\tau}}$$

при выше приведенных параметрах

$$\frac{r_0}{\sqrt{a\tau}} \approx 1 \quad \text{и} \quad \frac{\bar{P}_{и}}{P_{и}} \sim f \tau \quad \text{для } f = 250 \text{ Гц}$$

$$\tau = 10^{-4} \text{ с} \quad \frac{\bar{P}_{и}}{P_{и}} = 10^{-2}$$

для $f = 1$ кГц и импульсов наносекундного диапазона

$$\frac{\bar{P}_{и}}{P_{и}} = 10^{-6}$$

Таким образом, для частоты повторения 30 кГц и импульсов длительностью 100 наносекунд, т.е. режима характерного для решения большинства машиностроительных задач, это отношение равно 10^{-3} . Заметим, что физические процессы при И-П резке во многом совпадают с таковыми при сверлении отверстий, так как рез образуется как совокупность отдельных отверстий. Исходя из представленного выше можно заключить, что И-П режим работы лазера для большинства процессов обработки намного лучше, чем непрерывный.

Далее ответим на вопрос: какой режим работы лазера лучше с точки зрения качества обработки материалов, непрерывный или высокочастотный И-П. Для качественной обработки материала необходимо обеспечить следующие условия:

1. Минимальное количество образующейся жидкой фазы. Количество жидкой фазы пропорционально $\sqrt{a\tau}$.
2. Максимальное количество жидкой фазы удаляемой из зоны обработки (отверстия, разреза) в ходе процесса резки материала за счет давления паров.

Давление пара отдачи пропорционально $1/\tau$

Оба фактора указывают на то, что длительность импульса для И-П режима должна быть настолько короткой, насколько это возможно исходя из требования на среднюю мощность.

Теперь это же сравнение проведем с точки зрения требования на точность сканирующих систем, применяемых для обработки материалов. Очевидно, что для стабильных условий обработки (стабильного качества изделий) необходимо обеспечить постоянство плотности потока мощности q . Требуемая величина q для сканирующих систем равна:

$$q = \frac{hV_{ск}}{d_0} L_{и}$$

или относительно мощности лазера P это же условие выражается как:

$$\frac{P}{V_{ск}} = hd_0 L_{и} = \text{const} = B$$

Исходя из этого мы можем еще раз подтвердить сделанный ранее вывод: с энергетической точки зрения И–П режим работы лазера для обработки намного лучше, чем непрерывный. Это означает, что стабильные условия подразумевают постоянство мощности лазера P и скорости сканирования пучка $V_{\text{ск}}$. Это особенно важно для обработки образцов сложной формы с высокой скоростью. В этом случае невозможно поддерживать одинаковую скорость на прямых линиях и на крутых поворотах. Если $V_{\text{ск}}$ не константа, а изменяется в соответствии с некоторым законом $V_{\text{ск}}(t)$, то невозможно удовлетворить условию $P = BV_{\text{ск}}(t)$ при любом контроле мощности непрерывного лазера.

В настоящее время лазерные технологии нашли широкое применение при производстве изделий из углеродистых сталей и неметаллических материалов, таких как композиты, пластики, стеклосодержащие пакеты, горные породы, дерево и т. п. Среди множества различных лазеров наибольшее применение в технологических процессах нашли твердотельные лазеры и газовые лазерные системы на основе молекулы CO₂.

Твердотельные лазеры. Наибольшее применение эти лазеры нашли при обработке деталей из углеродистых сталей и неметаллических материалов. Использование твердотельных лазеров для обработки цветных металлов и их сплавов распространено существенно меньше. Это связано со значительным коэффициентом отражения цветных металлов, снижающим эффективность преобразования излучения лазера в тепло и, соответственно производительность вплоть до полной невозможности обработки. Известно, что для обработки цветных металлов и сплавов более целесообразно применение лазеров работающих в режиме модулированной добротности, обеспечивающей высокую пиковую мощность излучения и абляционный механизм удаления материала. Проведенные эксперименты по резке изделий из цветных металлов в высокочастотном И–П режиме показывают их высокую эффективность и существенно более высокое качество обработки. Однако, мощность твердотельных лазеров, имеющихся в наличии у обработчиков и работающих в данном режиме невысока – типичные значения выходной мощности составляют не более 100 Вт. Невысокая средняя мощность не обеспечивает приемлемую производительность. Повышение средней мощности откроет дорогу промышленному применению таких лазеров. Сравнение, проведенное при одинаковой средней мощности показало, что скорость реза цветных металлов в высокочастотном И–П режиме превосходит скорость реза непрерывным излучением в некоторых случаях более чем на порядок. При этом отсутствие плавления материала обеспечивает качество края сравнимое с качеством получаемым при механической обработке без нагарованного слоя и делает ненужной дополнительную обработку. Создание промышленных твердотельных лазеров, работающих в высокочастотном И–П режиме со средней выходной мощностью 1000 Вт и более, позволит существенно расширить область применения лазеров.

CO₂-лазеры. Если твердотельные лазеры работающие в режиме модуляции добротности хотя бы с малой средней мощностью принципиально существуют, то высокочастотных И–П CO₂-лазеров с минимально пригодной для технологических целей мощностью нет в принципе. Однако, использование CO₂ лазеров, работающих в высокочастотном И–П режиме принципиально также же существенно расширит сферу их применения. Одним из наиболее перспективных приме-

нений является использование CO₂ лазеров для размерной обработки стекла. Непрерывные CO₂ лазеры обеспечивают высококачественный и высокоскоростной рез листового стекла (метод Кондратенко), практически любой толщины. В последние годы методика поддерживаемой лазером трещины начинает активно использоваться при массовом производстве. Однако, данный механизм обеспечивает только прямолинейный рез и полностью неприменим для сложных ламинированных композиций стекол. Использование высокочастотного И–П режима с малой длительностью импульсов обеспечивает рез по произвольной траектории без предварительного размягчения материала. Возможность реализации высокочастотного И–П режима работы в лазерах практически любой мощности продемонстрирована как теоретически, так и экспериментально. Экспериментальная апробация в лабораторных условиях позволяет говорить о принципиальной возможности переноса имеющейся технологии в реальное промышленное производство. Основным требованием, предъявляемым к промышленным лазерам является высокая надежность и безотказность работы на протяжении длительного времени. При этом желательно обеспечить малое обслуживание оборудования. В связи с этим разработка промышленных лазерных источников требует проведения дополнительного этапа прикладных работ, направленных на обеспечение максимальной стабильности выходных характеристик, надежности и ресурса работы лазерного источника. Основным направлением работ исследователей должна стать оптимизация оптических схем резонаторов лазеров, работающих в высокочастотном И–П режиме и поиск решений, обеспечивающих высокую лучевую стойкость оптических элементов лазеров.

Кроме того, целесообразно провести дополнительные исследования, направленные на промышленную отработку конструктивной и технологической схемы реализации в металле и стекле процесса фазировки совокупности отдельных лазерных источников, для эффективного объединения отдельных лазерных источников с целью повышения выходной мощности без ухудшения пространственных и временных характеристик излучения. Высокочастотный И–П режим принципиально отличается механизмами взаимодействия лазерного излучения с веществом от непрерывного и низкочастотного режимов работы. Это потребует в дальнейшем проведения прикладных работ, направленных на отработку технологий резки, скрайбирования, маркировки, индуцированного лазером химического травления, получения мощных потоков вторичного излучения из плазмы и т.п. для различных граничных условий воздействия и широкого спектра материалов. Эксперименты показывают, что в случае высокочастотного И–П режима необходимо существенно увеличивать диапазоны изменения многих параметров взаимодействия.

Физической основой для достижения поставленных выше целей являются работы проводимые нашим коллективом в данном направлении с 1993 года. При этом акцент делается на двух основных подходах к реализации высокочастотного И–П режима:

1. Высокочастотная внутрирезонаторная модуляция потерь. Данный подход реализован в твердотельных лазерах с ламповой накачкой с выходной средней мощностью до 1 кВт. и в лазерах с полупроводниковой накачкой, имеющих значительно больший КПД. Реализация возможна при использовании имеющихся наработок в области расчета и конструирования лазерных резонаторов, обеспечивающих работу на

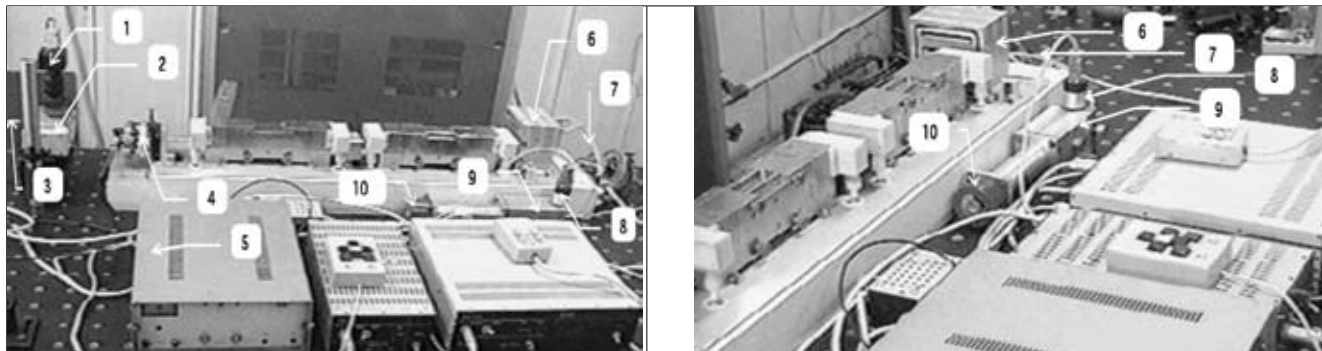


Рис. 1. Экспериментальная установка. 1 – ПЗС камера, 2 – оптический блок, 3 – датчик яркости, 4 – управляемое выходное зеркало резонатора, 5 – устройство управления выходным зеркалом, 6 – узел автоматической юстировки заднего зеркала резонатора, 7 – магистраль давления, 8 – датчик давления, 9 – помпа, 10 – привод помпы, 11 – устройство управления давлением, 12 – устройство управления узлом автоматической юстировки заднего зеркала, 13 – пульт управления.

границе устойчивости с одновременной оптической разгрузкой внутрирезонаторных элементов. Для промышленных применений для обеспечения стабильности целесообразно использование в составе резонатора активного заднего зеркала, обеспечивающего стабилизацию объема основной моды резонатора. В установке использован стандартный лазер с ламповой накачкой на основе Nd:YAG (Рис. 1), имеющий два активных элемента размером 6,3×130 мм. Активные элементы установлены в одном резонаторе. В стандартной конфигурации лазер обеспечивает уровень выходной мощности 500 Вт, при качестве пучка излучения $M^2 = 40$.

В экспериментальной установке использован активный резонатор, включающий в себя два активных зеркала – заднее зеркало с изменяемым радиусом кривизны (Рис. 2, 3) и выходное зеркало – с изменяемым коэффициентом отражения переменным по радиальной координате (Рис. 3). Использование системы активных зеркал позволило существенно улучшить качество излучения лазера. Был получен параметр $M^2 = 15$ при снижении мощности излучения до 350 Вт (Рис. 4). Соответственно, было получено повышение плотности мощности излучения в фокальной плоскости линзы более чем на порядок.

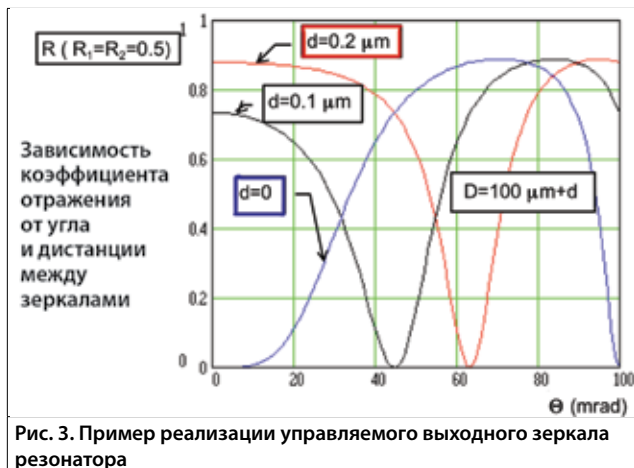


Рис. 3. Пример реализации управляемого выходного зеркала резонатора

Кроме того, улучшение расходимости выходного излучения позволило создать условия для штатной работы стандартных акусто-оптических модуляторов, используемых в одномодовых лазерах. Это позволило реализовать режим модулированной добротности в диапазоне частот до 30 кГц при уровне выходной мощности 250 Вт. При использовании аналогичного подхода позднее был реализован режим моду-

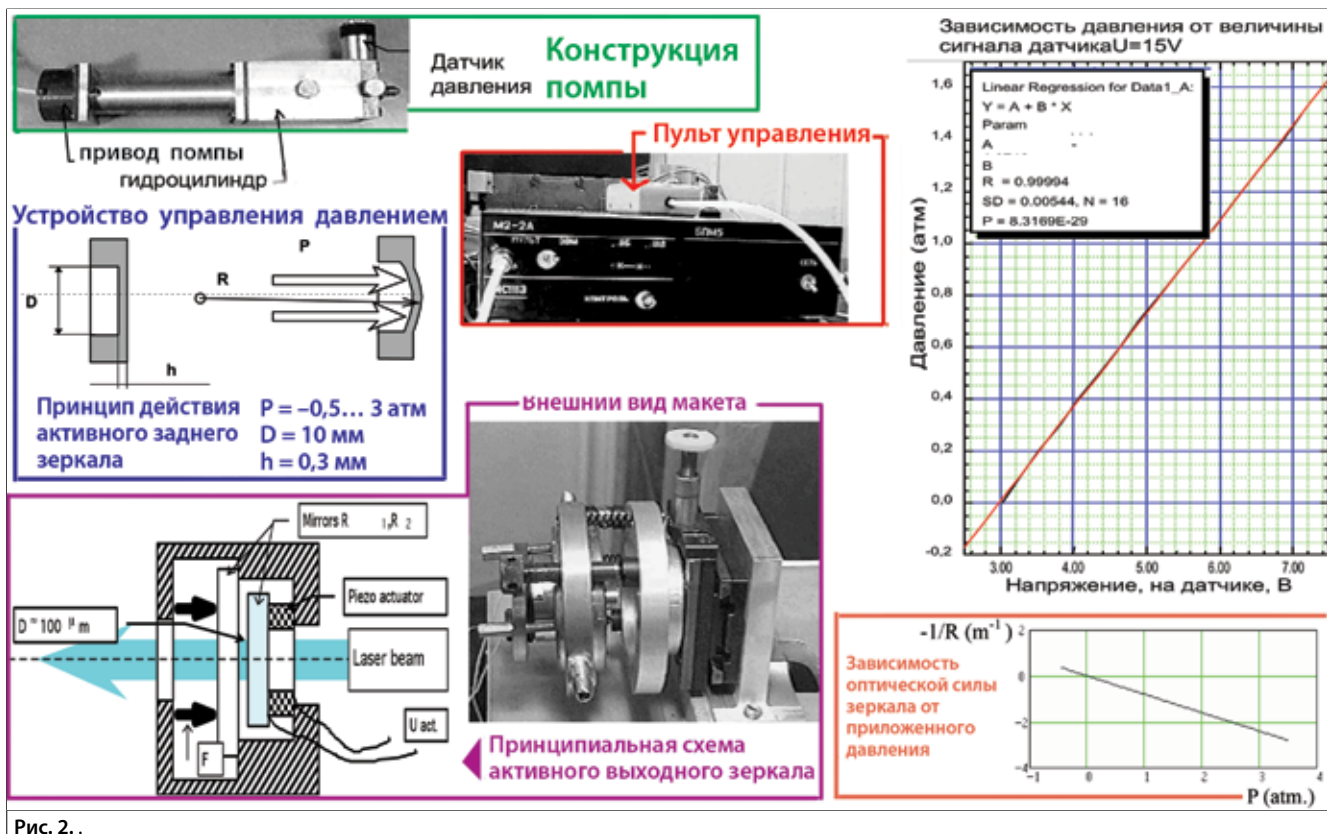


Рис. 2.

07 / 2011 • Издательство: «ИТО» • e-mail: ito@ito-news.ru

лированной добротности при уровне выходной мощности до 1 кВт, при качества выходного излучения $M^2 = 3$.



Также нами был проведен цикл исследований и отработки технологии изготовления малослойных зеркал с высокими коэффициентами отражения. При проведении экспериментов было выявлено, что при уровне деформаций заднего зеркала соответствующих оптической силе в $1 D_{пр}$ совместное воздействие механических напряжений и воздействие лазерного излучения приводят к разрушению покрытия. Для уменьшения механических напряжений было разработано малослойное комбинированное металлодиэлектрическое покрытие состоящее из 3–5 слоев (в традиционном покрытии 20–25 слоев). Для обеспечения лучевой стойкости покрытий были применены технологии ионной бомбардировки и имплантации, разработанные в Петербурге и в Подольске МО. Покрытия экспериментально испытаны в лазерах с выходной мощностью до 1 кВт. и показали высокую лучевую стойкость в условиях высокочастотного И–П режима. Ионная обработка существенным образом улучшает технологию изготовления покрытий и повышает их оптические и эксплуатационные характеристики, такие как лучевая стойкость, коэффициент рассеяния и поглощения. Наиболее важные направления ионной обработки при нанесении оптических покрытий:

- ионная полировка подложек в вакуумных камерах для нанесения покрытий;
- ионная полировка покрытий (ионная обработка поверхности полученной пленки);
- ионная подполировка покрытий (послойная ионная полировка пленки в процессе нанесения);
- ионная бомбардировка растущей пленки в процессе ее нанесения;
- получение покрытий распылением мишени ионным пучком;
- получение покрытий распылением мишени ионным пучком с ионной бомбардировкой растущей пленки;
- нанесение покрытий из ионного пучка, падающего на подложку.

Ионная обработка оптических материалов для создания зеркал мощных лазеров является эффективным инструментом современной оптической технологии. На базе ионной обработки уже создан целый ряд принципиально новых технологических процессов, позволяющих существенно расширить предельные точностные и эксплуатационные возможности оптического силового лазеростроения, что особенно важно для зеркал лазеров, работающих в высокочастотном И–П режиме. Значение коэффициента рассеяния пленок Si - толщиной 0,1–0,2 мкм составляет 0,015–0,02 %. Микрофотографии показывают, что поверхность обычных пленок существенно неоднородная: на общем фоне частиц размером 7–10 нм имеется значительное количество образований размером 25–60 нм. После ионной полировки поверхность пленок становится однородной, размер кристаллитов составляет 5–7 нм. Значение коэффициента светорассеяния после ионной полировки ионами кислорода с энергией 3 кэВ в течение 5 мин уменьшается до 0,005–0,008 %. Значительно увеличивается лучевая стойкость оптических покрытий зеркал, так при соответствующем выборе режимов ионной бомбардировки порог разрушения оптических покрытий увеличился на 65 %, а ресурс работы зеркала увеличился практически на порядок величины и достиг требуемого значения – 3000 часов, соответствующего сегодняшнему ресурсу лазерных диодов, применяемых для накачки активной среды. Полученные результаты представляют практический интерес при создании оптических интерференционных систем с малыми светопотерями, элементов интегральной оптики и зеркал мощных высокочастотных И–П лазерных систем.

Разработанные покрытия позволили применить в резонаторах твердотельных лазеров мембранные зеркала. С применением данных зеркал была экспериментально показана возможность реализации режима модуляции добротности при помощи деформируемого заднего зеркала.

2. Самоинжекция лазерного излучения (модифицированный регенеративный режим) с трансформацией временной и пространственной структуры – апробирована на широкоапертурных CO₂ лазерах с выходной мощностью до 10 кВт. На настоящий момент реализована модуляция временной структуры излучения как механическим способом, а именно при помощи дискового модулятора, так и с помощью модулятора на основе адаптивного зеркала. Для промышленных применений нами в рамках предлагаемого проекта планируется использовать в качестве модулятора разработанное в нашем коллективе биморфное адаптивное зеркало на основе SiC. Принципиальная возможность его использования для целей модуляции нами уже была продемонстрирована и экспериментально. Одна из схем реализации высокочастотного И–П режима работы мощного CO₂ лазера приведена на рис. 5. На рисунке M_1 , M_2 – зеркала неустойчивого резонатора, вывод излучения из резонатора осуществляется за краями зеркала M_2 , зеркало-ответвитель M_3 направляет часть выходного пучка в систему формирования инжектируемого пучка (СФИП); с помощью этого же зеркала пучок, обработанный СФИП, возвращается в резонатор; в СФИП лазерный пучок модулируется по мощности и приобретает требуемое фазовое распределение. Описанная схема была реализована в газодинамическом CO₂-лазере. Резонатор лазера составлен из двух сферических зеркал прямоугольной формы, обеспечивающих геометрический коэффициент увеличения 1,45. Активная среда перемещается перпендикулярно оптической оси резонатора.

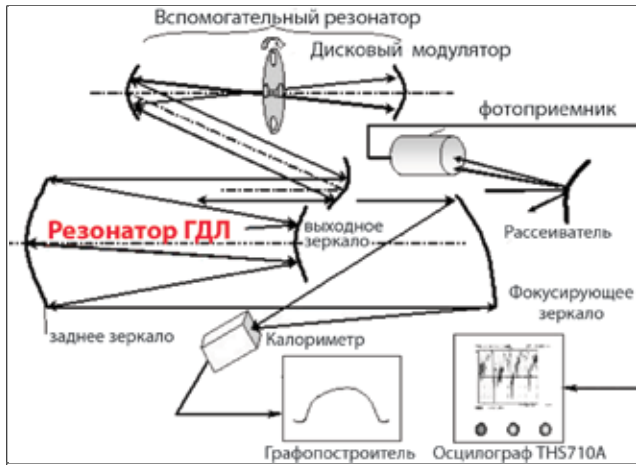


Рис. 5. Схема внерезонаторного получения режима модулированной добротности в газодинамическом СО₂ лазере

Экспериментально полученные временные зависимости для выходного излучения описанного лазера с самоинжекцией излучения приведены на рис. 6. Средняя мощность выходного излучения измерялась с помощью калориметра, охлаждаемого проточной водой. На калориметр излучение фокусировалось зеркалом M_4 . В непрерывном режиме регистрировался сигнал постоянного уровня с шумовой компонентой, не превышающей 5 % от постоянного уровня сигнала. При частоте модуляции около 27 кГц и глубине модуляции на уровне 2–3 % реализуется квазистационарный режим модуляции (рис. 6), при котором в излучении лазера наблюдаются флуктуации интенсивности, согласующиеся с модулирующим сигналом, с приблизительно трехкратным отклонением мощности генерации от средней величины. При увеличении глубины модуляции до уровня 7–8 % наблюдался переход лазера в И–П режим работы (рис. 6).

При этом генерация происходила в виде пакета из 5–10 импульсов в пределах одного цикла открытия модулятора. Длительность отдельного такого импульса составляла около 200 нс. При этом следует отметить, что длительность зарегистрированного импульса ограничивалась полосой пропускания измерительного тракта, составившей 50 МГц. Превышение амплитуды отдельных импульсов над средним значением достигало величины 15–25. Средняя мощность излучения в И–П режиме была равна средней мощности излучения в непрерывном режиме генерации лазера, что чрезвычайно важно для мотивации перехода к новому режиму [1, 2].

Экспериментальное подтверждение возможности получения высокочастотного И–П режима в мощных широкоапертурных газовых лазерах и реализация отражающих покрытий, устойчивых к механическим деформациям позволили разработать и изготовить биморфное адаптивное зеркало, способное работать на частотах в десятки килогерц.

Об оригинальности и новизне описанных подходов косвенно говорит тот факт, что реализации таких режимов работы посвящен ряд статей теоретического характера и практически отсутствуют экспериментальные работы. Можно назвать только единичные статьи в которых был реально получен высокочастотный И–П режим работы. При этом данный режим реализовывался за счет драматического снижения средней выходной мощности излучения – в 100 раз для СО₂ лазеров.

Реальные твердотельные лазеры, работающие в И–П режиме с уровнем выходной мощности в сотни ватт выпускаются двумя фирмами – “LEELASER” (США) и “PowerLase” (Великобритания).

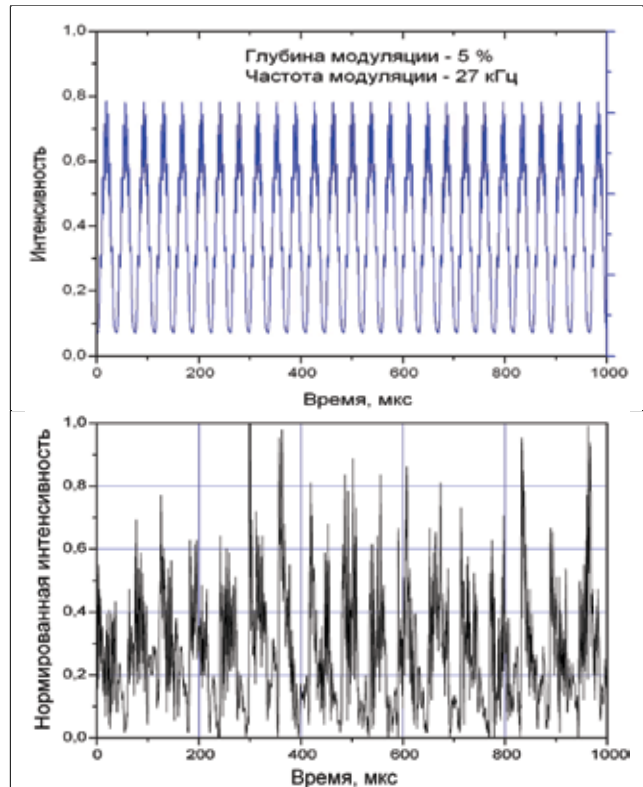


Рис. 6. Временная структура выходного излучения газодинамического лазера (выходная мощность 10 кВт). а) При глубине модуляции ~3 % и частоте модуляции ~27 кГц. Верхний график – модулирующий сигнал, нижний – выходной сигнал лазера. б) При глубине модуляции ~7 % и частоте модуляции ~25 кГц

Выпускаемые лазеры используют накачку лазерными диодами, обеспечивающими эффективность для непрерывного режима работы на уровне 30–50 %. В И–П режиме производители указывают эффективность на уровне всего нескольких процентов, т.е. имеет место падение эффективности более чем в 10 раз. В наших экспериментальных работах продемонстрирована высокая эффективность для твердотельного и газодинамического лазеров, при этом переход к работе в И–П режиме привел к снижению эффективности всего в полтора раза.

На лабораторном стенде нами были проведены предварительные эксперименты по резке различных материалов и продемонстрирована возможность резки любых материалов: конструкционных сталей, твердосплавных режущих элементов, сплавов циркония, алмазов, композитов, стекол, природных горных пород, ламинированных пакетов стекол и т.п.

Таким образом, с энергетической точки зрения только И–П лазеры могут обеспечить условие сохранения постоянной плотности потока мощности в обрабатываемой зоне и стабильное качество лазерной обработки изделия. Хорошо отработанный уровень энергетических параметров для присутствующих на мировом рынке лазеров, работающих в высокочастотном И–П режиме, составляет не более 100 Ватт средней мощности. На основе наших разработок можно говорить о возможности реализации лазерных систем, работающих в высокочастотном И–П режиме с большой средней мощностью и о необходимости их скорейшего промышленного производства для расширения спектра технологических применений. В настоящее время это уже хорошо понимают лазерные компании из Англии, Германии, США, Китая и Японии. Согласно материалам последней конференции по мощным лазерам и их применениям (GCL/HPL-2010) используемые ими методы получения И–П режима привели к достижению уров-

ня выходной средней мощности Nd YAG лазера с полупроводниковой накачкой, равного 800Вт. Нами еще в 2000 году был реализован высокочастотный И-П СО2-лазерный источник мощностью 10 кВт, однако средств для развития этого важного направления высоких технологий до настоящего времени в нашей стране не найдено. Наш проект "Создание производства мощных импульсно-периодических газовых и твердотельных лазеров с высокой частотой повторения импульсов. High power high repetition rate pulse-periodic gas and solid state lasers production" после согласования с экспертами ГК "Ростехнология", под руководством С. В. Чемезова несомненно начнет воплощаться в жизнь служить нуждам развития высоких технологий в Стране. Надежды нашего коллектива также связаны с большим интересом к данному типу высокочастотных лазерных источников большой мощности со стороны иностранных заказчиков и с возможностью подписания выгодных контрактов на их изготовление, что в значительной степени поможет продвинуть данную технологию и получить новые идеи для ее развития в будущем, а также, и это представляется наиболее важным, оказаться в нужный момент в состоянии готовности помочь нашему государству в промышленном освоении технологии высокочастотных И-П лазерных систем с большой мощностью с их уникально широким спектром промышленных применений.

Список литературы

1. В. Аполлонов, А. Егоров, В. Кийко, В. Кислов, А. Суздальцев Высококачественный импульсно-периодический режим генерации в мощных широкоапертурных лазерах, Квантовая электроника, 33, №9, (2003)
2. В. Аполлонов, Ю. Вагин, А. Егоров, В. Кийко, В. Кислов, Способ получения импульсно-периодического режима работы лазера, Патент на изобретение №2175159 от 28.04.2000.

**Общество с ограниченной
ответственностью**

"ЭНЕРГОМАШТЕХНИКА"

Компания последние 15 лет активно разрабатывает режим регенеративного усиления, который позволяет обеспечивать высокочастотный импульсно-периодический режим генерации мощных лазерных систем. Данный режим генерации обладает значительным рядом преимуществ, проявляющихся при взаимодействии мощного лазерного излучения с веществом.

**Адрес: 119991, г. Москва, ул. Вавилова, 38
Институт общей физики РАН
E-mail :vapollo@kapella.gpi.ru
Тел. (495) 920-73-66
www.gpi.ru/hpl**





Уважаемые читатели!

Предлагаем Вам подписаться
на «Комплект: ИТО»
на первое полугодие 2013 года

Подписаться можно в любом почтовом отделении

по объединенному каталогу

«ПРЕССА РОССИИ»

Цена на 6 месяцев – 2442 рублей!
(см. каталог <http://www.pressa-rf.ru/cat/1/indx/42049/>)

Цена на 12 месяцев – _____ рублей! (см. каталог)

индекс **42049**

Для оформления подписки в почтовом отделении можно вырезать и заполнить данную форму

Ф. СП-1		АБОНЕМЕНТ на газету 42049 <small>журнал</small> (индекс издания)									
«Комплект: ИТО»		Количество комплектов:									
на 2013 год по		месяц а м:									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Куда		(почтовый индекс)		(адрес)							
Кому		(фамилия, инициалы)									
ПВ		место		ли-тер		ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА					
						на газету 42049 <small>журнал</small> (индекс издания)					
						«Комплект: ИТО»					
Стои-мость	подписки	руб.	коп.	Количество комплектов							
	переадресовки	руб.	коп.								
на 2013 год по		месяц а м									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Куда		(почтовый индекс)		(адрес)							
Кому		(фамилия, инициалы)									

ООО «Инструменты. Техно логия. Оборудование»
107023, РФ, Москва, ул. Б. Семеновская, д. 49, оф. 334
Тел./факс: +7 (095) 366-98-00, 369-57-08
e-mail: exp@ito-baza.ru; www.ito-news.ru

