

Исследование импульсного лазера на парах меди с промышленными активными элементами серии «Кулон» в режиме с одним выпуклым зеркалом и его возможности для технологических применений

06, июнь 2014

DOI: 10.7463/0614.0717060

Лябин Н. А.

УДК 535.621.37; 621.378.325

Россия, ОАО "НПП "Исток" им. Шокина

lyabin-npk3@mail.ru

Введение

Одним из главных отличий импульсного ЛПМ от других известных газовых и твердотельных лазеров является сочетание короткого времени существования инверсии населенностей ($\tau = 10\text{--}30$ нс) с большим усилением активной среды (АС) ($k = 10\text{--}50$ Дб) [1, 2]. При таких усилениях ЛПМ может работать в режиме сверхсветимости: без зеркал или с одним зеркалом, но расходимость излучения из-за низкой пространственной когерентности обычно имеет большие значения. В режиме работы ЛПМ с оптическим резонатором излучение за время существования инверсии успевает сделать в резонаторе ($L = 1\text{--}2$ м) лишь несколько проходов, и моды в обычном их понимании, образующиеся в результате сотни проходов, не успевают сформироваться. Поэтому для формирования пучка излучения с малой расходимостью, т.е. дифракционного качества, стали применять резонаторы с высокой пространственной селективностью, как например, неустойчивый резонатор (НР) телескопического типа при увеличении сотни крат ($M = 100\text{--}300$) [3, 4]. Однако, с телескопическим НР выходное излучение имеет многопучковую структуру и для выделения из него дифракционной составляющей, имеющей практическое значение, требуется пространственный фильтр-коллиматор (ПФК) и дополнительные условия для обеспечения высокой стабильности положения оси диаграммы направленности этого пучка [5–7]. Альтернативное решение было предложено в работе [8,9], где впервые был применен и исследован ЛПМ в режиме с одним выпуклым зеркалом. В этом режиме структура выходного излучения двухпучковая: некогерентный пучок сверхсветимости, сформированный геометрической апертурой активного элемента (АЭ), и пучок, сформированный зеркалом и выходной апертурой АЭ. Расходимость второго пучка можно варьировать в широких

пределах за счет изменения радиуса кривизны выпуклого зеркала. Поскольку этот пучок формируется при участии одного зеркала, он обладает высокой стабильностью оси диаграммы направленности. При радиусах зеркала на один-два порядка меньше расстояния от зеркала до выходной апертуры АЭ, расходимость пучка становится близкой к дифракционной и, соответственно, пригодной для практических применений. В работах [8,9] исследовался ЛПМ с самыми мощными для того времени промышленными отпаянными АЭ «Кристалл» с диаметром разрядного канала 20 мм: модели ГЛ-201 со средней мощностью излучения 20-25 Вт и модели ГЛ-201Д мощностью 40-45 Вт. При малых радиусах кривизны зеркала ($R = 1-5$ см) расходимость пучка излучения ЛПМ составляла $\theta = 0,2-0,5$ мрад, что было достаточно для достижения в сфокусированном пятне диаметром $d = 20-50$ мкм плотности пиковой мощности на уровне 10^{10} Вт/см². Этих уровней мощности оказалось достаточным для обработки тонколистовых материалов.

К настоящему моменту группой разработчиков ОАО «НПП «Исток» им. Шокина» (г. Фрязино) совместно с ООО «НПП «ВЭЛИТ» (г. Истра) созданы малогабаритные с высокой надежностью и эффективностью современные ЛПМ на основе нового поколения промышленных отпаянных АЭ серии «Кулон» со средней мощностью излучения от 1 до 20 Вт [1]. Они применяются для накачки перестраиваемых по длинам волн лазеров на растворах красителей, анализа состава веществ, нанотехнологии, медицине и др. Но оставался открытым вопрос о возможности их использования для микрообработки материалов. В идеальном случае, для микрообработки необходимо иметь ЛПМ с однопучковым излучением дифракционного качества. Одним из привлекательных вариантов формирования однопучкового излучения с высоким качеством в ЛПМ является режим работы с одним выпуклым зеркалом.

Целью настоящей работы является исследование импульсного ЛПМ с промышленными отпаянными АЭ серии «Кулон» в режиме с одним выпуклым зеркалом и определение его возможностей для технологических применений. Для выполнения поставленной цели исследовались пространственные, временные и энергетические характеристики ЛПМ при малых радиусах кривизны выпуклого зеркала и с применением самых мощных АЭ из серии «Кулон»: моделей ГЛ-206Д мощностью излучения 15 Вт и ГЛ-206И мощностью 20 Вт. Были проведены расчеты и экспериментальные измерения расходимости пучка излучения и установлено, что в диапазоне радиуса кривизны зеркал $R = 6-30$ мм расходимость изменяется в пределах $0,15-0,35$ мрад, и что лишь в 1,5-3,5 раза больше дифракционного предела. При такой расходимости плотность пиковой мощности достигает значений $10^9 \dots 10^{10}$ Вт/см². Использование ЛПМ с одним зеркалом в качестве задающего генератора в ЛСПМ типа задающий генератор-усилитель мощности (ЗГ-УМ) позволяет повысить плотность мощности до 10^{11} Вт/см², достаточной для производительной и качественной микрообработки материалов ИЭТ.

1. Экспериментальная установка и методики исследований

Экспериментальная установка для исследования характеристик выходного пучка излучения импульсного ЛПМ в режиме с одним выпуклым зеркалом представлена на рис.1.

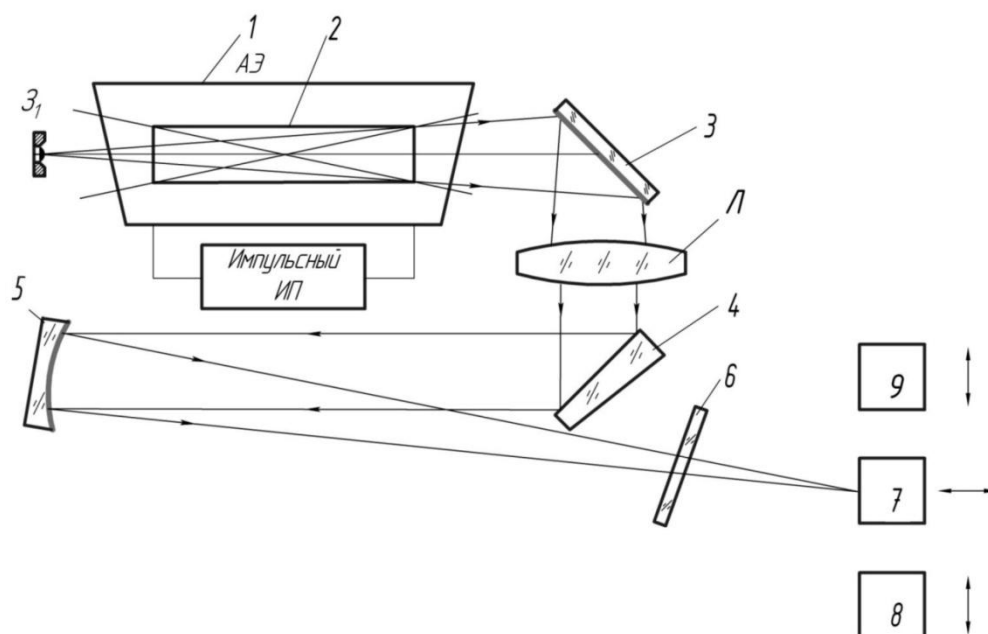


Рис.1. Экспериментальная установка для исследования характеристик выходного излучения импульсного ЛПМ в режиме с одним выпуклым зеркалом:

1 – АЭ; 2 – разрядный канал АЭ; Л – коллимирующая линза с фокусным расстоянием $F = 1,6$ м; 3_1 – выпуклое зеркало; 3 – плоское поворотное зеркало; 4 – светоделительная пластина с коэффициентом отражения $\rho = 4\%$; 5 – фокусирующее зеркало с радиусом кривизны $R = 15$ м; 6 – нейтральный светофильтр; 7 – измеритель мощности излучения (милливольтметр М136 с преобразователем мощности лазерного излучения ТИ-3); 8 – осциллограф цифровой GDS-840S с фотоэлементом ФЭК-14К; 9 – анализатор пучка излучения BeamStar-FX

В исследуемом ЛПМ применялись АЭ модели ГЛ-206Д (15 Вт) и ГЛ-206И (20 Вт), являющиеся самыми мощными промышленными отпаянными АЭ из серии «Кулон» [1,10]. Основные геометрические размеры этих АЭ приведены в табл.1, где $l_{\text{АЭ}}$ – длина АЭ; $D_{\text{к}}$ – диаметр разрядного канала АЭ; $l_{\text{к}}$ – длина разрядного канала (расстояние между электродами); $l_{\text{АС}}$ – длина активной среды.

Таблица 1. Основные геометрические размеры АЭ моделей ГЛ-206Д и ГЛ-206И

Модель АЭ	Геометрические размеры, мм			
	$l_{\text{АЭ}}$	$D_{\text{к}}$	$l_{\text{к}}$	$l_{\text{АС}}$
ГЛ-206Д	770	14	515	440
ГЛ-206И	900	14	640	565

Накачка АЭ ЛПМ производилась самым эффективным и надежным на сегодня высоковольтным импульсным ИП с тиратронным модулятором, выполненным по схеме ем-

костного удвоения напряжения с двумя звеньями магнитного сжатия наносекундных импульсов тока и анодным реактором [1, 10, 11].

Для удобства проведения исследований характеристик расходящегося пучка излучения, формируемого в ЛПМ в однозеркальном режиме, сначала производилось его коллимирование с помощью положительной линзы с фокусным расстоянием $F=1,6$ м (Л), а затем фокусировка сферическим вогнутым зеркалом с $R=15$ м (поз.5). При регистрации импульсов излучения и снятии распределения интенсивности в перетяжке сфокусированного пучка мощность излучения предварительно ослаблялась за счет введения в световой поток светоделительной пластины (поз.4) и нейтральных светофильтров (поз.6).

Измерение средней мощности излучения производилось с помощью милливольтметра М136 с подключенным к нему преобразователем мощности лазерного излучения ТИ-3 (поз.7), регистрация импульсов излучения – осциллографом типа GDS-840S с фотоэлементом ФЭК-14К (поз.8), исследование распределения интенсивности и измерение диаметра в фокальной плоскости (практически в перетяжке по уровню $1/e^2$) сфокусированного пучка излучения – анализатором пучка излучения BeamStar-FX (поз.9). Так как считается, что распределение интенсивности в фокальной плоскости (перетяжке) соответствует распределению в дальней зоне ($>D^2/\lambda$, где D – диаметр пучка, λ – длина волны излучения), то для практического определения расходимости (θ) пучков излучения ЛПМ использовался самый распространенный метод измерения – метод фокального пятна:

$$\theta = d_0/F \quad (1)$$

где d_0 – диаметр сфокусированного пучка излучения в фокальной плоскости (в перетяжке), F – фокусное расстояние фокусирующего оптического элемента. Во всех ниже рассматриваемых случаях расходимость излучения ЛПМ приводится к диаметру апертуры его разрядного канала ($D_k=14$ мм).

Важным технологическим параметром при микрообработке импульсным излучением является плотность пиковой мощности, определяемая по формуле

$$\rho = \frac{P_{\text{изл}}}{f\tau\pi r^2} \quad (2)$$

где $P_{\text{изл}}$ – средняя мощность излучения, f – частота повторения импульсов (ЧПИ), τ – длительность импульсов излучения по полувысоте, r – радиус сфокусированного пятна излучения. В наших экспериментах рабочая ЧПИ ЛПМ составляла $f=15$ кГц, длительность импульсов излучения (по полувысоте) $\tau=12\ldots13$ нс.

2. Исследование структуры, пространственных, временных и энергетических характеристики излучения ЛПМ в режиме с одним выпуклым зеркалом

На рис.2. отдельно представлена оптическая схема для исследования ЛПМ в однозеркальном режиме.

лучения) – дифракционная расходимость [1,9]. Для АЭ ГЛ-206Д и ГЛ-206И с диаметром апертуры канала $D_k = 14$ мм дифракционная расходимость равна $\theta_{\text{дифр}} = 0,1$ мрад.

Кривые 1 и 3 на рис. 3 рассчитаны для расстояния от зеркала до АЭ $l_1 = 50$ мм, 2 и 4 – для $l_1 = 250$ мм. Чем больше расстояние l_1 и длиннее разрядный канал l_k и, соответственно, больше расстояние от зеркала до выходной апертуры АВ (l) АЭ, тем меньше расходимость качественного пучка (кривая 4). АЭ «Кулон» модели ГЛ-206И длиннее АЭ ГЛ-206Д на 130 мм.

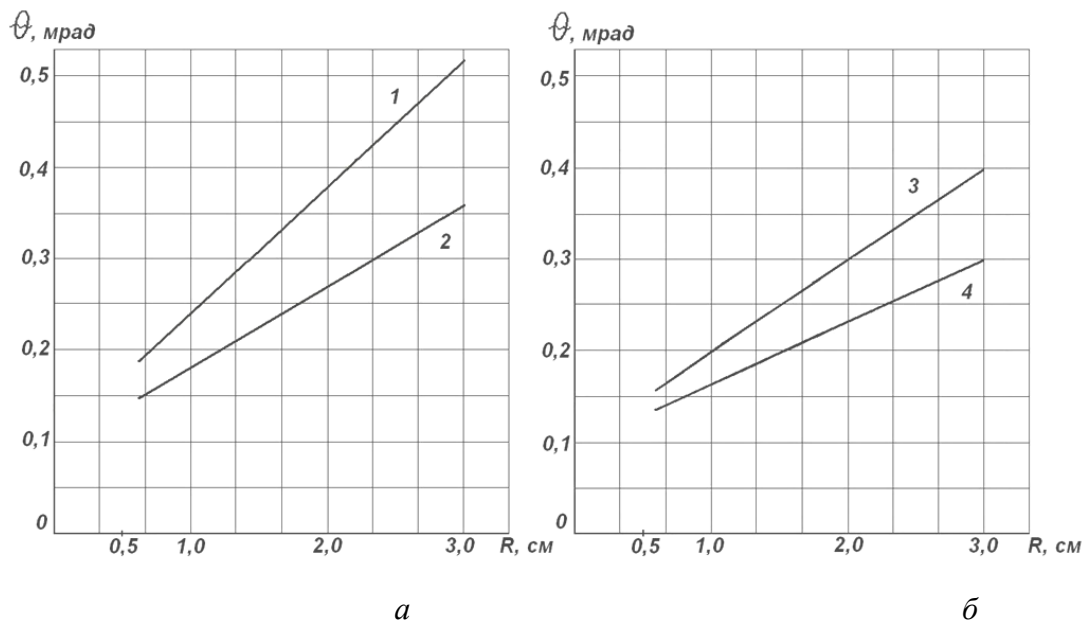


Рис.3. Зависимость расчетной расходимости качественного пучка излучения ЛПМ с АЭ «Кулон» моделей ГЛ-206Д (а) и ГЛ-206И (б) в однозеркальном режиме от радиуса кривизны выпуклого зеркала $З_1$.

Кривые 1 и 3 рассчитаны для $l_1 = 50$ мм, кривые 2 и 4 – для $l_1 = 250$ мм

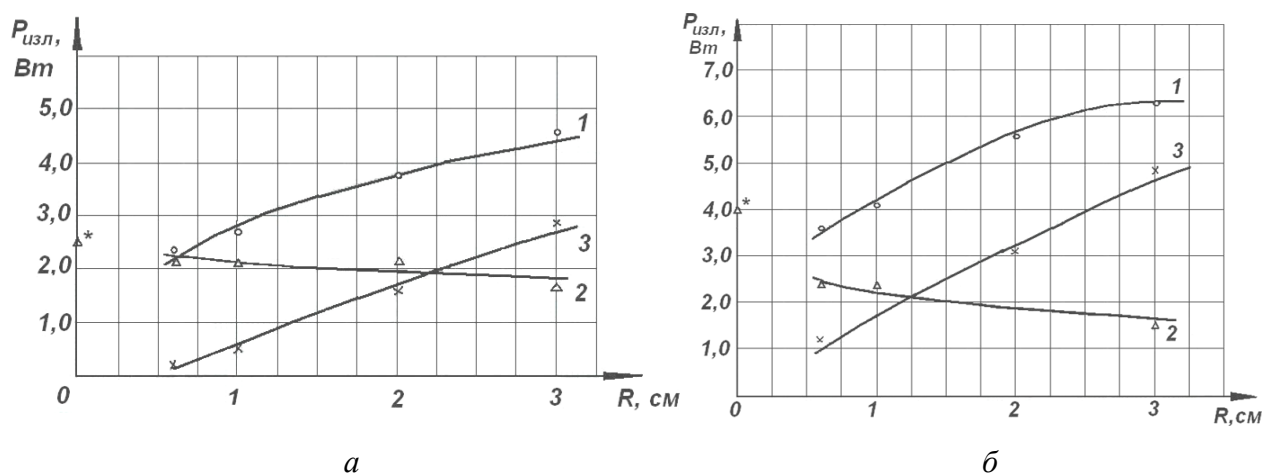


Рис. 4. Зависимости средней мощности в суммарном (1), фоновом (2) и качественном (3) пучках излучения ЛПМ с АЭ «Кулон» ГЛ-206Д (а) и ГЛ-206И (б) в однозеркальном режиме от радиуса кривизны выпуклого зеркала. $l_1 = 50$ мм, х - мощность пучка сверхсветимости без зеркал

Экспериментальные значения расходимости качественного пучка излучения определялись по результатам измерений минимального диаметра в перетяжке сфокусированного пучка и использования формулы (1). Например, на рис.5 представлено распределение интенсивности излучения в перетяжке в режиме работы ЛПМ с АЭ ГЛ-206И и выпуклым зеркалом с радиусом кривизны $R=3$ см при $l_1=250$ мм.

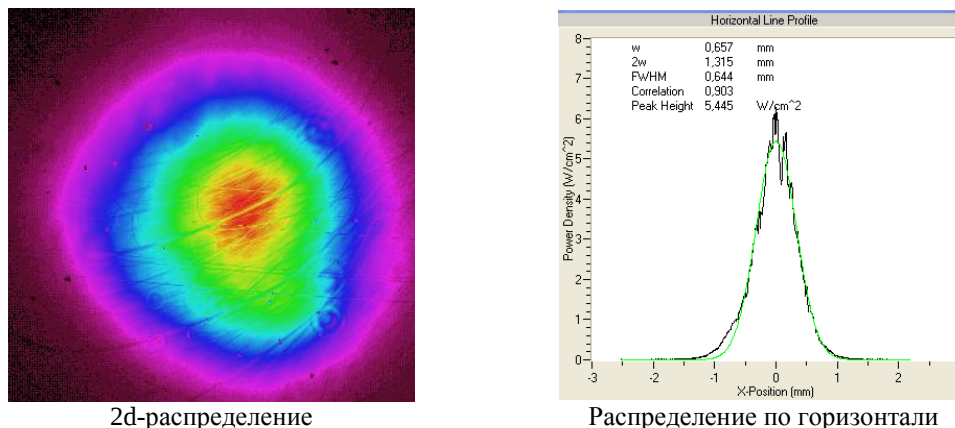


Рис.5. Распределение интенсивности выходного пучка излучения ЛПМ с АЭ «Кулон» ГЛ-206И в однозеркальном режиме в фокальной плоскости (перетяжке) зеркала с радиусом кривизны $R=15$ м. $R_1=30$ мм, $l_1=50$ мм

На поле распределения интенсивности по горизонтали указаны следующие обозначения: W , $2W$, $FWHM$, $Correlation$, $PeakHeight$. W – размер перетяжки, определяемой как полуширина профиля по уровню $1/e^2$ от максимума интенсивности пучка. $2W$ – полная ширина профиля по уровню $1/e^2$ от максимума интенсивности пучка. $FWHM$ – полная ширина профиля по половинному максимуму интенсивности пучка. $Correlation$ – наилучшее корреляционное соответствие между профилем пучка и идеальным гауссовым пучком. $PeakHeight$ – высота пика пучка Вт/см².

Диаметр перетяжки по уровню $1/e^2$ ($2W$ на рис.5) от максимальной интенсивности составил 1,315 мм, расходимость пучка в соответствии с формулой (1) – $\theta_{пред} \approx 0,25$ мрад, что хорошо согласуется с расчетным значением – $\theta_{пред} = 0,3$ мрад (см. кривую 4 на рис.3). Из распределения интенсивности по горизонтали следует, что степень корреляции пучка в однозеркальном режиме с гауссовым пучком высокая и составляет 0,903.

При увеличении l_1 от 50 до 250 мм мощность излучения снизилась незначительно – на 5... 6 %, что по вкладу на плотность мощности несущественно по сравнению с уменьшением расходимости. На рис.6 представлены примеры осциллограмм фонового некогерентного (1) и качественного (2) пучков излучения ЛПМ с АЭ «Кулон» ГЛ-206И при радиусах кривизны выпуклого зеркала $R=0,6; 1; 2$ и 3 см и расстоянии от зеркала до АЭ $l_1=250$ мм. При $l_1=250$ мм время двойного прохождения излучением расстояния от зеркала до активной среды составляет

$$\Delta t = \frac{2l'_1}{c} = 2,8 \text{ нс}, \quad (4)$$

где $l'_1 = 0,42$ м, $c = 3 \cdot 10^8$ м/сек. Общая длительность импульса излучения по основанию составляет 23...25 нс. Время $\Delta t = 2,8$ нс, как видно из осциллограмм, соответствует времени отставания начала импульсов качественного пучка(2) от импульсов фонового пучка (1).

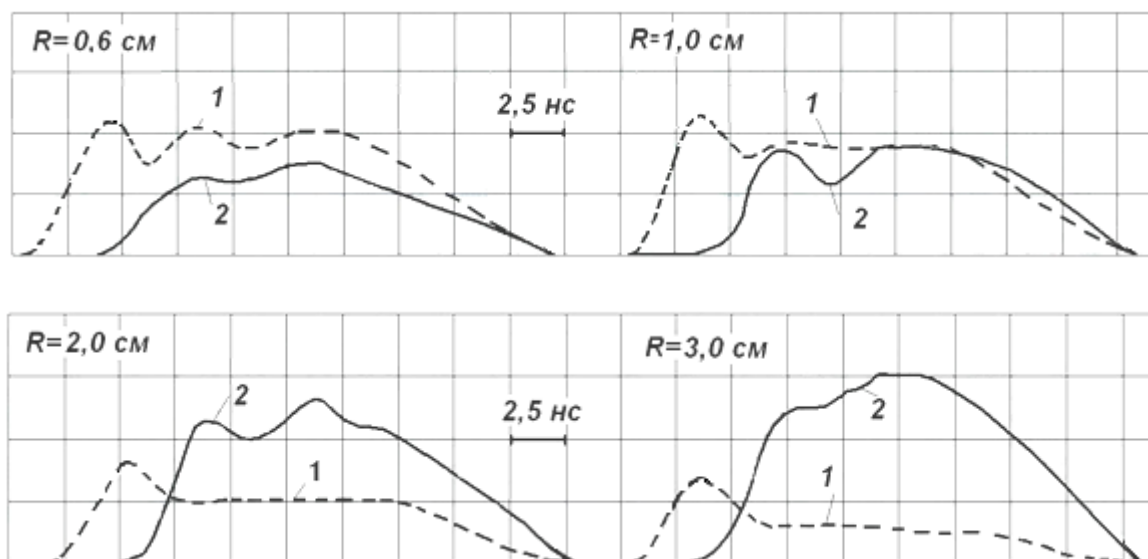


Рис.6. Осциллограммы импульсов фонового (1) и качественного (2) пучков излучения ЛПМ с АЭ «Кулон» ГЛ-206И в однозеркальном режиме при разных радиусах кривизны выпуклого зеркала и $l_1 = 250$ мм

При увеличении расстояния l'_1 , от зеркала до АС, интервал времени задержки Δt увеличивается, а длительность импульсов качественного пучка уменьшается, что приводит к повышению качества обработки из-за уменьшения времени взаимодействия с материалом. С увеличением Δt расходимость качественного пучка уменьшается, но и уменьшается мощность излучения. В зависимости от поставленной задачи изменением расстояния от зеркала до АЭ можно оптимизировать плотность пиковой мощности излучения в сфокусированном пятне как при работе ЛПМ в режиме отдельного генератора, так и в ЛСПМ, работающей по схеме ЗГ – ПФК – УМ.

В технологических установках с применением двухволнового ЛПМ фокусировка излучения производится с помощью ахроматических объективов с $F = 30-150$ мм. На рис.7 представлены зависимости минимального диаметра пятна (d) и плотности пиковой мощности (ρ) в перетяжке сфокусированного пучка излучения ЛПМ в однозеркальном режиме от радиуса кривизны выпуклого зеркала $3_1(R_1)$ с ахроматическим объективом с $F = 70$ мм.

Из хода кривых на рис.7 видно, что изменению радиуса кривизны зеркала в пределах $R_1 = 0,6-3$ см соответствует увеличение диаметра сфокусированного пятна с АЭ ГЛ-206Д в пределах $d = 10,5-25$ мкм (кривая 1) и с более длинным ГЛ-206И в пределах $d = 9-21$ мкм (кривая 3), плотности пиковой мощности $\rho = (0,96-3,2) \cdot 10^9$ Вт/см² (кривая 2) и $(10-7,7) \cdot 10^9$ Вт/см² (кривая 4), соответственно.

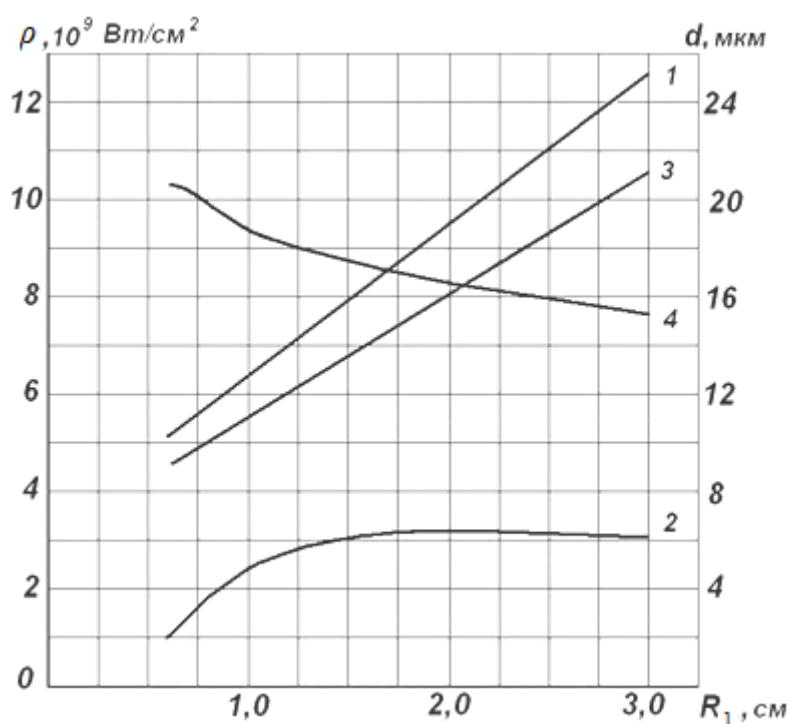


Рис.7. Зависимости диаметра пятна и плотности пиковой мощности в перетяжке сфокусированного пучка излучения ЛПМ с АЭ «Кулон» ГЛ-206Д (кривые 1 и 2) и ГЛ-206И (кривые 3 и 4) от радиуса кривизны выпуклого зеркала с ахроматическим объективом $F = 70 \text{ мм}$

С практической точки зрения при работе ЛПМ в однозеркальном режиме предпочтительнее применение длинных АЭ относительно с небольшим диаметром разрядного канала ($D_k=10\text{-}20 \text{ мм}$) и увеличенным расстоянием от зеркала до АЭ. Но нежелательно, чтобы расстояние от зеркала до активной среды АЭ было больше $0,7\text{-}1 \text{ м}$, что соответствует времени двойного прохода излучением этого расстояния $\Delta t = 5\text{...}7 \text{ нс}$, так как при общей длительности импульсов излучения $20\text{...}25 \text{ нс}$ приводит к заметному снижению мощности в качественном пучке излучения. С увеличением длины АЭ расходимость пучка уменьшается и стремится к дифракционному пределу, а мощность излучения возрастает, что в совокупности приводит к резкому повышению плотности пиковой мощности. С этой точки зрения более эффективными являются промышленные АЭ «Кристалл» моделей ГЛ-205А и ГЛ-205Б с длиной разрядного канала $0,93$ и $1,23 \text{ м}$ и диаметром 20 мм [1]. К достоинствам однозеркального режима ЛПМ, кроме формирования одного качественного пучка, следует отнести высокую стабильность положения оси диаграммы направленности этого пучка и его импульсной энергии, к недостатку – расходимость в $2\text{-}3$ раза больше дифракционного предела, что снижает плотность мощности в $5\text{-}10$ раз.

Уровень плотности пиковой мощности 10^9 Вт/см^2 , как показывает практический опыт, достаточен лишь для производительной микрообработки фольгированных материалов и раскроя припоев ($0,02\text{-}0,1 \text{ мм}$). Для обработки более толстых материалов (до 1 мм) ЛПМ в режиме с одним выпуклым зеркалом применяется в качестве ЗГ в ЛСПМ типа ЗГ – ПФК – УМ [12, 13]. Например, при использовании в ЛСПМ в качестве УМ АЭ «Кристалл» моделей ГЛ-205А и ГЛ-205Б мощность и плотность пиковой мощности излучения

возрастает более, чем на порядок (30-60 Вт и 10^{11} Вт/см²). При этих уровнях мощности для более производительной и качественной микрообработки материалов необходимо, чтобы однопучковое излучение имело строго дифракционную расходимость.

Заключение

В рамках данной работы исследованы пространственные, временные и энергетические характеристики ЛПМ в режиме с одним выпуклым зеркалом с применением самых мощных промышленных отпаянных АЭ из серии «Кулон»: моделей ГЛ-206Д мощностью излучения 15 Вт и ГЛ-206И мощностью 20 Вт с целью определения его возможностей для эффективной микрообработки материалов.

Расчеты и экспериментальные исследования показали, что изменением радиуса кривизны выпуклого зеркала расходимость пучка излучения ЛПМ можно варьировать в широких пределах и при радиусах кривизны на один-два порядка меньших расстояния от зеркала до выходной апертуры АЭ достигать значений близких к дифракционному пределу.

При малых радиусах кривизны зеркала ($R = 6-30$ мм) расходимость выходного пучка излучения ЛПМ может отличаться от дифракционного предела лишь 2-3 раза (0,15-0,35 мрад). При этих расходимостях плотность пиковой мощности достигает в сфокусированном пятне значений $10^9 \dots 10^{10}$ Вт/см².

С увеличением длины разрядного канала АЭ расходимость выходного пучка излучения ЛПМ в однозеркальном режиме уменьшается и стремится к дифракционному пределу, а мощность возрастает, что в совокупности приводит к резкому повышению плотности пиковой мощности. Поэтому с практической точки зрения более эффективными являются промышленные АЭ «Кристалл» моделей ГЛ-205А и ГЛ-205Б с длиной разрядного канала 0,93 и 1,23 м и диаметром 20 мм.

К достоинствам ЛПМ в однозеркальном режиме, кроме формирования одного качественного пучка, относится высокая стабильность положения оси диаграммы направленности этого пучка и его импульсной энергии, что повышает качество обработки.

Уровень плотности пиковой мощности 10^9 Вт/см², как показывает практический опыт, достаточен лишь для производительной микрообработки фольгированных материалов и раскроя припоев (0,02-0,1 мм).

Применение ЛПМ с одним зеркалом в качестве ЗГ в ЛСПМ типа ЗГ – ПФК – УМ с использованием в УМ промышленных АЭ «Кристалл» мощностью излучения 30-50 Вт позволяет повысить плотность пиковой мощности до 10^{11} Вт/см², достаточной для производительной и качественной микрообработки материалов толщиной до 1 мм.

Основные выводы по результатам исследований ЛПМ справедливы и для импульсных лазеров на других парах металлов, а также газовых и твердотельных лазеров с короткой длительностью существования инверсии населенностей.

Список литературы

1. Григорьянц А.Г., Казарян М.А., Лябин Н.А. Лазеры на парах меди: конструкция, характеристики и применения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 312 с.
2. Little C.E. Metal Vapour Lasers: Physics, Engineering and Applications. Chichester (UK): J. Wiley and Sons Ltd., 1999. 620 p.
3. Земсков Л.И., Исаев А.А., Казарян М.А., Петраш Г.Г., Раутиан С.Г. Применение неустойчивых резонаторов для получения дифракционной расходимости излучения импульсных газовых лазеров с большим усилением // Квантовая электроника. 1974. Т. 1, № 4. С. 863-869.
4. Получение дифракционной расходимости с импульсными лазерами, обладающими малым временем существования инверсии / К.И. Земсков, А.А. Исаев, М.А. Казарян [и др.] // 2-й Всесоюзный симпозиум по физике газовых лазеров (Новосибирск, 16–18 июня 1975 г.): тез. докл. Новосибирск, 1974. С. 141.
5. Пространственные, временные и энергетические характеристики излучения лазера на парах меди / В.П. Беляев, В.В. Зубов, А.А. Исаев, Н.А. Лябин, Ю.Ф. Соболев, А.Д. Чурсин // Квантовая электроника. 1985. Т. 12, № 1. С. 74-79.
6. Лябин Н.А. Характеристика излучения лазера на парах меди // Импульсные газовые лазеры: тез. докл. конференции. М.: ЦНИИЭ, 1986. С. 15-16. (Сер. 11. Лазерная техника и оптоэлектроника; вып.3 (237)).
7. Зубов В.В., Лябин Н.А., Чурсин А.Д. Эффективная система генератор-усилитель на основе лазерных активных элементов на парах меди // Квантовая электроника. 1986. Т. 13, № 12. С. 2431-2436.
8. Зубов В.В., Лябин Н.А., Чурсин А.Д. Лазер на парах меди с высокостабильным однопучковым излучением и управляемой расходимостью // Квантовая электроника. 1988. Т. 15, № 10. С. 1947-1954.
9. Лябин Н.А. Безрезонаторный лазер на парах меди с высоким качеством излучения // Квантовая электроника. 1989. Т. 16, № 4. С. 652-657.
10. Промышленные лазеры на парах металлов серии KULON / Н.М. Лепехин, Ю.С. Присеко, В.Г. Филиппов, Н.А. Лябин, А.Д. Чурсин, М.А. Казарян // Прикладная физика. 2005. № 1. С. 110-115.
11. Лепехин Н.М., Присеко Ю.С., Филиппов В.Г., Лябин Н.А., Чурсин А.Д., Колоколов И.С. Генератор наносекундных импульсов для возбуждения лазеров на самоограниченных переходах атомов металлов: пат. 2226022 РФ. 2004. Бюл. № 8.
12. Лябин Н.А. Лазеры на парах меди: от промышленных до медицинских приложений // Фотоника. 2012. Т. 32, № 2. С. 66-69.
13. Импульсные лазеры на парах меди, технологическое и медицинское оборудование на их основе / Н.А. Лябин, А.Н. Королев, Е.Н. Покровский, В.Н. Батыгин, П.С. Мелешкевич, А.Д. Чурсин, В.И. Клименко, В.С. Парамонов, Е.А. Котюргин,

И.С. Колоколов, Г.М. Парамонова, Л.Л. Бетина, М.Е. Королева, И.В. Каморин // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. 2013. Вып. 3 (518). С. 211-220.

Investigation of Copper Vapor Pulsed Laser with Industrial Active Elements of “Kulon” Series using One Convex Mirror Mode and Its Capabilities for Technological Applications

06, June 2014

DOI: 10.7463/0614.0717060

N.A. Lyabin

JSC “RPC “Istok” named after Shokin, Fryazino, Moscow Region, 141190, Russian Federation

lyabin-npk3@mail.ru

Within the scope of the given paper spatial, time and energy characteristics of a copper vapor laser (CVL) have been investigated in the mode of one convex mirror using the most powerful industrial sealed-off active elements (AE) of “Kulon” series: 15 W GL-206D model and 20 W GL-206I model in order to define the capabilities of using its one-beam radiation for effective microprocessing of materials.

The carried out calculations and experimental investigations showed that one can vary the radiation beam divergence within a wide range by changing the radius of curvature of CVL convex mirror; and one can reach values close to diffraction limit at radii of curvature one-two orders lower than the distance from the mirror to AE output aperture. At small radii of mirror curvature ($R = 6\text{--}30\text{ mm}$) the CVL output radiation beam divergence can only 2-3 times (0.15–0.35 mrad) differ from diffraction limit. At these divergences the peak power density in a focused spot can reach $10^9 \dots 10^{10}\text{ W/cm}^2$ values.

With the increase of AE discharge channel length the CVL output radiation beam divergence in one-mirror mode decreases and tends to diffraction limit, while power increases, which in the aggregate leads to the sharp increase of peak power density. Therefore, from practical point of view the industrial AEs “Crystal” GL-205A and GL-205B with 0.93 and 1.23 m discharge channel length and 20 mm diameter are the most effective ones. Besides the formation of one high quality beam, the advantages of one-mirror mode include a high axis stability of directivity pattern of this beam and pulsed energy, which increase the quality of microprocessing of materials.

Practical experience of using CVL with one convex mirror shows that 10^9 W/cm^2 peak power density level is sufficient only for efficient microprocessing of foiled materials and solder cutouts (0.02–0.1 mm). The use of this CVL as a driving oscillator (DO) in a copper vapor laser system (CVLS) of the type: driving oscillator – power amplifier (DO – PA) using 30–50 W in-

dustrial “Crystal” AEs in PAs allows to increase peak power density up to 10^{11} W/cm², sufficient for efficient and qualitative microprocessing of materials up to 1 mm thick.

The main conclusions on the results of CVL investigations are also true for other metals vapor pulsed lasers as well as for gas and solid-state lasers with a short period of population inversion existence.

Publications with keywords: [copper vapor lasers](#), [radiation divergence](#), [peak power density](#), [microprocessing of materials](#)

Publications with words: [copper vapor lasers](#), [radiation divergence](#), [peak power density](#), [microprocessing of materials](#)

References

1. Grigor'iants A.G., Kazarian M.A., Liabin N.A. *Lazery na parakh medi: konstruktsiia, kharakteristiki i primeneniia* [Copper vapor laser: design, characteristics and applications]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2005. 312 p. (in Russian).
2. Little C.E. *Metal Vapour Lasers: Physics, Engineering and Applications*. Chichester (UK), J. Wiley and Sons Ltd., 1999. 620 p.
3. Zemskov L.I., Isaev A.A., Kazarian M.A., Petrash G.G., Rautian S.G. [Use of unstable resonators in achieving the diffraction divergence of the radiation emitted from high-gain pulsed gas lasers]. *Kvantovaia elektronika*, 1974, vol. 1, no. 4, pp. 863-869. (English translation: *Soviet Journal of Quantum Electronics*, 1974, vol. 4, no. 4, pp. 474-477. DOI: [10.1070/QE1974v004n04ABEH006787](https://doi.org/10.1070/QE1974v004n04ABEH006787)).
4. Zemskov K.I., Isaev A.A., Kazarian M.A., et al. [Obtaining diffraction divergence with pulsed lasers which have short lifetime of inversion]. *2-i Vsesoiuznyi simpozium po fizike gazovykh lazerov: tez. dokl.* [2nd All-Union Symposium on Physics of Gas Lasers: abstracts]. Novosibirsk, 16–18 July, 1975. Novosibirsk, 1974, p. 141. (in Russian).
5. Beliaev V.P., Zubov V.V., Isaev A.A., Liabin N.A., Sobolev Iu.F., Chursin A.D. [Spatial, temporal, and energy characteristics of copper vapor laser radiation]. *Kvantovaia elektronika*, 1985, vol. 12, no. 1, pp. 74-79. (English translation: *Soviet Journal of Quantum Electronics*, 1985, vol. 15, no. 1, pp. 40-44. DOI: [10.1070/QE1985v015n01ABEH005842](https://doi.org/10.1070/QE1985v015n01ABEH005842)).
6. Liabin N.A. [Characteristic of radiation of copper vapor laser]. *Impul'snye gazovye lazery: tez. dokl. konferentsii* [Pulsed gas lasers: abstracts of conference]. Moscow, Publ. of TsNIIIE, 1986, pp. 15-16. (*Ser. 11. Lazernaia tekhnika i optoelektronika; vyp.3 (237)* [Ser. 11. Laser technology and optoelectronics; issue 3 (237)]). (in Russian).
7. Zubov V.V., Liabin N.A., Chursin A.D. [Efficient master-oscillator-amplifier system utilizing copper vapor laser active elements]. *Kvantovaia elektronika*, 1986, vol. 13, no. 12, pp. 2431-

2436. (English translation: *Soviet Journal of Quantum Electronics*, 1986, vol. 16, no. 12, pp. 1606-1610. DOI: [10.1070/QE1986v016n12ABEH008501](https://doi.org/10.1070/QE1986v016n12ABEH008501)).
8. Zubov V.V., Liabin N.A., Chursin A.D. [Copper vapor lasers with a highly stable single output beam of controlled divergence]. *Kvantovaya elektronika*, 1988, vol. 15, no. 10, pp. 1947-1954. (English translation: *Soviet Journal of Quantum Electronics*, 1988, vol. 18, no. 10, pp. 1216-1221. DOI: [10.1070/QE1988v018n10ABEH012460](https://doi.org/10.1070/QE1988v018n10ABEH012460)).
9. Liabin N.A. [Noncavity copper vapor laser generating high-quality radiation]. *Kvantovaya elektronika*, 1989, vol. 16, no. 4, pp. 652-657. (English translation: *Soviet Journal of Quantum Electronics*, 1989, vol. 19, no. 4, pp. 426-429. DOI: [10.1070/QE1989v019n04ABEH007879](https://doi.org/10.1070/QE1989v019n04ABEH007879)).
10. Lepekhin N.M., Priseko Iu.S., Filippov V.G., Liabin N.A., Chursin A.D., Kazarian M.A. [The metal vapour industrial lasers of the KULON series]. *Prikladnaya fizika*, 2005, no. 1, pp. 110-115. (in Russian).
11. Lepekhin N.M., Priseko Iu.S., Filippov V.G., Liabin N.A., Chursin A.D., Kolokolov I.S. *Generator nanosekundnykh impul'sov dlia vozbuzhdeniia lazerov na samoogranichennykh perekhodakh atomov metallov* [Nanosecond pulse generator for excitation of lasers on self-terminating transitions of metal atoms]. Patent RF, no. 2226022, 2004. (in Russian).
12. Liabin N.A. [Copper Vapor Lasers. From Industrial to Medical Applications]. *Fotonika*, 2012, vol. 32, no. 2, pp. 66-69. (in Russian).
13. Liabin N.A., Korolev A.N., Pokrovskii E.N., Batygin V.N., Meleshkevich P.S., Chursin A.D., Klimenko V.I., Paramonov V.S., Kotiurgin E.A., Kolokolov I.S., Paramonova G.M., Betina L.L., Koroleva M.E., Kamorin I.V. [Pulsed copper vapor lasers, technological and medical equipment on their basis]. *Elektronnaya tekhnika. Ser. 1. SVCh-tehnika* [Electronic engineering. Ser. 1. Microwave engineering], 2013, iss. 3 (518), pp. 211-220. (in Russian).