

Управление средней мощностью излучения CuBr-лазера

А.И.Федоров, В.Ф.Федоров, В.А.Димаки

Исследованы параметры накачки CuBr-лазера (частота следования импульсов 14 кГц) с независимым разогревом активной среды и дополнительным источником импульсов возбуждения, обеспечивающим оперативное управление параметрами излучения в заданном временном интервале. Созданная экспериментальная установка, которая позволяет изменять среднюю мощность излучения путем подачи управляющего импульса с опережением основного на 0.12–20 мкс. Показано, что для эффективного управления мощностью излучения лазера, амплитуда напряжения дополнительного импульса возбуждения должна быть в пределах 12%–28% от амплитуды основного импульса. При этом предлагаемый режим управления позволяет в 2.5 раза уменьшить время задержки между управляющим и основным импульсами возбуждения за счет большей энергии дополнительного импульса по сравнению с саморазогревным режимом работы лазера.

Ключевые слова: газоразрядный CuBr-лазер, средняя мощность излучения, дополнительный и основной импульсы возбуждения.

1. Введение

Для микрообработки материалов лазерами на парах металлов (ЛПМ) требуется управление параметрами излучения для каждого отдельного импульса генерации. Поэтому вопросы оперативного и точного управления этими параметрами остаются актуальными. В работах [1–3] были предложены и реализованы методы оперативного управления характеристиками излучения ЛПМ с помощью дополнительных импульсов возбуждения. Механизм управления заключается в воздействии дополнительными импульсами на концентрацию атомов металла на нижнем лазерном уровне. При этом воздействие может проявляться как в заселении, так и в релаксации населенности нижнего рабочего уровня после прохождения дополнительного импульса возбуждения [1, 4]. При таком управлении энергозатрат в разряд остается постоянным независимо от того, имеет место генерация или нет. Отметим, что в [1–3] исследовались лазеры на парах чистых металлов, работающие в саморазогревном режиме. В настоящей работе исследования проводились с лазером на парах бромида меди. Для этого лазера характерны хорошие энергетические характеристики и более простая технология изготовления активного элемента по сравнению с лазером на парах чистой меди. Введение в рабочую среду активных примесей (H_2 , HBr) дает возможность перейти к мощностям генерации и сроку службы активного элемента, соответствующим практическим применениям, таким как зондирование атмосферы или точная обработка материалов для электроники и медицины. Кроме того, низкая рабочая температура активного объема позволяет

использовать внешний нагрев рабочей зоны газоразрядной трубки (ГРТ) [5]. Управление температурой активного объема с помощью независимого источника питания создает условия для работы лазера с малыми вкладываемыми в разряд мощностями при относительно больших рабочих объемах активного элемента.

Настоящая статья посвящена выяснению особенностей работы лазера на парах бромида меди с внешним нагревателем в зависимости от параметров дополнительного импульса возбуждения и режима его включения.

2. Экспериментальная установка, аппаратура и методы измерений

В экспериментах использовалась конструкция активного элемента с внешним нагревателем, аналогичным описанному в работе [6]. ГРТ была выполнена из оптического кварца с внутренним диаметром 38 мм и толщиной стенки 2 мм. Длина активной зоны равнялась 900 мм. Электрическая блок-схема возбуждения CuBr-лазера приведена на рис.1. Лазер имел плоскопараллельный резонатор 9. Нагревательная печь 12 поддерживала заданную температуру стенки ГРТ 11 за счет термостабилизатора 13. Схема возбуждения состояла из основного (1) и дополнительного (6) высоковольтных импульсных источников питания, генератора запускающих импульсов 4, коммутаторов T_1 и T_2 , схемы задержки основных импульсов возбуждения 3, зарядной индуктивности L и рабочих емкостей C_1 и C_2 . Импульсно-периодический разряд осуществлялся с частотой 14 кГц между электродами 10. Давление буферного газа (неона) составляло 51 Тор.

Лазер работал следующим образом. От импульсного высоковольтного источника питания 1 заряжалась рабочая емкость C_1 , а от регулируемого импульсного дополнительного источника питания 6 – емкость C_2 . Емкости заряжались через зарядную индуктивность L . Генератор запускающих импульсов 4 включал в себя коммутатор T_2 , который формировал на электродах лазерной трубки 11

А.И.Федоров, В.Ф.Федоров, В.А.Димаки. Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН, Россия, 634021 Томск, пл. Акад. Зуева, 1; e-mail: fedorov@asd.iao.ru

Поступила в редакцию 17 января 2011 г., после доработки – 26 октября 2011 г.

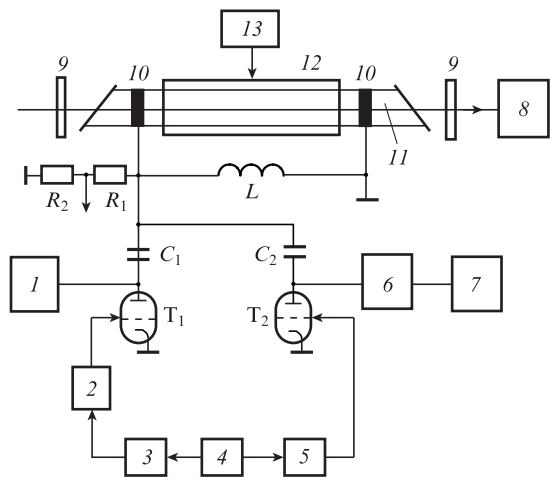


Рис.1. Электрическая блок-схема экспериментальной установки: 1 и 6 – основной и дополнительный высоковольтные импульсные источники питания; 2 и 5 – генераторы запуска основного и дополнительного тиратронов T_1 и T_2 (ТГИ1-1000/25); 3 – схема задержки между основным и дополнительным импульсами возбуждения; 4 – генератор запускающих импульсов; 7 – регулятор напряжения дополнительного источника возбуждения; 8 – измеритель мощности ИМО-2Н; 9 – зеркала плоскопараллельного резонатора; 10 – электроды; 11 – ГРТ; 12 – нагревательная печь; 13 – термостабилизатор; $L = 300$ мкГн – зарядная индуктивность; $C_1 = 2.2$ нФ и $C_2 = 3.3$ нФ – рабочие емкости.

дополнительный импульс возбуждения с регулируемой амплитудой. Параллельно генератор 4 через схему задержки 3 запускал коммутатор T_1 , который формировал на лазерной трубке основной высоковольтный импульс возбуждения с амплитудой 6 кВ. Схема задержки позволяла регулировать время задержки t_d между дополнительным и основным импульсами возбуждения в пределах 0.05–20 мкс. Регулятор амплитуды напряжения 7 дополнительного источника возбуждения 6 обеспечивал изменение амплитуды дополнительных импульсов возбуждения на электродах лазерной трубки от 0.6 до 2 кВ при опережении ими основного импульса на 0.05–20 мкс. Изменение в указанных пределах характеристик управляющего импульса и времени его включения не влияло на параметры основного импульса. Для измерения средней мощности излучения использовался калориметр ИМО-2Н. Амплитудно-временные характеристики дополнительного и основного импульсов возбуждения измерялись осциллографом Tektronix TDS 3032 с делителя напряжения Tektronix P6015A. Мощность основного источника питания составляла 1 кВт, а дополнительного – 0.3 кВт.

3. Результаты экспериментов и их обсуждение

Нами исследовалось управление средней мощностью излучения CuBr-лазера при постоянной мощности импульсов возбуждения и частоте их следования 14 кГц. На ИМО-2Н регистрировалась суммарная средняя мощность излучения 1 Вт на длинах волн $\lambda = 510.6$ и 578.2 нм. На рис.2 показаны осциллограммы дополнительного импульса возбуждения с регулируемой амплитудой U_a и основного импульса с амплитудой ~ 6 кВ при временной задержке между ними 3.2 мкс.

На рис.3 приведены характерные зависимости средней мощности излучения от регулируемой амплитуды дополнительного импульса возбуждения U_a на электродах

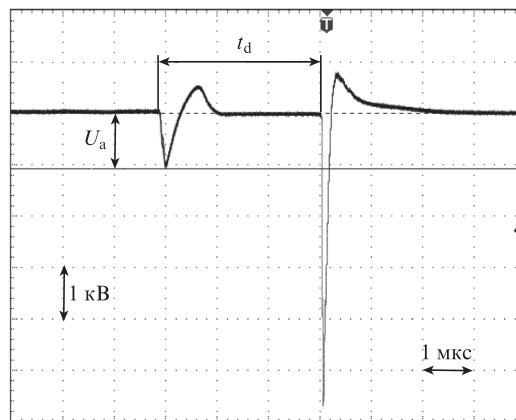


Рис.2. Осциллограммы импульсов возбуждения: дополнительного с амплитудой U_a и основного с постоянной амплитудой при изменяющейся временной задержке между ними t_d .

ГРТ при различных временных задержках t_d . Первые эксперименты показали, что на среднюю мощность излучения влияли как амплитуда U_a , так и временная задержка t_d , однако при $U_a \leq 0.7$ кВ такое влияние отсутствовало. Кроме того, средняя мощность излучения быстрее уменьшалась при $t_d < 1$ мкс в случае меньших амплитуд U_a .

На рис.4 приведены зависимости средней мощности излучения P_{av} от времени задержки между дополнительным и основным импульсами возбуждения t_d и амплитуды напряжения дополнительного импульса возбуждения U_a . На этих зависимостях можно выделить пять характерных временных точек: точка $t_d = 0.12$ мкс, в которой начальная средняя мощность излучения определялась за-

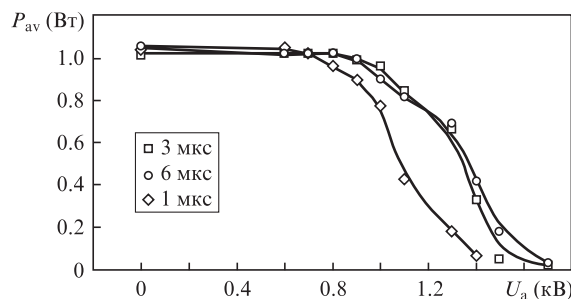


Рис.3. Зависимости средней мощности излучения P_{av} от амплитуды напряжения дополнительного импульса возбуждения U_a для различных временных задержек t_d .

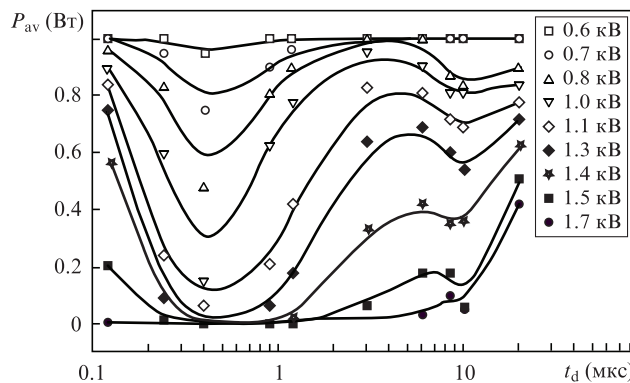


Рис.4. Зависимости средней мощности излучения от времени задержки t_d между дополнительным и основным импульсами возбуждения при различных U_a .

данной амплитудой U_a ; точка $t_d = 0.4$ мкс, соответствующая минимальному времени спада P_{av} до минимального значения для заданных амплитуд U_a ; точка $t_d = 3-6$ мкс, соответствующая времени восстановления P_{av} до максимально возможного значения; точка $t_d = 10$ мкс (время жизни метастабильного лазерного уровня), соответствующая второму спаду P_{av} на небольшую величину, и точка $t_d = 20$ мкс, соответствующая разумному времени восстановления P_{av} до возможного достигаемого значения.

Для временной задержки 0.12 мкс средняя мощность излучения быстро снижалась с увеличением амплитуды дополнительного импульса возбуждения и достигала минимального значения 0.2 Вт при $U_a = 1.5$ кВ. Генерация отсутствовала при $U_a = 1.7$ кВ и появлялась вновь при $t_d > 3$ мкс. При $t_d > 0.12$ мкс средняя мощность излучения резко снижалась и достигала минимального значения независимо от амплитуды U_a при $t_d = 0.4$ мкс. Таким образом, независимо от амплитуды напряжения дополнительного импульса возбуждения при изменении временной задержки от 0.05 до 0.4 мкс средняя мощность излучения быстро снижалась до минимального значения, а затем с дальнейшим ростом временной задержки медленно возрастала. Быстрое снижение средней мощности излучения для $t_d \leq 0.4$ мкс хорошо иллюстрирует процесс заселения метастабильного уровня активной среды CuVg-лазера, а медленное возрастание средней мощности при $t_d \geq 0.4$ мкс, видимо, обусловлено релаксацией населенности нижнего рабочего уровня после прохождения дополнительного импульса возбуждения [4]. Для амплитуд дополнительного импульса 0.6 и 0.7 кВ средняя мощность излучения снижалась до 0.95 и 0.75 Вт при временной задержке $t_d = 0.4$ мкс, а затем с увеличением t_d до 3 мкс она восстанавливалась до первоначального значения (1 Вт). В остальных случаях с ростом амплитуды U_a максимальный спад средней мощности излучения достигался также при $t_d = 0.4$ мкс, а при больших задержках (3–6 мкс) она возрастала до максимального значения. При этом средняя мощность излучения в случае дальнейшего увеличения времени задержки до 20 мкс оставалась все же меньше своего первоначального значения.

Для эффективного управления средней мощностью излучения оптимальными являются режимы работы лазера с амплитудой дополнительного импульса возбуждения 0.7–1.4 кВ при временных задержках до 3 мкс. В этом случае предлагаемый режим управления позволял в 2.5

раза уменьшить время задержки между управляющим и основным импульсами возбуждения за счет большей энергии дополнительного импульса по сравнению с саморазогревным режимом работы лазера [1]. Это означало, что средняя мощность излучения в нашем случае снижалась до нуля за 0.4 мкс, а в саморазогревном режиме – за 1 мкс. Следовательно, в зависимости от практического применения данного лазера можно выбрать требуемый временной режим изменения средней мощности излучения. Амплитуда дополнительных импульсов возбуждения составляла 12%–28% от амплитуды основного импульса.

4. Заключение

В результате проведенных исследований CuVg-лазера с независимым разогревом ГРТ при использовании дополнительного импульса возбуждения найдены оптимальные режимы оперативного управления средней мощностью излучения путем изменения амплитуды и временной задержки между дополнительным и основным импульсами возбуждения. Показано, что для оптимального управления средней мощностью излучения амплитуда напряжения дополнительного импульса должна составлять 12%–28% от амплитуды основного импульса. Определены характерные временные задержки $t_d = 0.4$ и 10 мкс, которым могут соответствовать минимальные значения средней мощности излучения, генерируемого CuVg-лазером. Показано, что быстрое уменьшение средней мощности наблюдалось для $t_d \leq 0.4$ мкс, а ее увеличение – для $0.4 < t_d \leq 3$ мкс. Предлагаемый режим работы лазера, позволял в 2.5 раза уменьшить время задержки между управляющим и основным импульсами возбуждения за счет большей энергии дополнительного импульса возбуждения по сравнению с саморазогревным режимом работы лазера.

1. Скрипченко А.С., Солдатов А.Н., Юдин Н.А. Патент РФ №2082263. Приоритет от 02.04.1992.
2. Юдин Н.А. Патент РФ № 2237955. Приоритет от 13.05.2002.
3. Лепехин Н.М., Присеко Ю.С., Филиппов В.Г. и др. Патент РФ № 2251179. Приоритет от 11.07.2003.
4. Юдин Н.А. *Оптика атмосферы и океана*, 17 (8), 682 (2004).
5. Бохан П.А., Герасимов В.А., Соломонов В.И. и др. *Эффективные газоразрядные лазеры на парах металлов* (Томск: изд-во ИОА СО АН СССР, 1978, с.210).
6. Димаки В.А., Суханов В.Б., Троицкий В.О. *Изв. ТПУ*, 315 (4), 152 (2009).