

# 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 энерговклад 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.

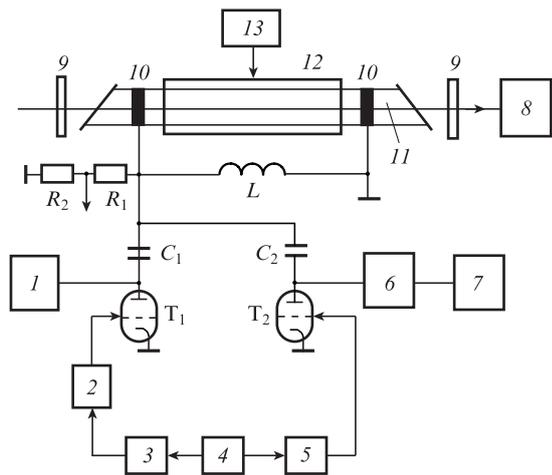


Рис.1. Электрическая блок-схема экспериментальной установки: 1 и 6 – основной и дополнительный высоковольтные импульсные источники питания; 2 и 5 – генераторы запуска основного и дополнительного тиратронов  $T_1$  и  $T_2$  (ТГИ1-1000/25); 3 – схема задержки между основным и дополнительным импульсами 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  $\sim 6$  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

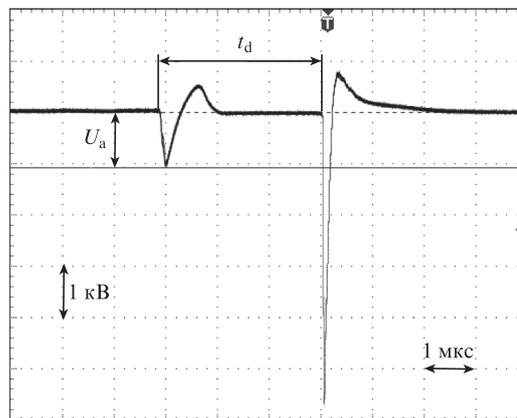


Рис.2. Осциллограммы импульсов возбуждения: дополнительного с амплитудой  $U_a$  и основного с постоянной амплитудой при изменяющейся временной задержке между ними  $t_d$ .

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-

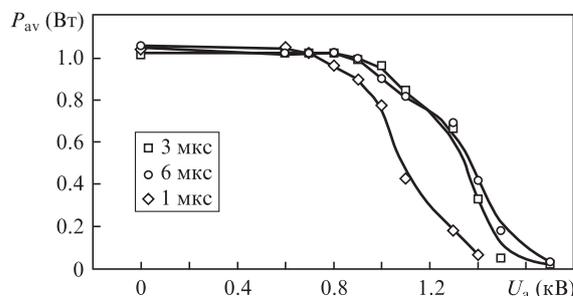


Рис.3. Зависимости средней мощности излучения  $P_{av}$  от амплитуды напряжения дополнительного импульса возбуждения  $U_a$  для различных временных задержек  $t_d$ .

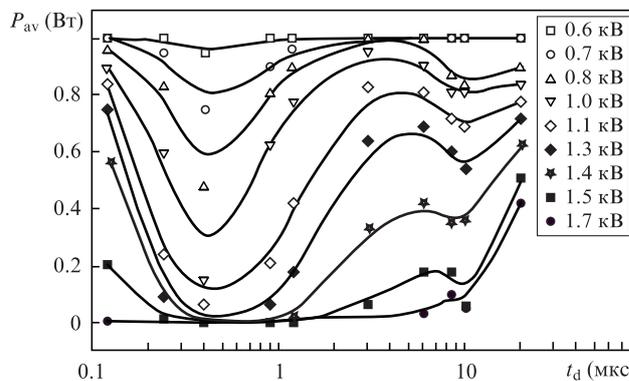


Рис.4. Зависимости средней мощности излучения от времени задержки  $t_d$  между дополнительным и основным импульсами возбуждения при различных  $U_a$ .

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).