

Д.В. Шиянов, Г.С. Евтушенко, В.Ф. Федоров

Частотные характеристики CuBr-лазера

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 14.02. 2000 г.

Проведены экспериментальные исследования частотных свойств CuBr-лазера как непосредственно в режиме регулярных импульсов, следующих с частотой повторения от единиц до сотен кГц, так и в модельном режиме вдвоенных, регулярно повторяющихся с частотой до 30 кГц импульсов, с регулируемой задержкой. Полученные данные свидетельствуют о возможности достижения частот следования импульсов излучения CuBr-лазера более 500 кГц.

Введение

Для ряда практических применений лазеров на парах металлов (ЛПМ), в том числе в некоторых задачах оптики атмосферы, требуются высокие частоты следования импульсов генерации [1, 2]. Типичные значения частот повторения импульсов ЛПМ составляют единицы – десятки килогерц. Работ, в которых достигнуты частоты повторения свыше 50 кГц, относительно мало (см. [3, 4]), а свыше 100 кГц – их вообще единицы [5–8]. Дискуссии о причинах ограничения частоты следования импульсов генерации, начало которым было положено в работах Петраша и Бохана с коллегами [9, 10], продолжают [3, 4, 11, 12]. Не вдаваясь в то, какая из причин является определяющей: высокая предимпульсная концентрация электронов либо недостаточная скорость релаксации метастабильных атомов, отметим, что характерные времена релаксации, приводимые авторами для электронной и атомной компонент, лежат в диапазоне $10^{-5} - 10^{-6}$ с. Следовательно, и предельные значения частот повторения импульсов генерации могут достигать 100 – 1000 кГц. Кстати, в одних из первых работ этих научных групп авторы независимо, на основе анализа результатов, полученных методом вдвоенных импульсов, высказали предположение о возможности достижения частот повторения импульсов излучения ЛПМ ~100 кГц [13, 14].

В своей предыдущей работе [8] мы отмечали, что CuBr-лазер обладает лучшими, по сравнению с Cu-лазером, частотными свойствами, что позволяет достигать частот повторения импульсов генерации до 300 кГц, а возможно и выше. В данной статье описаны исследования предельных частот повторения импульсов накачки с использованием модельного режима накачки. Накачка активной среды CuBr-лазера производилась вдвоенными импульсами, с регулируемой задержкой между ними и следующими с частотой повторения 10–30 кГц. Тем самым, по аналогии с работами [11, 15], мы имели режим вдвоенных импульсов в сочетании с особенностями, свойственными импульсно-периодическому режиму. Такой режим накачки реальнее моделирует режим регулярных импульсов, чем простой метод вдвоенных импульсов.

1. Экспериментальная установка и методика получения данных

В эксперименте использованы газоразрядные трубки (ГРТ) CuBr-лазера, изготовленные из кварца, с диаметром

разрядного канала от 0,6 до 3,0 см и длиной рабочей зоны от 20 до 80 см. Конструкции ГРТ аналогичны описанным в работе [8]. Расстояние между отрезками с контейнерами для бромида меди составляло 10–15 см. Контроль температур отрезков и стенки ГРТ производился с помощью термопар. Предварительная подготовка ГРТ к работе описана ранее [8]. В качестве буферного газа использован спектрально чистый неон при давлениях 30–100 мм рт. ст. В схеме накачки в качестве коммутаторов использовались тиратроны ТГИ-1000/25, таситроны ТГУ1-5/12 и модуляторная лампа ГМИ-34 (в этом случае осуществлялся частичный разряд рабочей емкости на ГРТ). Регистрация импульсов тока и напряжения производилась обычными методами с использованием пояса Роговского и омического делителя, а импульсов генерации – коаксиальным фотоэлементом (ФЭК-19). Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

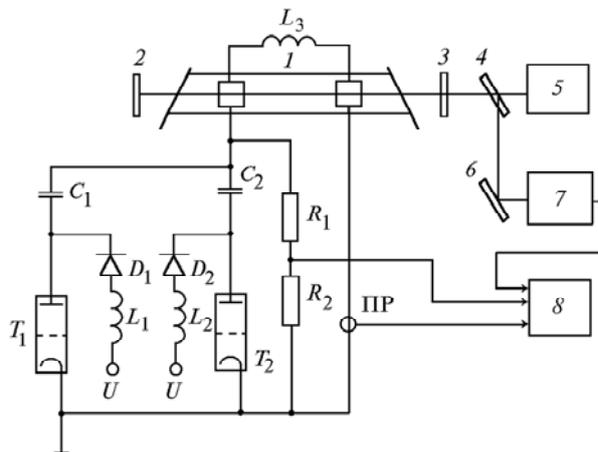


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки: 1 – газоразрядная трубка (ГРТ); 2, 3 – зеркала плоскопараллельного резонатора; 4, 6 – плоскопараллельные пластинки; 5 – измеритель мощности ИМО-2М; 7 – коаксиальный фотоэлемент ФЭК-19; 8 – осциллограф С1-122А; T_1, T_2 – тиратроны ТГИ 1-1000/25; $L_1 = L_2, D_1 = D_2$ – зарядные индуктивности и диоды; L_3 – шунтирующая индуктивность; C_1 и C_2 – рабочие емкости; R_1, R_2 – делитель напряжения; ПР – пояс Роговского

Методика экспериментов по определению максимальных значений частот повторения импульсов генерации CuBr-лазера была следующей. Возбуждение разряда осуществлялось вдвоенными импульсами по схеме прямо-

го разряда рабочих емкостей C_1 и C_2 (см. рис. 1) через ГРТ и коммутаторы T_1 и T_2 соответственно. С помощью задающего генератора можно было регулировать задержку между импульсами от 0,1 до 10 мкс. Предварительно лазер выводился на стабильный режим генерации, которая возникла в первом импульсе, а затем второй импульс смещался относительно первого до появления в нем импульса генерации. Таким способом определялись максимальные значения частот следования импульсов (ЧСИ) для ГРТ различных диаметров. Варьируя значения рабочих емкостей C_1 и C_2 , мы изменяли длительность, амплитуду и форму импульсов накачки. Типичные значения длительностей импульсов накачки составляли порядка 150 нс (по полувысоте).

Данная схема использовалась для работы с регулярно повторяющимися импульсами накачки в области частот от 10 до 50 кГц. Большие частоты накачки (до 300 кГц) были реализованы с коммутатором-таситроном ТГУ1-5/12 (рис. 2). Эта схема накачки (когда ключ K разомкнут) применялась также для реализации режимов «пониженных энергокладов» на высоких частотах следования [16]. При использовании в качестве коммутатора модуляторной лампы ГМИ-34 удается реализовать импульсы возбуждения в 2–3 раза короче, чем в схеме с тиратронами, и в 1,5–2 раза меньше, чем с таситроном. К сожалению, реализовать режим регулярных импульсов с частотой свыше 50 кГц с ламповым коммутатором нам пока не удалось.

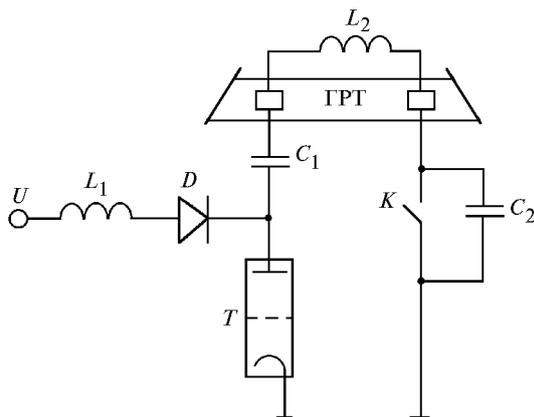


Рис. 2. Упрощенная схема накачки CuBr-лазера на основе таситронного генератора в режиме пониженных энергокладов (ключ K – разомкнут). L_2 – шунтирующая индуктивность; C_2 – добавочная емкость меньшая C_1 ; K – вакуумное реле

2. Результаты экспериментов и их обсуждение

Определение предельных значений ЧСИ CuBr-лазера с ГРТ, имеющими диаметр разрядного канала от 0,6 до 3 см, свидетельствует, что для самой узкой трубки диаметром 0,6 см (длиной 20 см) максимальное значение ЧСИ составляет 160 кГц. При этом вводимая удельная мощность в единицу объема составила 70 Вт/см³. Ввод таких больших величин приводит к чрезмерной ионизации и перегреву активной среды и, как следствие, к снижению максимальных ЧСИ [8, 12]. Для ГРТ диаметром 1 см и длиной 35 см удельная вводимая мощность меньше – 16 Вт/см³, а максимальная ЧСИ – 200 кГц. Самое высокое значение модельной ЧСИ (с тиратронным генератором) получено для ГРТ диаметром 1,6 см и длиной 40 см. В этом случае напряжение на вы-

прямителе составило 3 кВ, средний ток – 160 мА при емкостях $C_1 = 2$ нФ, $C_2 = 0,47$ нФ. Удельная мощность при этом составила 6 Вт/см³, минимальная задержка между импульсами генерации τ равнялась 3 мкс, что соответствует ЧСИ 333 кГц. Осциллограммы импульсов напряжения, тока и генерации приведены на рис. 3.

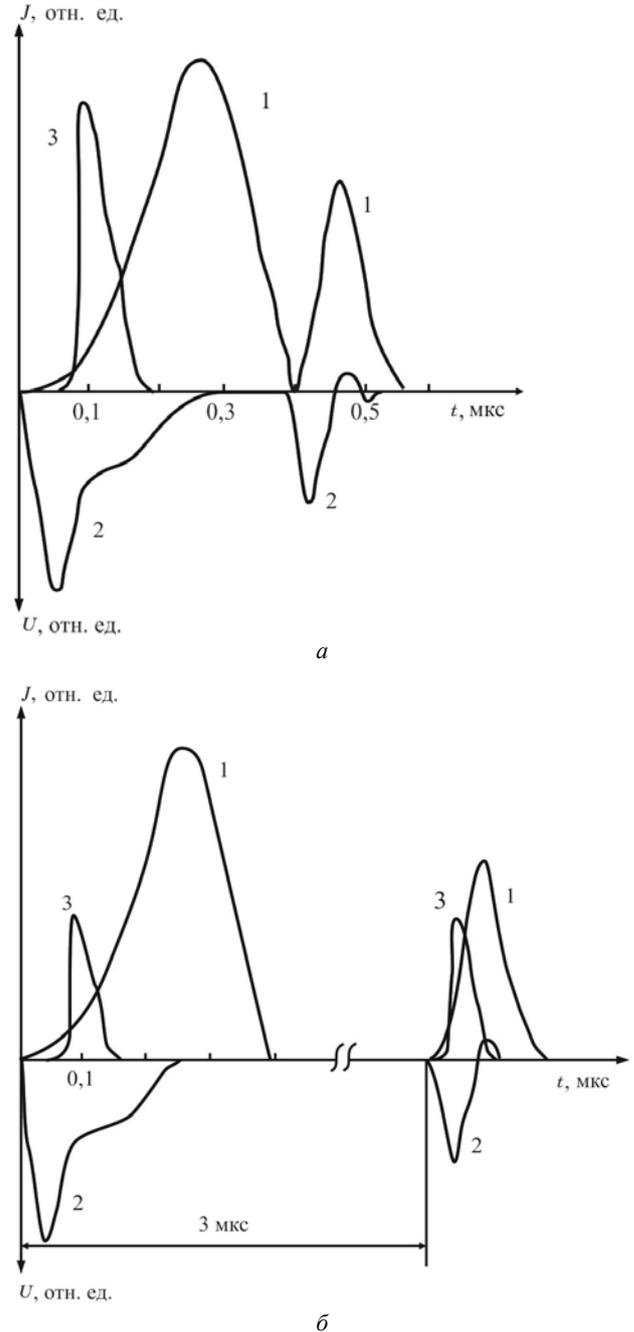


Рис. 3. Осциллограммы импульсов тока (J), напряжения (U) и генерации (3) CuBr-лазера при накачке двоекными импульсами. Диаметр ГРТ 1,6 см, длина – 40 см, $p_{Nc} = 30$ мм рт. ст. Частота следования регулярных импульсов 10 кГц: a – задержка между импульсами $\tau = 0$ мкс; b – $\tau = 3$ мкс

Как видно из рисунка, энергия, вводимая в разряд в первом импульсе, в 3 раза превышает энергию, вводимую во втором. Генерация во втором импульсе реализуется и при

обратном соотношении вводимых удельных мощностей, однако максимальные значения ЧСИ реализуются именно в указанном выше случае. По-видимому, это объясняется тем, что часть энергии первого импульса более эффективно расходуется на диссоциацию молекул бромида меди.

Значения «модельных» максимальных ЧСИ хорошо коррелируют со значениями частот, полученными в реальном импульсно-периодическом режиме. Так, максимальное значение частоты повторения импульсов излучения в регулярных импульсах накачки (300 кГц) было получено в трубке диаметром 1,4 см и длиной 25 см, для ГРТ диаметром 0,8 см (длиной 40 см) – 270 и для ГРТ диаметром 0,4 см (длиной 30 см) – 160 кГц [8].

Следует отметить, что нам не удалось, работая с титрантным генератором, в полной мере оптимизировать параметры возбуждения, диссоциации, теплового режима и т.д. В частности, для получения высоких ЧСИ необходимо дальнейшее укорочение импульсов возбуждения до величин порядка длительности существования инверсии.

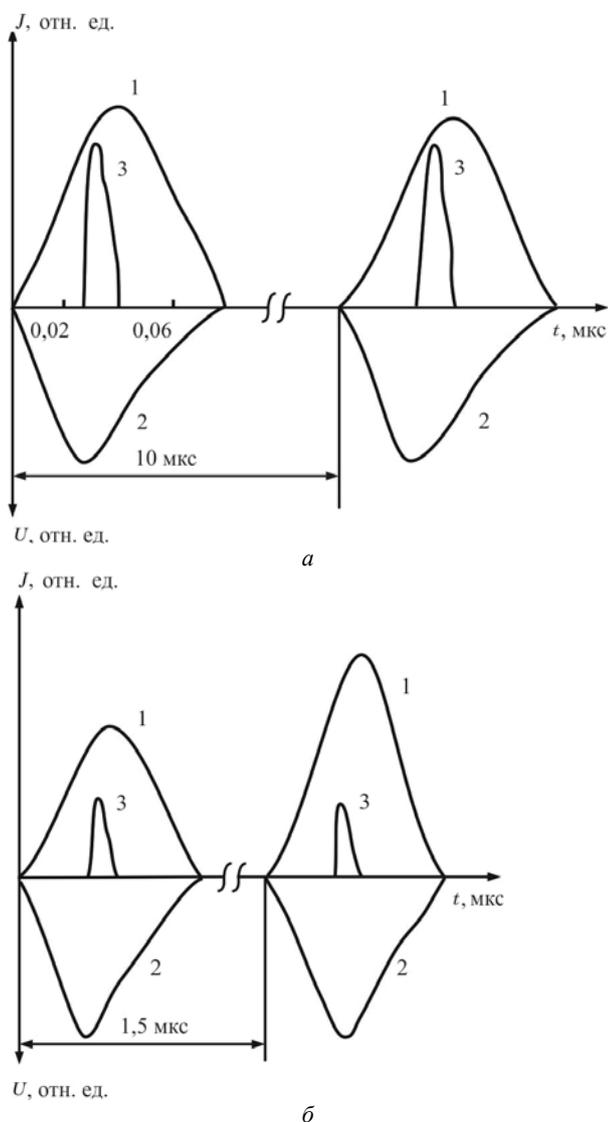


Рис. 4. Импульсы тока (1), напряжения (2) и генерации (3) при накачке CuVr-лазера ламповым коммутатором. Диаметр ГРТ – 2,5 см, длина – 80 см, $p_{\text{Ne}} = 30$ мм рт. ст. Частота следования регулярных импульсов 30 кГц: а – задержка между импульсами $\tau = 10$ мкс; б – $\tau = 1,5$ мкс

Используя в схеме накачки в качестве коммутатора модуляторную лампу ГМИ-34, нам удалось снизить длительность импульсов возбуждения (по полувысоте) до 40 нс. В этом случае в ГРТ диаметром 2,5 см и длиной 80 см, при частоте следования регулярных импульсов 30 кГц, минимальная задержка между двумя импульсами накачки (при которой генерация реализуется в обоих импульсах) достигает 1,5 мкс. Это соответствует максимальной ЧСИ более 660 кГц. Осциллограммы такого режима работы CuVr-лазера проведены на рис. 4.

К сожалению, технические трудности ввода малых энерговыкладов с ламповым коммутатором не позволили нам осуществить накачку ГРТ малых диаметров (1–1,5 см), в которых максимальная ЧСИ должна быть выше. Вместе с тем проведенный эксперимент свидетельствует, что режим высоких частот реализуем в трубках средних (а возможно и больших) диаметров. И это определяется энергией и скоростью ее ввода в активную среду.

Заключение

Таким образом, экспериментальные исследования частотных свойств CuVr-лазера, проведенные в режиме сдвоенных регулярно повторяющихся с частотой до 30 кГц импульсов накачки, свидетельствуют о возможности достижения частот следования импульсов излучения CuVr-лазера свыше 500 кГц. Режим высоких частот (свыше 100 кГц) может быть реализован не только в узких трубках (~ 1 см), но и в ГРТ больших диаметров (~ 2 см) и объемах (~ 1 л), при условии быстрого ввода энергии и малых энерговыкладов за импульс.

Авторы выражают свою признательность РФФИ, при поддержке которого стала возможной эта работа (грант № 99-02-17016а), профессору Г.Г. Петрашу за внимание к работе, а также В.Б. Суханову и В.М. Климкину за полезные дискуссии.

- Евтушенко Г.С. // Известия вузов. Физика. 1999. Т. 42. № 8. С. 89–96.
- Евтушенко Г.С., Клишкин В.М. // Оптика атмосферы и океана. 1999. Т. 12. № 9. С. 875–884.
- Батенин В.М., Бучанов В.В., Казарян М.А., Климовский И.И., Молодых И.Э. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов. М.: РФФИ, 1998. 544 с.
- Little C.E. Metal Vapour Lasers. Physics, Engineering & Applications. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK. 1998. 620 p.
- Falen T.S. // IEEE J. Quant. Electron. 1977. V. 13. № 3. P. 546–547.
- Солдатов А.Н., Федоров В.Ф. // Известия вузов. Физика. 1983. Т. 26. № 9. С. 80–84.
- Евтушенко Г.С., Полунин Ю.П., Федоров В.Ф. // Журнал прикладной спектроскопии. 1987. Т. 46. № 6. С. 1009–1011.
- Евтушенко Г.С., Петраш Г.Г., Суханов В.Б., Федоров В.Ф. // Квантовая электроника. 1999. Т. 28. № 3. С. 220–222.
- Петраш Г.Г. // Успехи физических наук. 1971. Т. 105. № 4. С. 645–676.
- Бохан П.А., Герасимов В.А., Соломонов В.И., Щеглов В.Б. // Квантовая электроника. 1978. Т. 5. № 10. С. 2162–2173.
- Бохан П.А., Закревский Д.Э. // Журнал технической физики. 1997. Т. 67. № 5. С. 54–62.
- Петраш Г.Г. Процессы, определяющие достижимую частоту повторения импульсов в импульсных лазерах на парах металлов и их соединений. М., 1999. 36 с. (Препринт ФИАН. № 28).
- Исаев А.А., Казарян М.А., Петраш Г.Г. // Краткие сообщения по физике. 1973. № 2. С. 27–29.
- Бохан П.А., Соломонов В.И. // Квантовая электроника. 1973. № 6. С. 53–57.

15. Исаев А.А., Михельсоо В.Т., Петраш Г.Г., Петт В.Э., Пономарев И.В., Трещалов А.Б. // Квантовая электроника. 1988. Т. 15. № 12. С. 954–961.

16. Евтушенко Г.С., Петраш Г.Г., Суханов В.Б., Федоров В.Ф., Шиянов Д.В. // Квантовая электроника. 2000. (В печати).

D.V. Shiyarov, G.S. Evtushenko, V.F. Fedorov. Frequency characteristics of CuBr laser.

Frequency peculiarities of CuBr laser have been studied experimentally both at regular pulses repetition frequency from units to hundreds of kHz and at modeled doubled regular pulses repetition frequency up to 30 kHz with controlled delay of the pulses. The obtained evidences demonstrate a possibility for the CuBr laser radiation to achieve the pulses repetition frequency exceeding 500 kHz.