

А.Н. Солдатов<sup>1,2,3</sup>, А.Г. Филонов<sup>1,3</sup>, А.В. Васильева<sup>1,2,3</sup>

## Исследование работы Sr-лазера при высоких частотах повторения импульсов

<sup>1</sup> Томский государственный университет<sup>2</sup> Западно-Сибирский филиал Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства,<sup>3</sup> Сибирский физико-технический институт им. акад. В.Д. Кузнецова, при ТГУ, г. Томск

Поступила в редакцию 22.12.2005 г.

Исследована работа лазера на самоограниченных переходах в атомах (6,45 мкм) и однозарядных ионах стронция (1,03 и 1,09 мкм) в широком диапазоне частот следования импульсов. Экспериментально полученная частота следования является рекордной и составляет 100 кГц.

Среди обширного класса источников когерентного излучения, существующих в настоящее время, лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов (ЛПМ) занимают особое место вследствие уникального сочетания выходных параметров: большая пиковая и средняя мощности излучения, наносекундная длительность импульса, дифракционная расходимость излучения, высокая частота повторения импульсов.

Одной из областей перспективного использования ЛПМ является атмосферная оптика: спектроскопия и газоанализ атмосферных газов, дистанционное зондирование реальной атмосферы с целью определения ее параметров. Так как ЛПМ являются типичными представителями класса импульсно-периодических лазеров, то перспективы повышения выходных характеристик этих лазеров в первую очередь связаны с повышением частоты следования импульсов (ЧСИ) генерации [1]. Работа в области высоких частот повторения (десять–сотни кГц) открывает принципиально новые возможности практического использования ЛПМ, в том числе и в современных атмосферно-оптических устройствах (локаторы бокового обзора, визуальные навигационные устройства, лазерная компьютерная графика в атмосфере и т.д.). Вместе с тем следует отметить, что область высоких частот следования импульсов накачки ЛПМ исследована недостаточно. Получение высоких частот следования импульсов генерации ЛПМ актуально не только в прикладном плане, но и для исследования физических процессов, ограничивающих частотные и энергетические характеристики этих лазеров. Целью данной работы являлось исследование лазера на парах стронция при высоких ЧСИ.

### 1. Экспериментальная установка и методика эксперимента

Исследование проводилось с газоразрядной трубкой диаметром 5 мм и активной длиной 150 мм. Активный объем лазера ограничивался стенками ке-

рамической трубки из BeO, а по торцам трубки — электродами. Вакуумная оболочка была выполнена из плавящего кварца, окна — из кристалла BaF<sub>2</sub>. Испарители со стронцием распределялись равномерно по всему каналу газоразрядной трубки. В качестве буферного газа использовали неон при давлении 60 мм рт. ст. Блок-схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

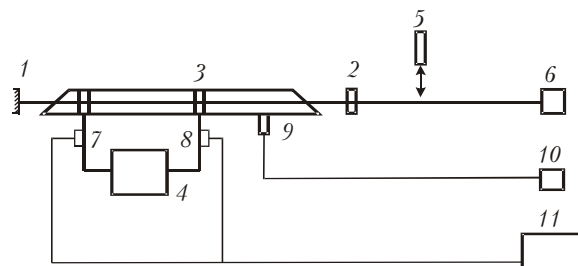


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки: 1 — глухое зеркало; 2 — прозрачная пластинка из BaF<sub>2</sub>; 3 — газоразрядная трубка; 4 — источник питания; 5 — фильтры; 6 — calorиметрический измеритель мощности ИМО-2Н; 7, 8 — измерители напряжения и тока; 9 — термопара; 10 — милливольтметр; 11 — осциллограф С1-75

Плоскопараллельный резонатор был образован глухим алюминиевым зеркалом 1 и прозрачной пластинкой из BaF<sub>2</sub> 2. Источник питания формировал высокое импульсное напряжение на газоразрядной трубке (ГРТ). В схеме накачки в качестве коммутаторов использовался таситрон типа ТГУ1-5/12. Контроль импульсов тока и напряжения осуществлялся осциллографом С1-75, сигналы на который подавались с пояса Роговского и делителя напряжения. Вкладываемая мощность в газоразрядную трубку была постоянной, выпрямленное напряжение  $U$  равнялось 3 кВ, ток  $I$  — 150 мА. Средняя мощность излучения фиксировалась calorиметрическим измерителем мощности ИМО-2Н. Для исследования спектрального состава генерации использовались два светофильтра 5: СЗС-8, пропускающий блок трехмикронных линий, и СЗС-20, пропускающий лазерное излучение на ионных линиях 1,03 и 1,09 мкм.

## 2. Расчет температуры газа

Температура газа  $T_g$  относится к важным параметрам газоразрядной плазмы. В частности,  $T_g$  в лазерах на парах металлов определяет тепловую заселенность метастабильных состояний, задающих порог инверсии в активной среде. Температура газа определяется средней величиной энерговыклада в разрядную камеру, ее конструктивными особенностями, а также теплопроводностью буферного газа.

Распределение температуры газа на оси газоразрядной трубки при условии равномерного тепловыделения вдоль разрядного канала и во времени записывается следующим выражением [2]:

$$T_g(0) = \left[ T_{ст}^{B+1} + \frac{3\delta W_n(B+1)}{8\pi A} \right]^{1/(B+1)}$$

Здесь предполагается, что теплопроводность газа аппроксимируется выражением  $K = AT_g^B$  (для неона  $A = 8,96 \cdot 10^{-6}$  Вт/(см · К<sup>1,683</sup>),  $B = 0,683$ );  $T_{ст}$  — температура стенок ГРТ;  $W_n$  — средняя погонная мощность (мощность, вводимая на единицу длины трубки);  $\delta$  — доля погонной мощности, затрачиваемая на нагрев газа. На основании экспериментальных данных при расчете полагалось, что доля вкладываемой мощности, идущая на нагрев газа, уменьшается с увеличением частоты следования импульсов. Кроме того, было отмечено, что температура стенки с ростом частоты уменьшалась, но незначительно.

Температура газа рассчитывалась при постоянном вкладе мощности в ГРТ для различных частот повторения импульсов. На рис. 2 приведена зависимость температуры газа от ЧСИ. Видно, что с повышением ЧСИ температура газа на оси ГРТ уменьшается. Несмотря на то что вклад мощности остается постоянным, уменьшается энерговыклад в отдельном импульсе при повышении частоты следования импульсов.

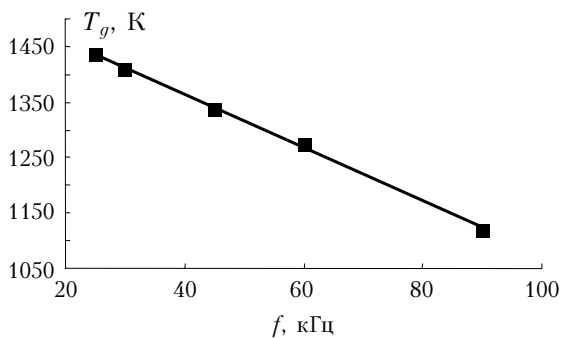


Рис. 2. Изменение температуры газа на оси газоразрядной трубки при увеличении ЧСИ

Результаты расчета показывают, что с увеличением ЧСИ накачки поперечная неоднородность распределения температуры газа и паров стронция уменьшается, что при прочих равных условиях приводит к улучшению поперечной однородности разряда и уменьшению предимпульсных микрохарактеристик плазмы.

## 3. Основные результаты

В ходе экспериментов генерация наблюдалась на длине волны излучения атома стронция  $\lambda = 6,4567$  мкм ( $5p^1P_1^0 - 4d^1D_2$ ) и двух линиях иона стронция с  $\lambda = 1,0917$  мкм ( $4p^65p^2P_{1/2}^0 - 4p^64d^2D_{3/2}$ ) и  $1,0330$  мкм ( $4p^65p^2P_{3/2}^0 - 4p^64d^2D_{5/2}$ ). Генерация в области трехмикронного излучения — с  $\lambda = 3,0665$  ( $4d^3D_1 - 5p^3P_2^0$ ) и  $3,0111$  мкм ( $4d^3D_2 - 5p^3P_2^0$ ) отсутствовала. Это можно объяснить согласно [4]: метастабильный уровень  $5p^3P_2^0$  ( $\lambda \sim 3$  мкм) расположен в шкале энергий значительно ниже, чем метастабильный уровень  $4d^1D_2$  ( $\lambda \sim 6,45$  мкм), поэтому тепловое заселение нижнего лазерного уровня  $5p^3P_2^0$  выше, чем уровня  $4d^1D_2$ , что повышает порог генерации для  $\lambda \sim 3$  мкм; при повышении температуры стенки доля генерации на линиях 3,01 и 3,06 мкм существенно снижается, а при превышении  $T_{ст} = 700$  °С — исчезает. При анализе зависимости средней мощности генерации от ЧСИ возбуждения в диапазоне от 20 до 100 кГц не было отмечено отчетливого максимума на какой-либо частоте (рис. 3). На основе оценок можно предположить, что ЧСИ, равная 100 кГц, не является предельной.

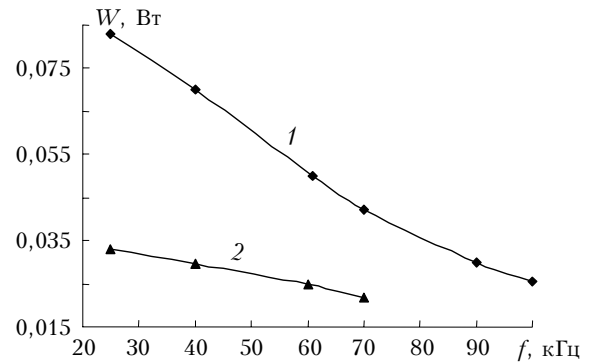


Рис. 3. Зависимость средней мощности генерации на всех переходах одновременно (1) и на  $\lambda \sim 1$  мкм (2) от ЧСИ возбуждения

Ранее для лазера на парах меди было показано, что для увеличения ЧСИ генерации необходимо уменьшать паразитное влияние накопительных эффектов в плазме импульсно-периодического разряда [3]. В нашем случае для Sr-лазера это достигается снижением энерговыклада в каждом импульсе при сохранении средней мощности накачки. Инверсия, необходимая для превышения порога генерации, формируется для высоких частот за более продолжительное время, и импульс генерации смещается на задний фронт импульса тока (рис. 4).

Увеличение частоты возбуждающих импульсов приводит не только к укорочению импульса генерации, но и к снижению его энергии. При частоте следования импульсов возбуждения 25 кГц длительность импульса генерации по полувысоте составляет 70 нс, в то время как при частоте 60 кГц она была уже в два раза меньше. Максимально достигнутая ЧСИ генерации в проведенных экспериментах составила 100 кГц.

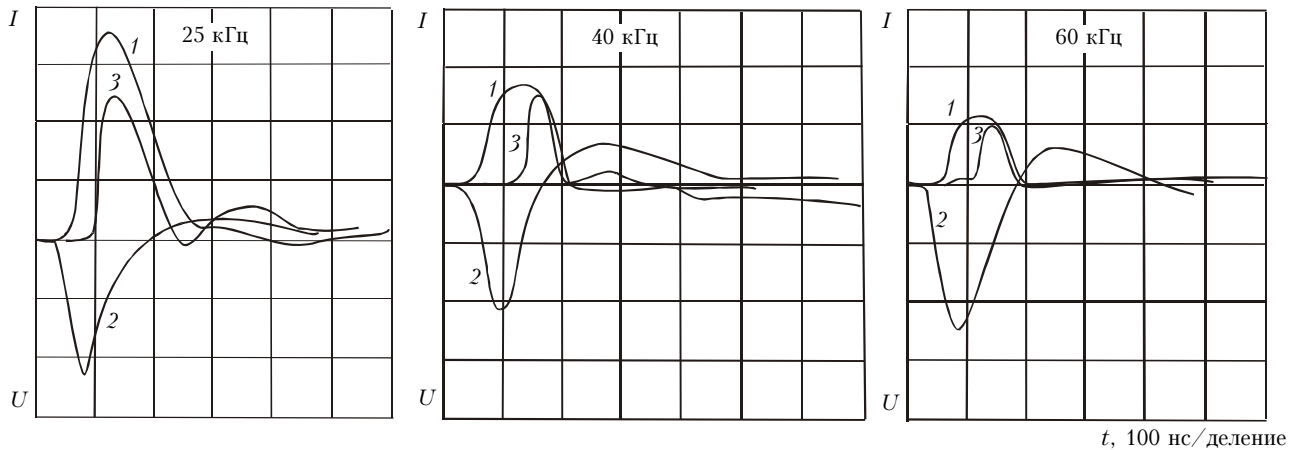


Рис. 4. Осциллограммы импульсов тока (1), напряжения (2) и импульсов генерации (3) при разных ЧСИ возбуждения

### Заклучение

Проведено экспериментальное исследование Sr-лазера с диаметром газоразрядного канала 5 мм и активной длиной 150 мм в диапазоне ЧСИ от 20 до 100 кГц.

Произведен расчет температуры газа в зависимости от частоты следования импульсов возбуждения. С ростом ЧСИ уменьшаются температура газа неона, а также поперечная неоднородность распределения его температуры.

В Sr-лазере достигнута максимальная частота следования импульсов генерации, которая составила 100 кГц.

Полученные на сегодняшний день рекордные энергетические характеристики в лазере на парах стронция (а именно: суммарная мощность генерации 13,5 Вт с энергией в импульсе 1,16 мДж [5]) указывают на актуальность и перспективность проведения дальнейших исследований с целью повышения энергетических характеристик излучения лазера на парах SrI и SrII при высоких частотах следования импульсов. Данный эксперимент с лазером на парах стронция явился начальной стадией по про-

движению в область высоких ЧСИ, на основании которого можно сделать вывод, что достигнутая частота следования импульсов 100 кГц не является предельной.

1. Солдатов А.Н., Соломонов В.И. Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов. Новосибирск: Наука, 1985.
2. Галкин А.Ф., Климовский И.И. Влияние радиальной неоднородности плазмы на характеристики генерации импульсно-периодических лазеров на парах меди с продольным разрядом. Препр. / ИВТАН (М.). 1987. № 5-220. С. 4.
3. Солдатов А.Н. Лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов с управляемой генерацией: Автореф. дис... д.ф.-м.н. Томск: ТГУ, 1996. 337 с.
4. Горбунова Т.М., Солдатов А.Н., Филонов А.Г. О механизме формирования инверсии на инфракрасных переходах атома SrI и иона SrII // Оптика атмосф. и океана. 2004. Т. 17. № 2–3. С. 262–265.
5. Soldatov A.N., Polunin Yu.P., Shumeiko A.S., Sidorov I.V. Record Output Energy Parameters of a SrI and SrII-Vapor Laser // The 7-th Int. Symp. Laser Physics and Laser Technologies. Tomsk, Russia, 20–24 December 2004. P. 202–207.

*A.N. Soldatov, A.G. Filonov, A.V. Vasil'eva. Experimental investigation of high PRR strontium-vapor laser operation.*

An experimental investigation of Sr-vapor laser operation with high pulse repetition rate was carried out. The preliminary laser results obtained suggest that the pulse repetition rate in the Sr-vapor laser can be increased considerably by matching the power supply with the load.