

Лазерная система «генератор—усилитель» на парах стронция со средней мощностью более 20 Вт

А.Н. Солдатов^{1,2}, А.Г. Филонов³, Ю.П. Полунин¹, А.В. Васильева^{1,2*}

¹ Томский государственный университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Западно-Сибирский филиал Российского государственного университета
инновационных технологий и предпринимательства
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

³ Институт оптики атмосферы СО РАН
634055, г. Томск, пл. акад. Зуева, 1

Поступила в редакцию 27.03.2008 г.

Приведены результаты исследования временных, пространственных и энергетических характеристик лазерной системы, состоящей из генератора и усилителя мощности на основе активных элементов лазера на парах стронция. Рассмотрены вопросы повышения эффективности работы такой системы. При суммарной мощности генерации 21 Вт распределение по длинам волн было следующим: 6,456 мкм — 15 Вт, 3 мкм — 5 Вт, 1 мкм — 1 Вт. Максимальная средняя мощность генерации составляла 22 Вт.

Ключевые слова: лазер на парах стронция, генератор-усилитель.

Введение

Лазер на парах стронция (ЛПС) является эффективным источником лазерного излучения в ИК-диапазоне ($\lambda \sim 6,456; 3$ и 1 мкм) [1]. Высокие достижимые средние и пиковые значения мощности генерации позволяют применять лазеры для атмосферных исследований, а также для обработки материалов [2]. Эффективность применения лазеров зависит от энергетических характеристик излучения и от его качества, т.е. от расходимости, однородности и стабильности излучения.

Выходную мощность лазера можно повысить за счет увеличения активного объема, а также создания системы «генератор—усилитель». Результаты работы по увеличению активного объема [3] показали возможность существенного увеличения как энергии в импульсе, так и средней мощности излучения. Однако повышение мощности излучения за счет увеличения объема активной среды сдерживается техническими трудностями создания более мощных источников возбуждения, а также снижением эксплуатационных характеристик самих активных элементов. Исходя из этого, была рассмотрена работа системы «генератор—усилитель», которая также позволяет улучшать и энергетические, и качественные характеристики излучения.

Экспериментальная установка

Схема лазерной экспериментальной установки представлена на рис. 1.

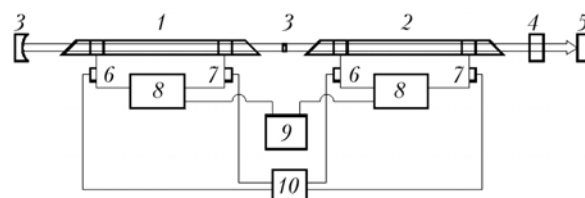


Рис. 1. Система «генератор—усилитель»: 1 — газоразрядная трубка генератора; 2 — газоразрядная трубка усилителя; 3 — неустойчивый резонатор телескопического типа; 4 — блок фильтров; 5 — измеритель мощности; 6 — токовый шунт; 7 — делитель напряжения; 8 — источник питания; 9 — задающий генератор; 10 — осциллограф

В качестве задающего генератора 1 и усилителя мощности 2 были использованы лазерные активные элементы на парах стронция. Задающий генератор представлял собой цилиндрическую газоразрядную трубку (ГРТ) объемом $V = 540$ см³ и внутренним диаметром $D = 2,5$ см. В качестве буферного газа использовалась смесь He и Ne, давление 100 мм рт. ст. Неустойчивый резонатор телескопического типа 3 состоял из глухого зеркала радиусом кривизны 1,8 м и выходного зеркала диаметром 2 мм и радиусом кривизны 0,1 м. В качестве усилителя использовалась ГРТ с активным объемом 650 см³ и $D = 3$ см.

Разогрев и возбуждение активных элементов осуществлялись с помощью импульсных источников питания 8, в которых в качестве коммутатора ис-

* Анатолий Николаевич Солдатов (general@tic.tsu.ru); Александр Григорьевич Филонов (gel@asd.iao.ru); Юрий Петрович Полунин; Анна Викторовна Васильева (anita@tic.tsu.ru).

пользовался тиратрон ТГИ1-1000/25. Запуск модуляторов осуществлялся задающим генератором 9 с регулируемой задержкой между каналами, позволяющей синхронизировать работу системы «генератор–усилитель». Частота следования импульсов возбуждения могла изменяться в пределах 14÷24 кГц. Средняя мощность излучения фиксировалась измерителем мощности Nova-II. Для регистрации импульсов тока использовался низкоомный шунт, напряжение регистрировалось с помощью делителя, сигналы подавались на осциллограф Tektronix TDS 2012. Форма импульсов генерации регистрировалась фотоприемниками ФСГ-22 и ФЭК-24.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Эффективная работа системы «генератор–усилитель» предполагает, во-первых, получение от генератора излучения с малой (близкой к дифракционной) расходимостью; во-вторых, оптимизацию момента прохождения импульса генератора через усилитель. Расходимость излучения формировалась с помощью неустойчивого резонатора телескопического типа. Так как длительность суммарного импульса генерации (как от генератора, так и от усилителя) составляла ~ 350 нс (рис. 2,а), то доля излучения с дифракционной расходимостью должна быть высока, поскольку известно, что относительно большая длительность импульса генерации соответствует большому числу проходов излучения по резонатору.

В нашем случае в системе «генератор–усилитель» доля излучения с дифракционной расходимостью составляла 75% от суммарной мощности генерации, что соответствует и более ранним исследованиям [4].

Особенностью работы лазера на парах стронция является его генерация на нескольких длинах волн. Наиболее эффективно генерация осуществляется на линии SrI 6,456 мкм. Генерация на других линиях также представляет как теоретический, так и практический интерес. Выделение фильтрами линий генераций позволило определить временное положение импульсов генерации на длинах волн ~ 1 и ~ 3 мкм в суммарном импульсе генерации (рис. 2). Несколько линий SrI в области 3 мкм образуют

импульс генерации (рис. 2,б). Длительность импульса по основанию составляет 250 нс.

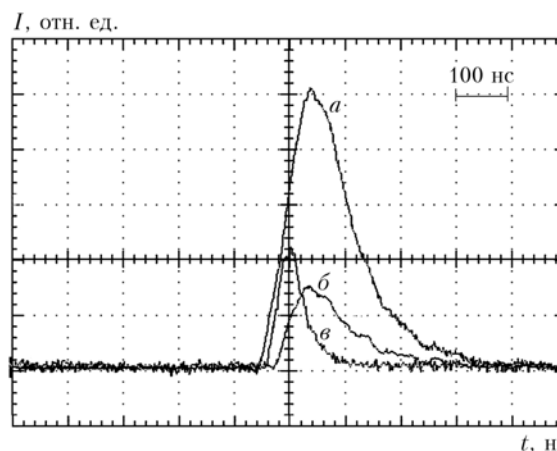


Рис. 2. Форма импульса генерации лазера на парах стронция: *a* – суммарный импульс генерации; *b* – импульс генерации 3 мкм, *c* – 1 мкм

Следующий импульс (рис. 2,в) образован генерацией на переходах SrII в области 1 мкм, длительность которого составляет 150 нс по основанию, что также достаточно для эффективной работы неустойчивого резонатора. Таким образом, характеристики излучения позволяют сформировать излучение с расходимостью, близкой к дифракционной, с высокой эффективностью для всех длин волн.

Работа системы «генератор–усилитель» предполагает оптимизацию импульса излучения генератора и импульса возбуждения усилителя. При этом существенную роль играет пространственное и временное согласование импульса генерации по диаметру разрядного канала. В нашем случае это важно, поскольку величина диаметра достигала 3 см. Существенная роль отводится также относительной величине временного сдвига импульса по поперечному сечению пучка. Естественно, что наибольший вклад в рассогласование возбуждения активной среды должна вносить неодновременность самого разряда [5].

Представленные на рис. 3 экспериментальные результаты показывают изменение формы импульсов

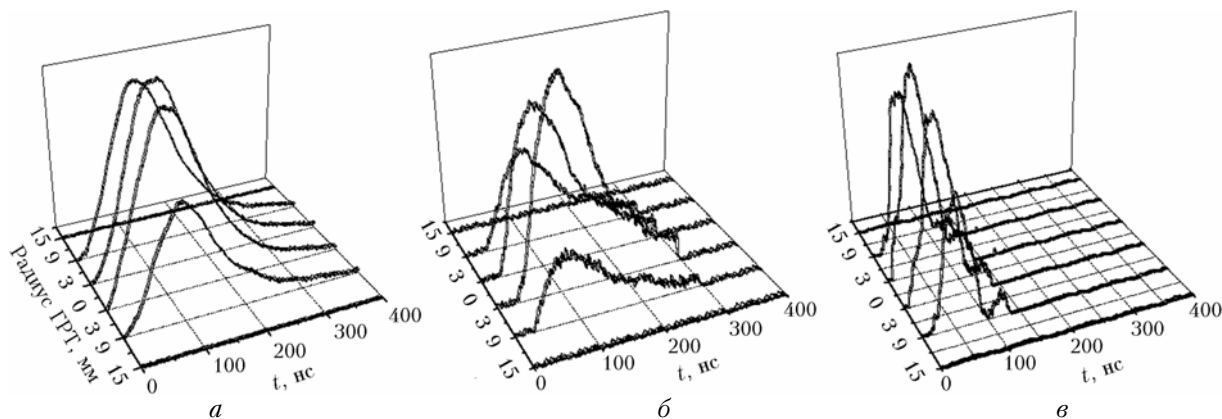


Рис. 3. Изменение формы импульса генерации по диаметру газоразрядного канала: *a* – суммарный импульс генерации; *b* – импульс 3-микронного, *c* – 1-микронного излучения

линий генерации по диаметру разрядного канала и их временное положение.

Измерения проводились с помощью диафрагмы и фотоприемников. Излучение суммарного импульса (рис. 3,а), импульса 3-микронной линии генерации (рис. 3,б) и импульса 1-микронной линии генерации (рис. 3,в) равномерно заполняет апертуру активного объема, при этом приосевая область опережает пристеночную примерно на 15 нс.

Эксперименты показали, что различие как временного положения импульсов линий генерации, так и их длительностей в многоволновом режиме работы лазера обеспечивает временное согласование импульсов накачки генератора и усилителя и высокую стабильность работы системы.

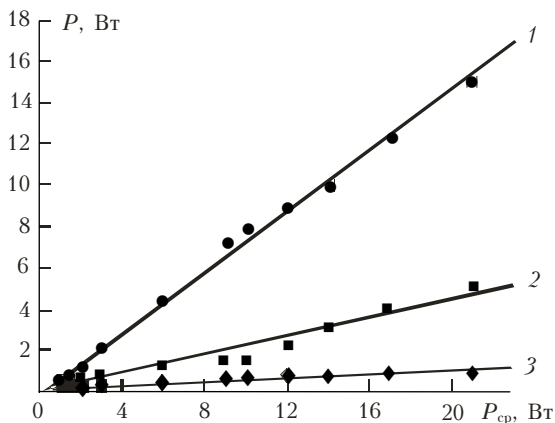


Рис. 4. Распределение средней мощности генерации по спектральным линиям в системе «генератор–усилитель»: 1 – мощность генерации на линии 6,456 мкм; 2 – суммарная мощность генерации на блоке линий 3 мкм, 3 – 1 мкм

На рис. 4 показано распределение мощности излучения по длинам волн.

Заключение

Исследования показали высокую эффективность системы «генератор–усилитель» в парах стронция на лазерных переходах SrI и SrII. Установлено пространственное и временное распределение импульсов генерации в различных спектральных областях. Показано, что в условиях эксперимента реализуется равномерное заполнение излучением апертуры активного объема для всех линий генерации. Временное и пространственное согласование работы генератора и усилителя позволило получить стабильную генерацию в многоволновом режиме. При суммарной мощности генерации 21 Вт распределение по длинам волн имеет следующий вид: 6,456 мкм – 15 Вт, ~3 мкм – 5 Вт, ~1 мкм – 1 Вт, максимальная средняя мощность генерации равнялась 22 Вт.

1. Soldatov A.N., Filonov A.G., Shumeiko A.S., Kirilov A.E., Ivanov B., Haglund R., Mendenhall M., Gabella B., Kostadinov I. A Sealed-off Strontium-Vapor Laser // Proc. SPIE. 2004. V. 5483. P. 252–261.
2. Солдатов А.Н., Соломонов В.И. Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов. Новосибирск: Наука, 1985. 149 с.
3. Soldatov A.N., Filonov A.G., Polunin Yu.P., Kirilov A.E., Sidorov I.V., Ermolaev A.P., Kuznetsova A.V. A research laser system for resonance ablation of materials // Proc. VII Int. Conf. «Atomic and molecular pulsed lasers». Tomsk, 12–16 September, 2005. P. 59.
4. Солдатов А.Н., Филонов А.Г., Фофанов А.А. Исследование расходимости излучения лазера на парах стронция // Тез. докл. на Симпозиуме «Лазеры на парах металлов» (ЛПМ-2002). Лос-Анжелес, 24–26 сентября 2002 г. Ростов-на-Дону, 2002. С. 59.
5. Елаев В.Ф., Мельченко В.С., Поздеев В.В., Солдатов А.Н. Влияние радиальной неоднородности газоразрядной плазмы на параметры генерации медного лазера // Эффективные газоразрядные лазеры на парах металлов. Томск: Изд. ИОА СО АН СССР, 1978. С. 179–188.

A.N. Soldatov, A.G. Filonov, Yu.P. Polunin, A.V. Vasilieva. A master oscillator-power amplifier system based on a 20 W average power strontium-vapor laser.

Results of investigations into the time, space, and energy characteristics of a master oscillator-power amplifier system based on a strontium-vapor laser are presented. The experimental evidence suggests that the system under consideration holds much promise for high lasing efficiency average power operation. The space and time separation of the laser lines involved was determined. In our experimental conditions, the working aperture is uniformly filled with laser radiation for all lasing lines. Good timing of the oscillator and amplifier outputs made it possible to obtain stable multiple-wavelength laser action. For a total laser power of 21 W, the output power was found to be distributed over the operating wavelengths in the following way: 15 W at $\lambda = 6.45 \mu\text{m}$, 5 W at $\lambda \sim 3 \mu\text{m}$, and 1 W at $\lambda \sim 1 \mu\text{m}$. The peak average power was 22 W. Ways of improving the lasing efficiency of the master oscillator-power amplifier system are discussed.