

ИСТОЧНИКИ И ПРИЕМНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 621.373.826

**Конструкция активного элемента на самоограниченных
переходах атомов металлов**

**В.Ф. Федоров¹, М.В. Тригуб¹, К.Ю. Семенов²,
Д.В. Шиянов¹, В.В. Власов^{1*}**

¹*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30*

Поступила в редакцию 22.05.2019 г.

Разработана новая конструкция активного элемента на парах металла. Ее отличительная особенность — разделение функций создания паров и возбуждения атомов металла между различными источниками. Пары металла образуются за счет индукционного нагрева дозатора, расположенного вне активной зоны. Возбуждение осуществляется за счет коммутации высоковольтного импульса накачки. Работоспособность конструкции была проверена при возбуждении атомов меди. В условиях независимого нагрева дозатора получена устойчивая генерация на линиях 510,6 и 578,2 нм при частоте следования импульсов возбуждения 15 кГц.

Ключевые слова: источники излучения, лазеры на парах металлов, конструкция активного элемента, индукционный нагрев; *light sources, metal vapor lasers, active element construction, inductor heating.*

Введение

Лазеры на парах металлов используются для решения ряда практических задач. Пример — высокоскоростная визуализация процессов, экранированных фоновым излучением, с помощью активных оптических систем с усилителями яркости [1, 2]. Повышение эффективности активных сред на парах чистых металлов и их галогенидов — одна из важнейших задач, ее успешное решение расширит возможности лазеров на самоограниченных переходах атомов металлов и систем на их основе.

Отличительной особенностью активных сред на парах чистых металлов является так называемый режим саморазогрева, когда необходимое давление паров рабочего вещества создается за счет энергии источника возбуждения [3]. В этом режиме энергия разряда, скорость нарастания которого должна быть достаточно высокой, одновременно осуществляет разогрев активной зоны лазера и возбуждение атомов металла. Это во многом объясняет низкие частотно-энергетические характеристики активных сред и высокие требования к импульсам возбуждения. Снижение энерговклада от импульса возбуждения в среду за счет независимого нагрева канала

газоразрядной трубки (ГРТ) в совокупности с обеспечением рабочей концентрации паров металла — один из результативных методов повышения КПД лазера [4], его частоты следования импульсов (ЧСИ) [5] и формирования импульсов генерации нужной формы [6, 7].

В качестве независимых нагревателей активной среды ранее использовались спирали из высокотемпературной проволоки [8], намотанной на керамический вкладыш, а также специальные печи, в которых помещались ГРТ [9]. В [10] нами показана возможность работы лазера на парах меди с индукционным нагревом рабочей зоны. Внутри ГРТ такого лазера находится керамический вкладыш, на который надет графитовый нагреватель. Разогрев графита производится от наружного индуктора, что приводит к нагреву керамической трубки, в канал которой помещается медь.

Несмотря на полученную генерацию, предложенная конструкция имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, расположение графитовой трубки на керамике создает паразитную емкость, образованную трубкой и внешним индуктором. Увеличение паразитной емкости приводит к росту напряженности поля, при которой происходит пробой промежутка. В экспериментах значение пороговой напряженности составляло 1000 В/см, несмотря на то, что ранее [7] нами была показана возможность работы лазера при напряженности 30 В/см. Во-вторых, наблюдается быстрый вынос металла из рабочей зоны лазера, что негативно сказывается на сроке его службы.

* Валерий Федорович Федоров (qel@mail.ru); Максим Викторович Тригуб (trigub@iao.ru); Константин Юрьевич Семенов (qel@iao.ru); Дмитрий Валерьевич Шиянов (qel@asd.iao.ru); Василий Васильевич Власов (vlasov_vas_vas@mail.ru).

В настоящей статье приводится описание новой конструкции активного элемента на парах чистых металлов. Ее работоспособность проверяется в эксперименте.

Описание конструкции

Конструкция ГРТ и схема экспериментальной установки приведены на рис. 1. Использование индукционного нагрева для независимой подачи паров металлов в рабочую зону ГРТ позволяет исключить недостатки лазера с продольным нагревателем активной среды.

Активный элемент имеет двухсекционную конструкцию. Рабочий канал 1 представляет собой вкладыш, выполненный из составной бериллиевой керамики. Центральная часть вкладыша помещена в дозатор рабочего вещества из графита 8. Катодные электроды 5, 6 сделаны из электродов от лампы ИФП. Анодный электрод 7 находится в дозаторе паров металла. Для испарения металла используется внешний индуктор 9.

Экспериментальная проверка работоспособности конструкции

Для возбуждения активной среды использовалась традиционная схема прямого разряда накопительного конденсатора на ГРТ [11] через тиратрон. Мощность источника питания составляла 800 Вт, при этом напряжение питания — 4 кВ, ЧСИ коммутации тиратрона — 15 кГц, а емкость накопительных конденсаторов — 680 пФ. Мощности, вкладываемой в активную среду, было достаточно для под-

держания теплового режима. Рабочий канал активного элемента имел длину 140 мм (длина каждого бериллиевого вкладыша 70 мм) и диаметр 5 мм. В качестве буферного газа использовался неон, давление 20 торр. Включение нагревателя дозатора приводило к появлению генерации. Электрические характеристики разряда измеряли с помощью датчика тока Person TM 8450, датчика напряжения Tektronics P6015A и осциллографа LeCroy Wave Jet 324. Импульсы излучения регистрировались коаксиальным фотоэлементом ФК-19. Осциллограммы импульсов напряжения, тока и генерации изображены на рис. 2.

Получение высоких мощностей генерации предполагает высокую концентрацию атомов металла в активной зоне, что обеспечивается за счет повышения температуры дозатора. Это, в свою очередь, приводило к постепенному увеличению концентрации примесей, испаряющихся из графита дозатора. В результате через некоторое время наблюдался срыв генерации. Восстановление работоспособности активного элемента требовало замены буферного газа, что является препятствием для разработки отпаянной конструкции активного элемента. Поэтому, чтобы сохранить чистоту разряда, наши эксперименты проводились при низкой концентрации паров рабочего вещества, когда генерация только начинала наблюдаться. Пробой активной среды наступал при напряженности поля 535 В/см. Амплитуда импульса тока возбуждения достигала 200 А. При этом наблюдалась стабильная генерация в импульсно-периодическом режиме с сохранением энергетических характеристик.

Отличительная особенность предложенной конструкции — необходимость накачки обеих секций. Для отключения одной из секций во время работы

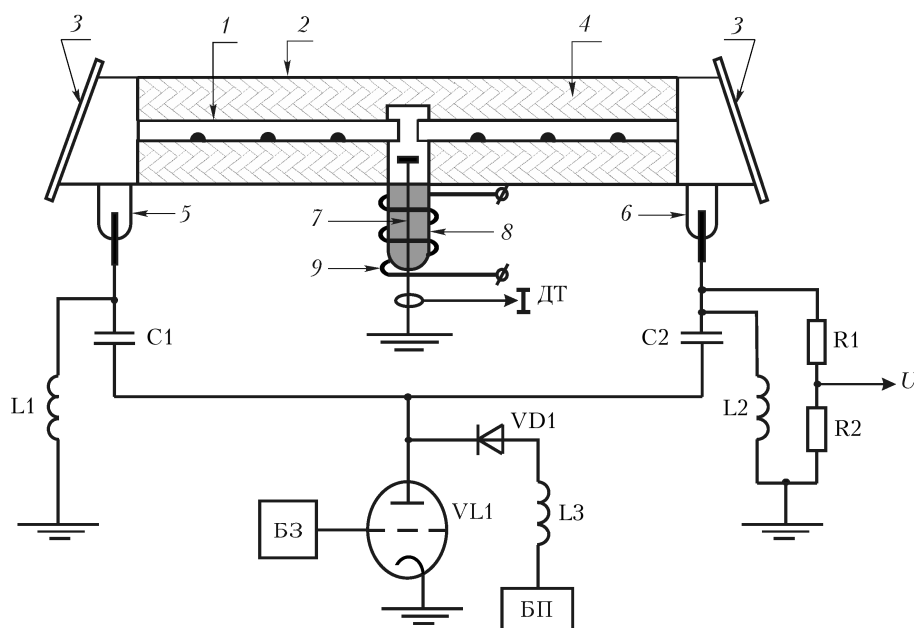


Рис. 1. Конструкция активного элемента и экспериментальной установки: 1 — рабочий канал; 2 — кварцевая вакуумная оболочка; 3 — выходные окна; 4 — теплоизолятор (ZrO₂); 5, 6 — катодные электроды левой и правой секций; 7 — анодный электрод; 8 — дозатор паров рабочего вещества (меди); 9 — индуктор; БЗ — блок запуска; БП — блок питания; ДТ — датчик тока

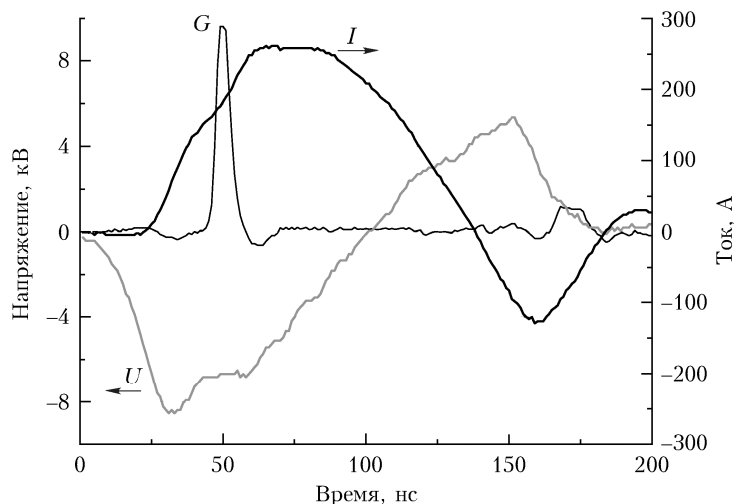


Рис. 2. Осциллограммы импульсов напряжения U , тока I и генерации G для лазера на парах меди с индукционным дозатором рабочего вещества

лазера использовалось высоковольтное вакуумное реле, расположенное между тиратроном VL1 и конденсатором С1. При размыкании контактов реле оставалась работать только одна секция. Этот эффект объясняется низкой плотностью паров меди в рабочей зоне вблизи дозатора. При выключении одного рабочего канала уменьшалась его температура и происходил моментальный вынос паров в этот канал.

Результаты и обсуждение

Результаты наших экспериментов показали, что предложенная конструкция ГРТ работоспособна и может использоваться для исследования процессов возбуждения атомов металлов, рабочие температуры которых достигают 1500 °С [12]. Имея в виду тот факт, что рабочие температуры активных сред на парах таких металлов, как Eu, Sr, Ba, Pb, значительно ниже температуры среды на парах Cu (600–1000 °С), в качестве материала для нагревателя в дозаторе рабочего вещества можно использовать металлы, исключаяющие газовыделение при температурах менее 1000 °С в отличие от графитового нагревателя. Однако летучесть перечисленных металлов выше летучести меди, и срок службы активных элементов на парах этих элементов в лучшем случае составляет несколько сотен часов [13], что делает их мало пригодными для решения практических задач. Предложенная в работе конструкция активного элемента позволит увеличить срок его службы. Очевидным преимуществом конструкции является возможность увеличения объема металла, помещаемого в дозатор, что положительно сказывается на сроке службы активного элемента. Для повышения частотно-энергетических характеристик активных сред предполагается использование при изготовлении дозатора очищенных материалов. В случае использования высокотемпературных металлов (медь, марганец и др.) нагреватель должен быть предварительно обезгажен при температурах, превышающих рабочую температуру лазера (~1600 °С).

Заключение

Предложенная конструкция активного элемента на парах металла с индукционным нагревом дозатора позволяет получать стабильную генерацию. Она имеет ряд преимуществ перед распространенной саморазогревной конструкцией с металлом в разрядной зоне. Независимая подача паров металла позволяет изменять их концентрацию и, следовательно, мощность излучения без изменения энерговклада от источника возбуждения. Изменение же энерговклада от источника питания не меняет температурный режим дозатора, а значит, и концентрацию атомов металла в активном объеме. Разделение функций возбуждения и испарения металла между различными источниками дает возможность исследовать кинетику процессов, протекающих в межимпульсный период.

Работоспособность активного элемента проверена для атомов меди, на переходах которых была получена устойчивая генерация. Недостатком предложенной конструкции является необходимость использования при изготовлении дозатора чистых материалов для исключения загрязнения разрядного промежутка.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта государственного задания № АААА-А17-117021310150-0.

1. *Оптические системы с усилителями яркости* / под ред. Г.Г. Петраша // Тр. ФИАН. М.: Наука, 1991. Т. 206. 152 с.
2. Trigub M.V., Platonov V.V., Fedorov K.V., Evtushenko G.S., Osipov V.V. CuBr laser for nanopowder production visualization // Atmos. Ocean. Opt. 2016. V. 29, iss. 4. P. 376–380. DOI: 10.1134/S1024856016040151.
3. *Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов*. В 2 т. Т. 1 / под ред. В.М. Батенина. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 544 с.
4. Солдатов А.Н., Федоров В.Ф., Юдин Н.А. Эффективность лазера на парах меди с частичным разрядом на

- копительной емкости // Квант. электрон. 1994. Т. 21, № 8. С. 733–734.
5. Солдатов А.Н., Федоров В.Ф. Лазер на парах меди с частотой следования импульсов до 230 кГц // Изв. вузов. Физика. 1983. Т. 26, № 9. С. 80–84.
 6. Солдатов А.Н. Физика и техника лазеров на парах меди с управляемыми параметрами // Оптика атмосф. и океана. 1993. Т. 6, № 6. С. 650–658.
 7. Федоров В.Ф., Шиянов Д.В., Федоров К.В., Евтушенко Г.С., Торгаев С.Н., Кулагин А.Е. Комбинированный слаботочный разряд в лазере на парах меди // Журн. теор. физ. 2016. Т. 86, вып. 9. С. 113–116.
 8. Бохан П.А., Герасимов В.А. Авт. свидет. № 755136. Приоритет от 9.01.1979.
 9. Бохан П.А., Букова Е.С., Кияшкина Г.С., Клишкин В.М., Соломонов В.И. Техника исследований положительного столба газового разряда при высоких температурах // ПТЭ. 1974. № 1. С. 160–161.
 10. Федоров В.Ф., Тригуб М.В., Шиянов Д.В., Евтушенко Г.С. Лазеры на парах металлов с индукционным нагревом рабочей зоны // Оптика атмосф. и океана. 2018. Т. 31, № 3. С. 203–206.
 11. Тригуб М.В., Огородников Д.Н., Димаки В.А. Исследование источника накачки лазера на парах металлов с импульсным зарядом рабочей емкости // Оптика атмосф. и океана. 2014. Т. 27, № 12. С. 1112–1115.
 12. Little C.E. Metal Vapor Lasers: Physics, Engineering & Applications. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd., 1998. 620 p.
 13. Соколов В.Г., Филонов А.Г., Шиянов Д.В. Сравнение параметров генерации Ne + Eu- и He + Eu-лазеров // Оптика атмосф. и океана. 2019. Т. 32, № 2. С. 168–171; Sokolov V.G., Filonov A.G., Shiyonov D.V. The comparison of lasing parameters of Ne + Eu and He + Eu lasers // Atmos. Ocean. Opt. 2019. V. 32, N 3. P. 366–370.

V.F. Fedorov, M.V. Trigub, K.Yu. Semenov, D.V. Shiyonov, V.V. Vlasov. **The construction of the metal vapor active element.**

The construction of the active element on metal vapor is presented. Functions of creating metal vapor and their excitation are divided between two different sources. Metal vapors are formed by induction heating of the dispenser which is located outside of the active zone. The excitation is carried out due to the commutation of the high-voltage pump pulse. The efficiency of the construction was investigated. The laser generation on copper atoms were obtained. Under conditions of independent heating of the dispenser, stable lasing was obtained on the lines 510.6 nm and 578.2 nm at a pumping pulse repetition rate of 15 kHz.