

Физическая аппаратура и ее элементная база

УДК 621.3

Промышленный лазер на базе отпаянных активных элементов серии KULON на парах меди (LT-10 Cu), золота (LT-1,5 Au), смеси паров золота и меди (LT-Au-Cu)

И. С. Колоколов, В. И. Клименко, Н. А. Лябин, Г. М. Парамонова, А. Д. Чурсин
ФГУП «НПП "Исток"», г. Фрязино, Московская обл., Россия

М. А. Казарян

Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

Н. М. Лепёхин, Ю. С. Присеко, В. Г. Филиппов
ЗАО "ОЭП ВЭИ", г. Истра, Московская обл., Россия

Представлены результаты разработки и устройство промышленного лазера на самоограниченных переходах атомов металлов. Приведены основные технические характеристики саморазогревных лазерных отпаянных активных элементов на парах меди, золота, смеси паров золота и меди серии KULON, результаты ресурсных испытаний активных элементов на парах меди, а также полученные при проведении типовых испытаний основные технические параметры наиболее мощных лазерных элементов данной серии. Разработанный промышленный лазер выполнен в виде моноблока с габаритными размерами 1250×330×190 мм и массой не более 46 кг. Охлаждение — принудительное, воздушное.

В настоящее время источники лазерного излучения находят все более широкое применение: в технологии (разделение изотопов и получение особо чистых веществ, прецизионная обработка металлов, лазерная микроскопия), в технике (накачка лазеров на красителях, локация и зондирование атмосферы, навигация), в медицине (дерматология и косметология, ангиопластика, онкология и др.), а также для научных исследований. Резкое развитие и расширение областей применения источников лазерного излучения вызвали необходимость разработки и изготовления промышленных лазеров, обладающих определенными требованиями к техническим характеристикам работы таких изделий. Эти требования связаны, в первую очередь, с увеличением ресурса, надежности и улучшением массогабаритных показателей лазерного комплекса в целом.

Удовлетворение этих требований для лазеров названного выше типа в настоящее время стало возможным в связи с началом выпуска нового поколения отечественных промышленных отпа-

янных саморазогревных (за счет энергии, выделяющейся в разряде) активных элементов на парах меди и золота [1], а также в связи с появлением доступной современной полупроводниковой элементной базы.

Устройство промышленного лазера

Предприятиями ФГУП "НПП «Исток»" (г. Фрязино) и ЗАО "ОЭП ВЭИ" (г. Истра) разработан промышленный лазер на базе отпаянных саморазогревных активных элементов серии KULON. Лазер состоит из излучателя, содержащего активный элемент с плоскосферическим резонатором, и источника питания, который обеспечивает в автоматическом режиме выход активного элемента на рабочий режим и его стабильную работу в номинальном режиме.

Конструктивно промышленный лазер разработан в виде моноблока и имеет горизонтальную компоновку, которая приведена на рис. 1 (вид сверху).

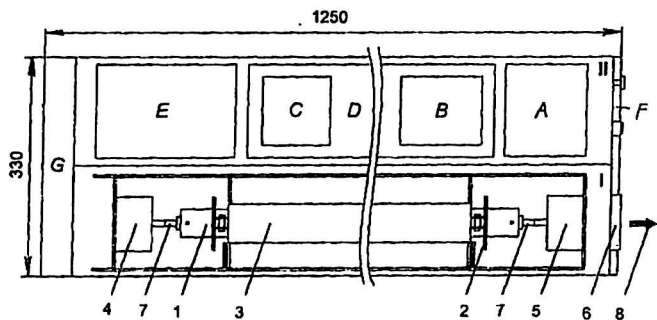


Рис. 1. Компоновка промышленного лазера на базе отпаянных активных элементов серии KULON:

- 1 — излучатель; 1 — лазерный активный элемент; 2 — узел крепления активного элемента; 3 — тепловой экран;
- 4 — юстировочный механизм заднего зеркала резонатора;
- 5 — юстировочный механизм переднего зеркала резонатора;
- 6 — узел крепления механической шторки; 7 — пылезащитная трубка; 8 — направление лазерного излучения;
- II — источник питания: A — входной блок питания; B — блок выпрямителя и резонансного преобразователя; C — трансформаторно-выпрямительный блок; D — зарядное устройство; E — генератор наносекундных импульсов; F — панель управления; G — блок вентиляторов

Все типы моделей активных элементов серии KULON представляют собой газоразрядную трубку с рабочим каналом из Al_2O_3 -керамики различного диаметра и длины, которая помеща-

ется внутрь отпаянной металлостеклянной вакуумплотной оболочки большего диаметра, служащей корпусом активного элемента. Рабочий канал газоразрядной трубки и коаксиально расположенный корпус активного элемента разделены слоем теплоизолятора. Металлические части корпуса активного элемента являются выводами электродных узлов рабочего канала.

Внешний вид всех типов моделей активных элементов серии KULON представлен на рис. 2, массогабаритные характеристики приведены в табл. 1, а основные технические характеристики — в табл. 2.

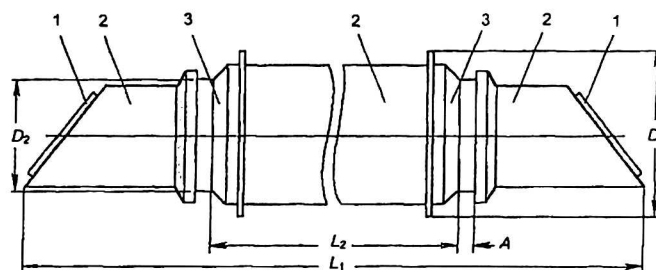


Рис. 2. Внешний вид моделей активных элементов серии KULON:

- 1 — выходные лазерные окна; 2 — корпус активного элемента; 3 — металлические выводы электродных узлов

Таблица 1

МАССОГАБАРИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛЕЙ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Тип модели	L_1 , мм	L_2 , мм	D_1 , мм	D_2 , мм	A, мм	Масса, кг
LT-1 Cu	330	157	84	55	14	1
LT-1,5 Cu	360	192	84	55	14	1
LT-3 Cu	600	328	100	73	14	2,5
LT-5 Cu	600	328	100	73	14	2,6
LT-1 Au	600	328	100	73	14	2,6
LT-6 Cu	770	480	140	90	19	5
LT-10 Cu	770	495	100	73	14	3,3
LT-1,5 Au	770	495	100	73	14	3,3
LT-Au-Cu	770	495	100	73	14	3,3

Таблица 2

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДЕЛЕЙ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Тип модели активного элемента	Лазерная среда	Давление буферного газа (неон), торр	Длина волны излучения, нм	Максимальная средняя мощность излучения, Вт	Процентное содержание мощности на длинах волн, 510,6/578,2/628 нм	Оптимальная частота следования импульсов, кГц	Длительность импульсов излучения, нс	Диаметр разрядного канала, мм	Длина разрядного канала, мм	Расходимость (резонатор плоско-сферический), мрад	Потребляемая мощность, кВт	Время готовности (при номинальной потребляемой мощности), мин
LT-1 Cu	Пары меди	600	510,6 578,2	1,4	60/40/0	15—18	10—15	7	140	6	0,65	25
LT-1,5 Cu		600	510,6 578,2	2,0	60/40/0	15—18	10—15	7	175	5,5	0,75	25

Окончание табл. 2

Тип модели активного элемента	Лазерная среда	Давление буферного газа (неон), торр	Длина волны излучения, нм	Максимальная средняя мощность излучения, Вт	Процентное содержание мощности на длинах волн, 510,6/578,2/628 нм	Оптимальная частота следования импульсов, кГц	Длительность импульсов излучения, нс	Диаметр разрядного канала, мм	Длина разрядного канала, мм	Расходимость (резонатор плоско-сферический), мрад	Потребляемая мощность, кВт	Время готовности (при номинальной потребляемой мощности), мин
LT-3 Cu	Пары меди	450	510,6 578,2	6,0	64/36/0	14—17	17—20	12	340	6	1,15	45
LT-5 Cu		300	510,6 578,2	9,0	64/36/0	14—17	17—20	14	340	6,5	1,25	50
LT-6 Cu		300	510,6 578,2	15,0	62/38/0	10—12	20—25	20	470	7	1,7	50
LT-10 Cu		300	510,6 578,2	17,0	60/40/0	14—17	17—20	14	490	4,5	1,4	50
LT-1 Au	Пары золота	300	627,8	1,3	0/0/100	14—17	15—18	14	340	6	1,4	50
LT-1,5 Au		300	627,8	1,8	0/0/100	14—17	15—18	14	490	4	1,9	60
LT-Au-Cu	Пары золота и меди	300	510,6 578,2 627,8	7,4	53/38/9	14—17	17—20	14	490	4	1,7	60

Следует отметить, что конструкция моноблока и технические параметры источника питания позволяют осуществить накачку трех наиболее мощных активных элементов (LT-10 Cu, LT-1,5 Au, LT-Au-Cu), имеющих одинаковые габаритно-присоединительные размеры, без каких-либо переделок лазера. Разработана также конструкция излучателя, в которой могут быть установлены и все другие типы активных элементов.

Источник питания лазера содержит входной блок питания (ВБП), зарядное устройство (ЗУ), которое объединяет блок выпрямителя и резонансного преобразователя (БВРП) с трансформаторно-выпрямительным блоком (ТВБ), а также генератор наносекундных импульсов.

ВБП обеспечивает общее питание лазера и необходимые уровни напряжений собственных нужд. БВРП — источник постоянного напряжения на неуправляемых диодах и одноктный резонансный преобразователь, выполненный на мощных биполярных транзисторах с изолированным затвором мощностью до 2,5 кВт. ТВБ — импульсный высоковольтный трансформатор, на выходе которого установлена последовательная цепочка импульсных диодов.

ЗУ обеспечивает резонансный моноимпульсный заряд емкостного накопителя генератора наносекундных импульсов со стабилизацией уровня зарядного напряжения с точностью $\pm 2\%$, защиту элементов генератора от токов к. з. и перенапряжений при х. х. Посредством изменения уровня зарядного напряжения производится регулировка выходной мощности источника питания в соответствии с требованиями по энергопотреблению.

Генератор наносекундных импульсов выполнен в виде тиратронно-магнитного формирователя импульсов (ТМФИ). Принципиальная

электрическая схема генератора приведена на рис. 3, его конструктивное исполнение подробно описано в [2]. ТМФИ содержит тиратронный коммутатор (ТГИ) с элементами обеспечения работоспособности тиратрона, импульсный подмодулятор (ИП) для обеспечения формирования поджигающего импульса на сетке тиратрона, а также двухзвенную линию сжатия на ферритах. Накопительные конденсаторы ТМФИ соединены по схеме удвоения напряжения (схеме Блюмляйна).

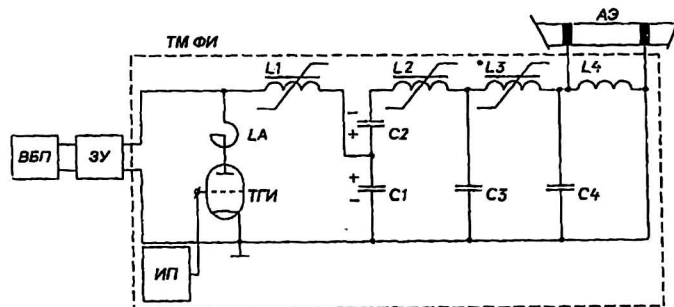


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема генератора

В магнитных звеньях сжатия ТМФИ происходит последовательная передача энергии от накопительных конденсаторов к активному элементу с одновременным сжатием импульса во времени. Величины емкостей накопительных конденсаторов ТМФИ C1 и C2 (см. рис. 3) и емкость C3 второго звена сжатия соотносятся как 1:0,95:0,4. Величина емкости конденсатора C2 равна 1000 пФ.

В качестве тиратронного коммутатора в ТМФИ может использоваться как обычный тиратрон (например, ТГИ1-1000/25), так и тиратрон тетродной конструкции типа ТГИ2-1000/25К (производство ИПО "Плазма", г. Рязань). Особен-

ность ИП при применении тиратрона тетродной конструкции — введение в устройство ИП обратных связей, обеспечивающих как косвенный контроль концентрации зарядов в катодно-сеточной области тиратронного коммутатора, так и контроль уровня напряжения на элементах ТМФИ и всего источника питания, что повышает надежность работы как тиратронного коммутатора, так и лазерного комплекса в целом.

Результаты испытаний

При проведении испытаний промышленного лазера регистрировались напряжение на аноде тиратрона, форма и амплитуда импульса тока первого накопительного конденсатора, импульс тока накачки через активный элемент, мощность на выходе выпрямителя и средняя мощность генерации. Вычислялся практический КПД лазерного комплекса (для импульсно-периодических лазеров практический КПД определяется как отношение средней мощности генерации к мощности, потребляемой от выпрямителя [3]).

На рис. 4, а и б представлены осциллограммы тока и напряжения, когда в качестве активного элемента в составе промышленного лазера применена модель LT-10 Cu. Эксперименты показывают, что по сравнению с однозвенным вариантом [2] амплитуда тока через тиратрон уменьшена до 120 А (т. е. уменьшена в 2,5 раза), а длительность, напротив, увеличена до 350 мкс (т. е. увеличена в 2,5 раза). При этом уменьшение амплитуды и увеличение длительности анодного тока через тиратронный коммутатор, обусловленные введением анодного реактора La

и первоначально ухудшающие параметры импульсов накачки, компенсируются введением в ТМФИ второго звена сжатия. Таким образом достигается существенное снижение потерь энергии в тиратронном коммутаторе при одновременном сохранении эффективности накачки активного элемента на прежнем уровне. Снижение потерь тиратронного коммутатора подтверждено в ходе эксперимента снижением температуры анода тиратрона с 210 до 105 °С, при этом вклад энергии нагрева катода тиратронного коммутатора в температуру анода составлял около 35 °С.

В составе промышленного лазера проведены ресурсные испытания одного экспериментального образца активного элемента серии KULON LT-10 Cu № 127183. Номинальная средняя мощность генерации по паспорту завода-изготовителя для этих элементов составляет 10 Вт с линиями генерации 510,6 и 578,2 нм при частоте следования импульсов накачки 15 кГц. Испытания проводились при начальной средней мощности генерации, равной 14,5 Вт, в течение 2100 ч с циклом непрерывной работы 8 ч (в настоящее время время испытания продолжают). За время испытаний средняя мощность генерации активного элемента снизилась с 14,5 до 9,3 Вт. При этом в качестве тиратронного коммутатора в ТМФИ применен тиратрон тетродной конструкции.

За время ресурсных испытаний в работе источника питания не было зафиксировано ни одного отказа.

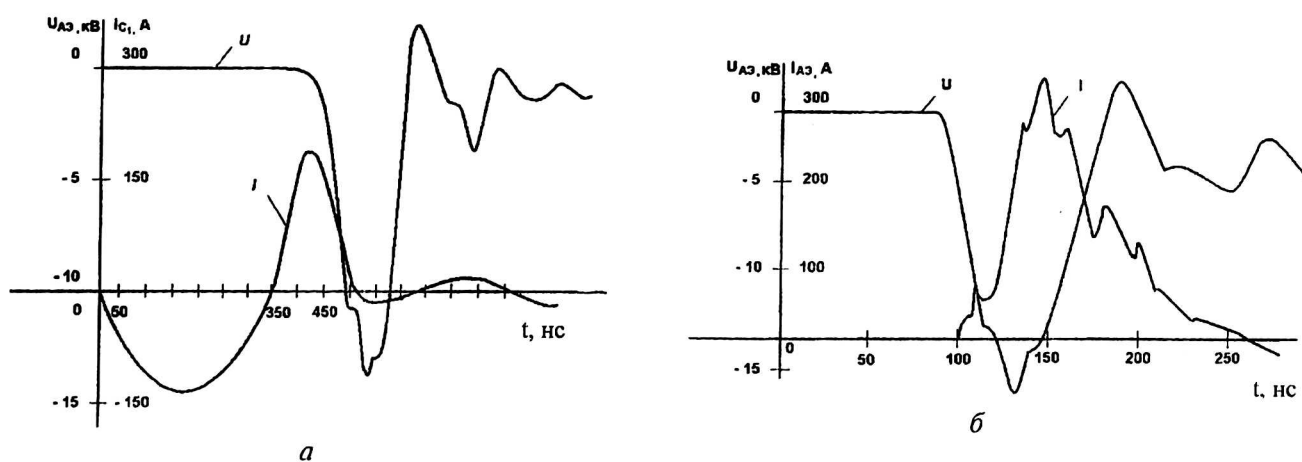


Рис. 4. Осциллограммы напряжения на активном элементе (модель LT-10 Cu): а — тока первого накопительного конденсатора; б — импульса тока накачки

Зависимость мощности излучения лазерного активного элемента KULON LT-10 Cu № 127183 от времени наработки приведена на рис. 5 (кривая 1). Кривые 2 и 3, соответственно, — зависимости мощности излучения лазерных активных элементов KULON LT-10 Cu № 127155 и KULON LT-5 Cu №, полученные при проведении стендовых испытаний, т. е. в составе стационарных испытательных комплексов.

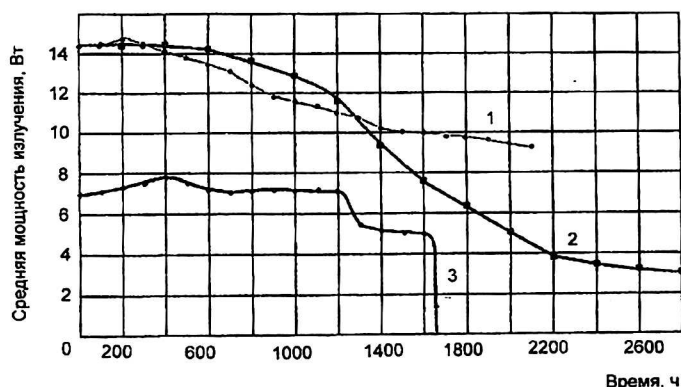


Рис. 5. Зависимости мощности излучения лазерных активных элементов серии KULON от времени наработки:

- 1 — LT-10 Cu-M № 127183 (в составе промышленного лазера); 2 — LT-10 Cu № 127155 (стендовые испытания); 3 — LT-10 Cu № (стендовые испытания)

Сравнение полученных зависимостей показывает более равномерное (близкое к линейному) снижение мощности излучения активного элемента при проведении ресурсных испытаний в составе промышленного лазера, что может быть объяснено более высокой точностью поддержания и стабильностью уровня зарядного напряжения на накопительных конденсаторах ТМФИ, обеспечиваемых работой ЗУ.

В настоящее время ведутся также работы по подготовке активных элементов LT-1,5 Au и LT-Au-Cu к проведению ресурсных испытаний.

При проведении типовых испытаний промышленного лазера определены основные технические параметры для наиболее мощных моделей активных элементов на парах меди (LT-10 Cu), золота (LT-1,5 Au), смеси паров зо-

лота и меди (LT-Au-Cu), которые приведены в табл. 3.

Проведение типовых испытаний промышленного лазера показало также, что максимальный ток разряда, формируемый ТМФИ через активный элемент на парах меди (LT-10 Cu), зафиксирован на уровне 480 А с дальнейшим переходом излучения в желтый цвет (нештатный режим перегрева активной среды АЭ). При амплитуде тока накачки, равной 320 А, максимальная средняя мощность генерации лазера в стационарном режиме равнялась 17 Вт, практический КПД равнялся 0,7 %.

Максимальный ток разряда, формируемый ТМФИ через активный элемент с парами золота (LT-1,5 Au), зафиксирован на уровне 300 А, средняя мощность генерации в стационарном режиме при этом равнялась 1,8 Вт, практический КПД — 0,25 %.

Максимальный ток разряда, формируемый ТМФИ через активный элемент с парами золота и меди (LT-Au-Cu), зафиксирован на уровне 320 А, средняя мощность генерации в стационарном режиме при этом равнялась 7,4 Вт, практический КПД — 0,3 %.

Технические параметры разработанного промышленного лазера

Длительность импульсов излучения, нс.....	15±2
Частота следования импульсов, кГц	15±1
Диаметр пучка излучения, мм.....	14
Расходимость излучения (резонатор плоский), мрад.....	4
Мощность, потребляемая от однофазной сети ~220 В, 50 Гц, кВт, не более.....	2,5
Режим включения.....	автоматический
Охлаждение.....	принудительное, воздушное
Габаритные размеры, мм.....	1250×355×190
Масса, кг, не более.....	46
Температура окружающего воздуха, °С, не более	+35

В настоящее время, по экспертным оценкам, стоимость промышленного лазера на внутреннем рынке составляет 350—400 тыс. руб.

Таблица 3

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ НАИБОЛЕЕ МОЩНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛАЗЕРОВ НА ПАРАХ МЕТАЛЛОВ

Тип модели активного элемента	Средняя суммарная мощность излучения, Вт	Процентное содержание мощности на длинах волн, нм		
		510,6	578,2	627,8
LT-10 Cu	15	50	50	—
LT-1,5 Au	1,8	—	—	100
LT-Au-Cu	7,4	53	38	9

Заключение

Принятые при разработке промышленного лазера схемотехнические решения позволили как снизить коммутационные потери тиратронного коммутатора, так и повысить надежность работы элементов лазерного комплекса в целом.

Основные достоинства лазера: высокий ресурс работы (более 2000 ч) и массогабаритные показатели $0,55 \text{ кг/дм}^3$, что при отношении общей массы лазера к максимальной средней мощности излучения $2,7 \text{ кг/Вт}$ позволяет ис-

пользовать разработанный промышленный лазер как в науке и технике, так и в медицине.

Литература

1. Лябин Н. А., Чурсин А. Д., Угольников С. А., Королев М. Е., Казарян М. А. // Квантовая электроника. 2001. Т. 31. № 3. С. 191—202.
2. Лепёхин Н. М., Присеко Ю. С., Филиппов В. Г. // Прикладная физика. 2001. № 5. С. 46—49.
3. Батенин В. М., Бучанов В. В., Казарян М. А., Климовский И. И., Молодых Э. Н. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов. — М.: Научная книга, 1998. — 544 с.

The industrial laser on base of desolder active elements of a series KULON on vapor copper (LT-10 Cu), gold (LT-1,5 Au), mix vapor of gold and copper (LT-Au-Cu)

I. S. Kolokolov, V. I. Klimenko, N. A. Lyabin, G. M. Paramonova, A. D. Chursin
FGUP «SPC "Istok"», Fryasino, Moscow region, Russia

M. A. Kasaryan

Physical institute by P. N. Lebedev of RAS, Moscow, Russia

N. M. Lepihin, Yu. S. Priseko, V. G. Filippov
ZAO "OEP VEI", Istra, Moscow region, Russia

The results of development and device industrial laser on the self-limited transitions of atoms of metals are submitted. The basic characteristics self-heating laser desolder of active elements on vapor copper, gold, mix vapor of gold and copper of a series KULON, results of resource tests of active elements on vapor copper, and also received are given, at realization of typical tests, basic technical parameters of the most powerful laser elements of the given series. The developed industrial laser is executed as the monoblock with overall dimensions $1250 \times 330 \times 190 \text{ mm}$ and weight no more than 46 kgs. Cooling — compulsory, air.