

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.375.826

П. Ф. Курбатов, А. А. Касторнов, А. Р. Саметов

(Новосибирск)

ИОННЫЙ АРГОНОВЫЙ ЛАЗЕР НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ
ДЛЯ ФОТОПОСТРОИТЕЛЕЙ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Описан ионный аргоновый лазер нового поколения, идентичный выпускаемым ведущими фирмами "Coherent" и "Spectra Physics", базирующийся на возможностях отечественной технологии и элементной базы. Кратко рассмотрены методы и приемы, обеспечивающие достижение высокой надежности, стабильности характеристик лазера.

Введение. Ионные лазеры с аргоновым или криптоновым наполнением — мощные источники непрерывного когерентного излучения в видимом и УФ-диапазонах. Область применения их достаточно широка и включает в себя множество научных, медицинских и технологических приложений. В частности, одним из таких перспективных приложений ионных аргоновых лазеров являются лазерные фотопостроители высокого разрешения (более 10^3 штрих/мм), используемые для изготовления мастер-дисков, киноформной оптики, прецизионных лимбов и шкал, элементов магнитооптической памяти и т. д. Для одно- и двухканальных фотопостроителей необходим ионный аргоновый лазер мощностью 8—10 Вт. Так как в лазерных фотопостроителях с помощью луча лазера ($\lambda = 0,488$ и $0,514$ мкм) происходит запись большого объема информации (более Гбайт), то ионный аргоновый лазер должен удовлетворять жестким эксплуатационным требованиям:

— высокая надежность (наработка на отказ не менее 2000 ч) и большой ресурс (не менее 3000—5000 ч);

— стабильные выходные характеристики, низкий уровень оптических шумов и жесткие стандарты по электромагнитной совместимости с другими компонентами фотопостроителя;

— внутренняя надежная микропроцессорная система управления, обеспечивающая включение, выключение и функционирование лазера не только от собственного пульта управления, но и от пульта внешней более мощной микропроцессорной системы.

Перечисленные выше требования являются стандартными для аргоновых лазеров нового поколения, выпускаемых ведущими зарубежными фирмами "Coherent" и "Spectra Physics". В таких лазерах используется новая конструкция активного элемента — разрядной трубки, в которой разрядный промежуток выполнен в виде дискретного набора шайб из тугоплавкого материала, помещенных (посредством медных диафрагм — чашеобразных элементов) в керамическую оболочку. К сожалению, серийный выпуск таких лазеров в России и странах СНГ до сих пор не налажен. Одной из главных причин, препятствующих их производству, является отсутствие калиброванных, шлифованных труб из алундовой керамики с высоким содержанием Al_2O_3 — поликора.

В настоящей работе описан ионный аргоновый лазер нового поколения, созданный в КТИ НП СО РАН и базирующийся на реальных возможностях отечественной технологии и элементной базы, а также кратко рассмотрены методы и приемы, обеспечивающие достижение указанных требований.

Структура, краткое описание и особенности лазера. Ионный аргоновый лазер состоит из лазерной головки — излучателя — и источника питания, которые соединены между собой электрическими кабелями и охлаждающими шлангами.

Излучатель содержит металлокерамическую разрядную трубку с водоохлаждаемой рубашкой — соленоидом — и *L*-образный стержневой резонатор с уголкового основанием из алюминиевого сплава. Металлокерамическая газоразрядная трубка с соленоидом крепится к уголкового основанию посредством металлических хомутов. Размещение арматуры резонатора — инваровых стержней — внутри пазов уголкового основания и его изоляция от последнего с помощью резиновых колец обеспечивают высокий уровень защиты резонатора от вибрации и других видов механических воздействий. Такое размещение инваровых стержней резонатора способствует пассивной стабилизации диаграммы направленности луча лазера, так как инваровые стержни находятся внутри пазов уголкового основания и имеют одинаковые температуры при изменении температурного режима излучателя при его работе.

Собственно оптический резонатор образован двумя зеркалами, расстояние между которыми равно ≈ 137 см. Плоское плотное зеркало и призма из плавленого кварца оформлены в единый узел призмного селектора, а сферическое зеркало (≈ 10 м) с коэффициентом пропускания 6 % является выходным. Призмный селектор имеет алюминиево-инваровый компенсатор, который предотвращает тепловую разъюстировку резонатора, обусловленную зависимостью показателя преломления кварца от температуры и тем самым частично стабилизирует выходную мощность лазера.

Наиболее сложной частью лазера является полностью секционированная металлокерамическая разрядная трубка нового поколения на основе алундовой керамики ВК 94-1, которая по своим эксплуатационным и другим характеристикам идентична фирменным разрядным трубкам, хотя теплопроводность используемой керамики в 3 раза хуже, чем поликора. В разрядной трубке, описанной в [1—4], тепло из зоны разряда выносится охлаждающему потоку жидкости системой чашеобразных элементов, ограничивающих разряд, через сплошную керамическую оболочку, с которой элементы соединены твердым припоем изнутри (рис. 1, вариант 1). В этом случае (рис. 1, вариант 2) системой медных чашеобразных элементов секционирован не только основ-

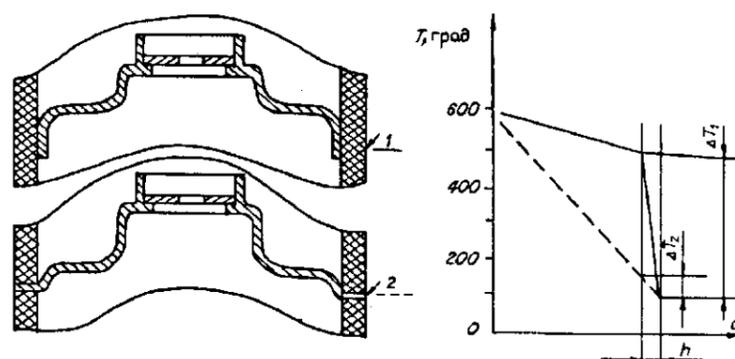


Рис. 1. Геометрический вид оболочки и зависимость температуры T в медном чашеобразном элементе и оболочке от ее геометрического вида (1, 2) и радиуса a : 1 — сплошной керамической оболочке (сплошная линия), 2 — секционированной керамической оболочке

ной газоразрядный промежуток, но и керамическая оболочка, причем каждая секция выполнена из керамического цилиндра и чашеобразного элемента, скрепленного с торцами керамических цилиндров своей и соседней секции посредством твердого припоя. На графике рис. 1 условно представлена зависимость температуры T медного чашеобразного элемента от радиуса a . Последнее надо понимать следующим образом. Текущая координата на поверхности чашеобразного элемента, а соответственно и его температура в этой точке определенным образом связаны с расстоянием a . Из этого упрощенного графического рассмотрения видно, что температурный градиент, пропорциональный разности температур ΔT на внутренней и внешней поверхности оболочки толщиной h , а следовательно, и уровень механических напряжений в случае сплошной оболочки 1 в несколько раз выше, чем в случае секционированной оболочки 2. Именно это обстоятельство при том же уровне тепловых нагрузок и надежности, которые реализованы у сплошных оболочек из поликора, позволяет использовать секции из керамики ВК 94-1, хотя ее теплопроводность хуже поликора в 3 раза. Для сопоставления можно отметить, что разрядная трубка из сплошной керамики ВК 94-1 не выдержит таких тепловых нагрузок и разгерметизируется [5]. Таким образом, хороших эксплуатационных качеств разрядной трубки удалось достичь путем использования медных чашеобразных элементов и секционированной металлокерамической оболочки. Эти качества обусловлены сверхпластичностью меди и уменьшением радиального температурного градиента из-за высокой теплопроводности последней. Оказалось, что разрядные трубки такой конструкции обладают по сравнению с разрядными трубками со сплошным разрядным капилляром из BeO меньшим уровнем оптических шумов и «жестчения» — уменьшения давления рабочего газа. В первую очередь это связано с применением ограничивающих разряд дисков из более стойких к ионной бомбардировке металлов, конкретно вольфрама, и улучшением радиального обмена рабочего газа между центральной и периферийной областями. В такой трубке необходимо тщательно проработать все элементы конструкции и принять меры по устранению: распыления в области «двойного слоя» (прикатодная часть), каскадной дуги между внутренними элементами конструкции, зажигания разряда по отверстиям связи, а также согласовать геометрические размеры элементов трубки не только между собой, но и с другими внешними узлами лазера. Методика учета и согласования всех факторов представляет самостоятельный интерес и здесь не рассматривается.

Как известно [6, 7], для получения предельных характеристик разрядной трубки по выходной мощности и ее стабильности ведущими фирмами повсеместно используется кристаллический кварц определенной кристаллографической ориентации и применяется технология герметизации брюстеровских окон на бесклеевой основе. Нами использовалась одна из таких технологий [8].

В конструкции разработанной отпаянной металлокерамической трубки применялись прямонакальные оксидные катоды и стандартные автономные средства очистки рабочего газа — газопоглотители, выпускаемые отечественной промышленностью. Хотя в разработанной металлокерамической разрядной трубке удалось достичь малого уровня «жестчения» — менее 5 В при 1000 часовой наработке и токе 50 А, для обеспечения безопасной работы разрядной трубки в заданном интервале давлений рабочего газа при большей наработке был сконструирован и апробирован полностью металлический прогреваемый дозатор газа с пьезоприводом. Эксплуатация последнего в течение трех лет показала его высокую надежность.

Основные параметры металлокерамической разрядной трубки и излучателя: длина разрядного промежутка 620 мм; диаметр ограничивающих разряд вольфрамовых шайб 3 мм; мощность излучателя на всех линиях: при напряжении горения на разрядной трубке 245 В и токе 40 А 6,5 Вт, при напряжении горения на разрядной трубке 290 В и токе 50 А 9,5 Вт; уровень шумов 0,6 % в полосе (0,000001—1) МГц.

Источник питания аргонового лазера и микропроцессорная схема управления лазерной системой (микроконтроллер) осуществляют иницирование и

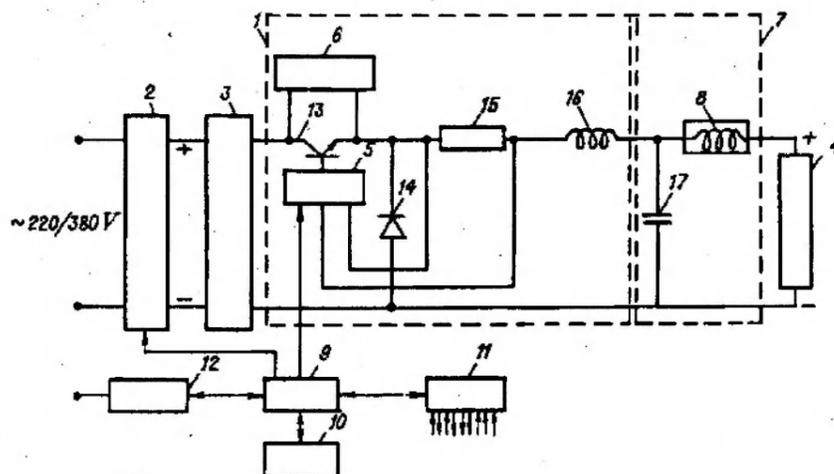


Рис. 2. Структурная электрическая схема источника питания с пультом управления, датчиками и исполнительными элементами:

1 — ключевой преобразователь, 2 — бестрансформаторный выпрямитель, 3 — входной LC-фильтр, 4 — металлокерамическая разрядная трубка, 5 — схема управления, 6 — элементы защиты транзисторного ключа, 7 — выходной LC-фильтр, 8 — соленоид, 9 — микроконтроллер с АЦП — ЦАП, 10 — внешний пульт управления, 11 — набор датчиков и исполнительных элементов, 12 — последовательный интерфейс, 13 — транзистор — транзисторная сборка, 14 — диод, 15 — токовый датчик, 16 — индуктивный накопитель, 17 — емкостный накопитель

поддержание дугового разряда в активном элементе лазера — разрядной трубке, стабилизацию тока разряда, управление системой и контроль за ее параметрами.

В начале 90-х годов ведущими фирмами [9, 10] начали широко применяться ключевые источники питания. К основным преимуществам таких систем относятся малые габаритно-весовые характеристики и высокий КПД. Нами разработан один из таких источников. Он представляет собой 16-канальный ключевой преобразователь напряжения 1 (рис. 2), подключенный к 3-фазной сети 220/380 В через управляемый бестрансформаторный выпрямитель 2 (мост Ларионова на основе оптотиристоров) и входной LC-фильтр 3. На рисунке 16-канальный ключевой преобразователь представлен одним из каналов. Все 16 каналов преобразователя запараллелены и имеют выход на общую низкоомную нагрузку — металлокерамическую разрядную трубку 4. Каждый канал представлен типовой схемой управления 5 и элементами защиты 6 транзисторного ключа от коммутационных перегрузок. Выходной LC-фильтр 7 уменьшает остаточные пульсации тока в нагрузке до значений коэффициента пульсации 0,3—0,6 %.

Особенностью данного источника питания является его многоканальность. Реализованный метод «горячего» резервирования (при отказе одного из каналов остальные берут на себя его функции) позволяет обеспечить высокую надежность источника питания. Кроме того, при конструктивном исполнении каналов в виде отдельных модулей возможно в большинстве случаев отказаться от ремонта источника питания, сведя его к простой операции замены неисправного модуля, т. е. к техническому обслуживанию источника питания.

Существенным отличием от традиционных схем включения соленоидов 8 является использование его в качестве элемента выходного LC-фильтра 7. Соленоид 8 последовательно включен с нагрузкой разрядной трубкой 4. Конструкция водоохлаждаемой рубашки-соленоидов рассчитана на большие токи, охлаждается непосредственно водой и достигает оптимального значения магнитного поля при рабочих токах разряда 40—55 А. Такое включение имеет несколько положительных моментов: 1) не требуется дополнительный источ-

ник питания соленоида; 2) соленоид является источником магнитного поля для разрядной трубки и одновременно элементом выходного фильтра, и как следствие увеличивается КПД лазерной системы.

Микроконтроллер с АЦП — ЦАП 9 минимальной конфигурации разработан с целью упростить процесс управления аргоновым лазером, защитить его от возможных ошибок оператора, сбоев и неисправностей отдельных компонентов лазера, которые могут появиться при длительной эксплуатации лазера.

Микроконтроллер обеспечивает включение, работу и выключение всего лазерного комплекса в автоматическом (программируемом) режиме, цифровую индикацию параметров состояния системы и сигнализацию неисправностей. При этом отслеживается область безопасных значений параметров системы.

При возможном сбое в работе самого микроконтроллера (например, от мощной внешней электромагнитной помехи) происходит аппаратное (без участия микропроцессора) снятие основных управляющих сигналов — выключение системы — без непредсказуемых резких изменений значений отдельных ее параметров. Это свойство микроконтроллера и его минимальная аппаратная конфигурация (максимум функций на программное обеспечение) определяют его особенности и высокую надежность.

На структурной схеме (см. рис. 2) микропроцессорная система представлена микроконтроллером с аналого-цифровым и цифроаналоговым преобразователем 9, внешним пультом управления лазером 10, набором датчиков и исполнительных элементов 11, а также последовательным интерфейсом 12, позволяющим дистанционно управлять лазером от внешнего процессора.

Основные параметры источника питания: выходное напряжение 90 ± 400 В; выходной ток 15 ± 60 А; сопротивление (активное) нагрузки 0 ± 6 Ом; максимальная мощность, выделяемая в нагрузке, 24 кВт; коэффициент пульсации тока нагрузки 1 %; масса 60 кг; габаритные размеры $480 \times 480 \times 700$ мм.

Основные параметры микроконтроллера: разрядность шины данных 8; емкость ПЗУ 4 Кбайта, ОЗУ 2 Кбайта; число аналоговых каналов (датчик — исполнитель) 8; число опрашиваемых бинарных датчиков 25 (расширяется до 100); частота опроса датчиков 100 Гц; дисплей линейный, цифровой, 8-разрядный.

Конструктивно в нижнюю часть корпуса источника питания вмонтирована двухконтурная система охлаждения. Первый контур магистральный (водопроводный), второй — замкнутый. Система охлаждения включает в себя два теплообменника, помпу, фильтры, резервный объем (10 л), систему датчиков по каждому контуру. Датчики потока и температурные датчики обеспечивают работу охлаждаемых объектов — излучателя и источника питания — в безопасных режимах.

Основные технические параметры системы охлаждения: рассеиваемая мощность 25 кВт; габаритные размеры $480 \times 480 \times 700$ мм.

Конструктивные особенности теплообменников обуславливают большую надежность и эффективность обмена тепловой мощности при небольших габаритах.

Заключение. Разработанный ионный аргоновый лазер удовлетворяет ранее сформулированным требованиям, предъявляемым к лазерам, используемым в фотопостроителях. По своим техническим качествам лазер приближен к уровню идентичных изделий ведущих фирм "Coherent" и "Spectra Physics" и может быть рекомендован для использования в других областях.

Опытный образец ионного аргонового лазера в течение трех лет прошел экспериментальную апробацию (наработал более 1200 ч) и в настоящее время находится в дальнейшей эксплуатации. Контрольные замеры рабочих параметров трубки и всей системы в целом показывают их высокую стабильность, что позволяет прогнозировать наработку на отказ не менее 2000 ч.

В заключение авторы выражают глубокую признательность Г. В. Кривошекову и Ю. В. Чугую за постоянное внимание к работе, обсуждения и ценные замечания при ее подготовке к печати.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pat. 4376328 USA. Method of constructing a gas laser /W. S. Mefferd.—Publ. 15.03.83.
2. Pat. 4378600 USA. Gas laser /J. L. Hobart.—Publ. 29.03.83.
3. Pat. 4719638 USA. Discharge tube for gas laser /L. R. Carlson et al.—Publ. 12.01.88.
4. Pat. 4649547 USA. Gas laser construction /L. R. Carlson et al.—Publ. 10.03.87.
5. Хахулин В. А. и др. Выбор оболочки разрядного канала ионного лазера // Лазерная техника и оптоэлектроника.—1990.—Вып. 3(55).
6. Petersen A. B. et al. Q-mendbells explained improving the reliability of ion laser // Spectra Phys. Laser Rev.—1989.—N 3.—P. 12.
7. Pat. 4677640 USA. Crystalline quartz laser window assembly /A. B. Petersen et al.—Publ. 30.06.87.
8. Ага В. И. и др. Ионный лазер на неоне // Квантовая электрон.—1990.—17, № 8.
9. Ekstrand J. Switched approach improves ion laser supply // Laser Focus World.—1991.—27, N 1.—P. 119.
10. Четти П. Проектирование ключевых источников питания: Пер. с англ.—М.: Энергоатомиздат, 1990.

Поступило в редакцию 14 марта 1994 г.
