

показывает, что при токе 2—3 А и давлении паров ртути 0,04 тор на каждой из линий излучаются примерно равные мощности, повышением же тока и давления мощность на красной линии может быть увеличена в 2—3 раза по сравнению с синей и зеленой. Отметим, что полученные данные хорошо согласуются с результатами расчета.

Таким образом, проведенные нами исследования спектральных характеристик лазера с полым катодом на смеси He—Cd—Hg показали, что: 1) в этой смеси может быть осуществлен режим одновременной генерации на всех линиях с суммарной мощностью не менее 10 мВт при меньших габаритах активного элемента (в 2—2,5 раза по сравнению с работами [1—4]), 2) соотношение мощностей излучения линий может оперативно регулироваться посредством модуляции тока разряда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sabotinov N. V., Telbizov P. K. Mixed gas laser of the three basic colours.— Opto-Electronics, 1974, vol. 6, N 2.
2. Popp H. P., Schmidt E. A white-light HeSe⁺ laser.— IEEE J. Quant. Electron., 1979, vol. QE-15, N 9.
3. Fujii K. I. et al. Hollow-cathode type CW white-light laser.— IEEE J. Quant. Electron., 1975, vol. QE-11, N 2.
4. Otaka M. et al. He—Cd⁺ white light-laser by a Novel tube structure.— IEEE J. Quant. Electron., 1981, vol. QE-17, N 3.
5. Вайнер В. В., Иванов И. Г., Сэм М. Ф. Особенности возбуждения смеси гелий—пары кадмия в разряде с полым катодом.— ЖТФ, 1979, т. 49, № 8.
6. Иванов И. Г., Сэм М. Ф. Генерация на ионных переходах таллия и галлия.— Электрон. техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы, 1974, № 2.
7. Вайнер В. В., Зинченко С. П., Иванов И. Г., Сэм М. Ф. Импульсные ионные лазеры на парах металлов с полым катодом.— Квант. электроника, 1980, т. 7, № 5.

Поступила в редакцию 23 февраля 1983 г.

УДК 621.378.3

Г. П. СТРОКАНЬ, Г. Н. ТОЛМАЧЕВ

(Ростов-на-Дону)

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГЕЛИЙ-КАДМИЕВОГО ЛАЗЕРА С ПОПЕРЕЧНЫМ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ РАЗРЯДОМ

В 1976 г. была получена генерация на ряде ионных переходов металлов в плазме поперечного высокочастотного разряда (ПВЧР) [1], при этом отмечался ряд преимуществ лазеров с таким типом возбуждения перед катафорезными лазерами и лазерами с полым катодом. В использовавшейся конструкции разрядной трубки легко осуществлялся импульсный, а в ряде случаев квазинепрерывный режим работы, что позволило создать простой ионный лазер [2] с излучением одновременно в синей и зеленой областях спектра. Однако получение непрерывной генерации в таких конструкциях затруднено по ряду причин. В традиционных конструкциях трубок лазеров с ПВЧР рабочее вещество располагалось непосредственно на стенках трубки и поступало в объем за счет саморазогрева. Если в импульсном режиме средняя мощность, вкладываемая в разряд, зависит от скважности и может быть небольшой (достаточной для оптимального разогрева), то при переходе в непрерывный режим средняя мощность возрастает в n раз, где n — скважность. Это приводит, во-первых, к увеличению давления паров кадмия, во-вторых, к тепловому разрушению трубки. Таким образом, при использовании непрерывного режима работы необходимо подбирать условия тепло-

отдачи лазерной трубки так, чтобы оптимальная с точки зрения выходной мощности мощность накачки соответствовала и оптимуму концентрации кадмия.

Учитывая необходимость создания лазеров с ПВЧР, работающих в непрерывном режиме, нами были проведены исследования по выбору соответствующих конструкций и сравнению характеристик выходного излучения гелий-кадмиевого лазера с различной геометрией разрядного промежутка.

Для накачки лазера использовался ВЧ-генератор, собранный по схеме с общей сеткой [3], с выходной мощностью до 1 кВт, работающий на частоте 13 МГц. Согласование генератора с нагрузкой осуществлялось перестройкой П-контура. Мощность излучения измерялась прибором ИМО-2. Для отдельного наблюдения линий генерации служил спектрограф ИСП-51 с фотоэлектронным умножителем ФЭУ-79 на выходе. Температура наружной стенки определялась с помощью термопары, впаянной в материал трубки.

На наш взгляд, решение поставленной задачи заключалось в обеспечении эффективного конвективного охлаждения трубки. Для этого необходимо увеличить поверхность разрядной трубки, оставив неизменным рабочий объем. Полагая, что при рабочих температурах ($T \leq 300$ К) вкладом лучистого теплообмена можно пренебречь, для оценки геометрии разрядной трубки воспользуемся выражением [4]

$$Nu = 0,5(Gr Pr_r)^{0,25}(Pr_r/Pr_c)^{0,25},$$

где Nu — число Нуссельта; Gr — число Грасгофа; Pr_r , Pr_c — числа Прандтля для газа вдали от трубки и для наружной стенки трубки соответственно. Так как в рабочем диапазоне температур для воздуха последний множитель близок к единице, то выражение упрощается:

$$Nu = 0,5(Gr Pr_r)^{0,25}.$$

Используя данные [5] об оптимальной вводимой в разряд ВЧ-мощности для непрерывного режима и заданное значение коэффициента теплоотдачи α , входящего в число Нуссельта, можно оценить внешний диаметр конструкции. Таким образом, при $\alpha = 10$ Вт/(м² · К) и вводимой в разряд мощности 120 Вт/см³ диаметр составит 2,5 см. Кроме того, необходимо учитывать перепад температур между внутренней и внешней стенками лазерной трубки, определяемый как

$$\Delta T = q_l \ln(d_2/d_1)/2\pi\lambda,$$

где q_l — вкладываемая мощность на единицу длины, d_1 , d_2 — внутренний и наружный диаметры соответственно, λ — коэффициент теплопроводности.

На основе трубки, описанной в работе [6], позволяющей исключить межэлектродный пробой, нами были изготовлены и исследованы лазерные трубки двух типов, обеспечивающие нужный температурный режим при конвективном охлаждении. Внутренний электрод, выполненный в виде металлического стержня длиной 300 мм, помещался в кварцевую трубку. Исследовались трубки с разрядными каналами 3×4 ; $2,5 \times 2,5$; $2,2 \times 2,5$; $1,9 \times 1,6$ мм.

В первом случае (рис. 1, а) диаметр внутреннего электрода был 7 мм, а наружный кольцевой электрод имел надежный тепловой контакт с радиатором диаметром 25 мм. Кадмий размещался в рабочем объеме в углублениях так, чтобы не перекрывать канал. Зная температуру наружной стенки трубки и вычислив перепад на стенке, можно определить температуру внутреннего электрода. В результате эффективного теплоотвода в этих конструкциях получена непрерывная генерация на зеленых линиях 533,7 и 537,8 нм. Однако непрерывный режим работы осуществлялся при мощности накачки, меньшей оптимальной. При увеличении вкладываемой мощности до оптимальной генерация исчезала в связи с возрастанием концентрации кадмия. Применение в таких труб-

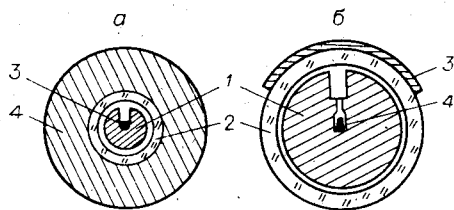


Рис. 1. Поперечный разрез трубок:

a — трубка с внешним радиатором: 1 — внутренний электрод, 2 — кварцевая трубка, 3 — кадмий, 4 — радиатор; *б* — трубка с массивным внутренним электродом: 1 — внутренний электрод, 2 — кварцевая трубка, 3 — кадмий, 4 — внешний электрод.

как радиатора большего диаметра (до 65 мм) не позволило уменьшить давление паров кадмия. Этот факт можно объяснить, если учесть, что поступление кадмия в разряд происходит не только за счет разогрева, но и за счет его интенсивной бомбардировки ионами гелия и кадмия. Очевидно поэтому рабочая температура в таких трубках была несколько ниже (в среднем на 20—25°) по сравнению с конструкциями второго типа и составила 240—250°С.

Для исключения ионной бомбардировки кадмия использовались разрядные трубки второго типа (рис. 1, б) с внутренним электродом диаметром 20 мм. Кадмий в таких конструкциях располагался в специальных углублениях в теле стержня и через отверстия диаметром 1 мм подавался в зону разряда. Вынесение кадмия из зоны разряда позволяло получать непрерывную генерацию при оптимальной мощности накачки, которая, как и в работе [5], составила для зеленых линий 120 Вт/см³. Основные характеристики таких конструкций приведены в таблице. Предпочтительной оказалась конструкция трубки с щелью 2,5 × 2,5 мм, так как в ней оптимальная мощность накачки совпадала с мощностью, необходимой для разогрева кадмия. Отличительной особенностью щелевых конструкций является высокое значение оптимального давления гелия $Pd = 147$ гПа · мм, где d — наименьший размер щели, что более чем в 2 раза превышает аналогичный параметр в работе [5]. Высокое оптимальное давление буферного газа, как правило, должно приводить к росту оптимальной концентрации кадмия и, следовательно, к большей выходной мощности излучения. Этим мы объясняем преимущество (в 1,5 раза) показателя мощности на единицу длины щелевой (3 × 4 мм) конструкции по сравнению с наилучшим показателем в работе [5]. В то же время плотность мощности практически не зависит от геометрии щели.

Следует отметить, что две зеленые линии достигают максимума мощности при различных давлениях гелия. Подобное поведение зеленых линий было отмечено в [7] для импульсного режима гелий-кадмиевого лазера с ПВЧР.

С увеличением давления паров кадмия в таких трубках наблюдались две зоны генерации: собственно в объеме щели и в узкой области, прилегающей к кварцевой стенке (с ростом концентрации кадмия генерация смещалась к кварцевой стенке). Возможная причина кроется в различной эмиссионной способности материалов стенок — кварца и металла.

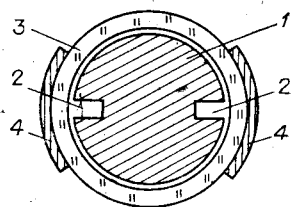
Использование внутреннего электрода большого диаметра позволило получить непрерывную генерацию одновременно на синей и зеленых линиях. В этом случае внутренний электрод имел две рабочие щели, размеры которых определялись параметром подобия: для линий 533,7 и 537,8 нм $Pd = 147$ гПа · мм и для линии 441,6 нм $Pd = 80$ гПа · мм (рис. 2). В силу того, что в работе применялся кадмий естественного

Мощность генерации на линиях 533,7 и 537,8 нм для различных щелевых конструкций при оптимальных значениях мощности накачки, давления гелия и паров кадмия

Размер щели, мм	Максимальная выходная мощность, мВт	Плотность мощности, мВт/мм ²	Соотношение ширина/глубина	Размер щели, мм	Максимальная выходная мощность, мВт	Плотность мощности, мВт/мм ²	Соотношение ширина/глубина
3 × 4	45	3,75	0,75	2,2 × 2,5	21	3,82	0,88
2,5 × 2,5	24	3,88	1,0	1,9 × 1,6	12	3,94	1,19

Рис. 2. Конструкция разрядной трубки для одновременной генерации на синей и зеленых линиях:

1 — внутренний электрод, 2 — щели, 3 — кварцевая трубка, 4 — внешние электроды.



изотопического состава и потери в резонаторе были большими, выходная мощность на линии 441,6 нм оказалась незначительной (в 2 раза меньше, чем на зеленых линиях). При наличии широкополосных зеркал в предлагаемой трубке возможна одновременная генерация и на других лазерных переходах иона кадмия.

Таким образом, в данной работе показано, что, используя основные соотношения конвективного теплообмена, можно изготовить разрядные трубки, позволяющие получать чисто непрерывный режим генерации в лазерах с ПВЧР. Кроме того, показано, что щелевые конструкции дают большую выходную мощность по сравнению с ранее известными конструкциями лазеров с ПВЧР, а геометрия щели несущественно сказывается на величине плотности мощности. Предложена лазерная трубка, генерирующая одновременно на нескольких длинах волн.

Полученные результаты могут найти применение при разработке и конструировании газоразрядных трубок лазеров с ПВЧР с саморазогревом в непрерывном режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Латуш Е. Л. и др. Генерация на ионных переходах металлов при поперечном ВЧ-возбуждении. — Письма ЖЭТФ, 1976, т. 24, вып. 2.
2. Михалевский В. С., Строкань Г. П., Толмачев Г. Н., Хасилев В. Я. Кадмий-гелиевый лазер с поперечным высокочастотным возбуждением: Проспект/ВДИХ СССР. — М.: НИИФ РГУ, 1977.
3. Михалевский В. С., Толмачев Г. Н., Хасилев В. Я. Генератор радиоимпульсов для лазеров с поперечным высокочастотным разрядом. — ПТЭ, 1980, № 5.
4. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. — М.: Энергоиздат, 1981.
5. Михалевский В. С., Толмачев Г. Н., Хасилев В. Я. Оптимизация условий возбуждения гелий-кадмиевого лазера с ПВЧР. — Квант. электроника, 1980, т. 7, № 7.
6. Михалевский В. С., Толмачев Г. Н., Хасилев В. Я. Генерация на ионных переходах меди в высокочастотном разряде. — Журн. прикл. спектр., 1980, т. 32, № 4.
7. Михалевский В. С., Строкань Г. П., Толмачев Г. Н., Хасилев В. Я. Кадмий-гелиевый лазер с большой апертурой выходного луча. — В кн.: Тез. докл. на II Всесоюз. конф. «Оптика лазеров». Л.: ГОИ, 1979.

Поступила в редакцию 20 января 1983 г.

УДК 621.378

А. А. АПОЛОНСКИЙ, В. И. ДОНИН
(Новосибирск)

ПОЛУЧЕНИЕ МОЩНЫХ ИМПУЛЬСОВ СВЕТА С БОЛЬШОЙ ЧАСТОТОЙ ПОВТОРЕНИЯ В СИСТЕМЕ «АРГОНОВЫЙ ЛАЗЕР С СИНХРОНИЗАЦИЕЙ МОД — УСИЛИТЕЛЬ»

Введение. Максимальная средняя мощность ионных аргоновых лазеров с активной синхронизацией мод (ЛСМ), полученная в настоящее время, не превышает уровня одного-двух ватт. Попытки ее повышения увеличением тока разряда приводят к ухудшению структуры импульсов