

в выходящем пучке очень сильно зависит от профиля пропускания выходного зеркала интерферометра. Эксперимент с таким «резонансным преобразователем распределения поля» описан в [10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Троицкий Ю. В. Оптимизация параметров гауссова светового пучка, излучаемого через круглую апертуру.— Радиотехника и электроника, 1975, т. 20, № 3.
2. Jh C. S. Absorption lens for producing uniform laser beam.— Appl. Opt., 1972, vol. 11, N 3.
3. Sturoky J. On the equality of diffraction losses at both mirrors of a confocal laser resonator.— Acta Technica CSAV, 1971, N 4, p. 578.
4. Троицкий Ю. В. Равномерное освещение при помощи газового лазера.— Опт. и спектр., 1974, т. 37, вып. 5.
5. Кольченко А. П., Никитенко А. Г., Троицкий Ю. В. Расчет оптического резонатора с цилиндрическими зеркалами, имеющими область повышенного пропускания.— Автометрия, 1979, № 3.
6. Троицкий Ю. В. Неоднородный вывод энергии высших поперечных типов колебаний в газовом оптическом квантовом генераторе.— Квант. электроника, 1974, т. 1, с. 124.
7. Никитенко А. Г., Троицкий Ю. В. Диэлектрические лазерные зеркала с амплитудной неоднородностью.— Автометрия, 1979, № 3.
8. Кольченко А. П., Никитенко А. Г., Троицкий Ю. В. Управление структурой поперечных мод лазера при помощи фазосдвигающих масок.— Квант. электроника, 1980, т. 7, с. 1756.
9. Кольченко А. П., Никитенко А. Г., Троицкий Ю. В. Динамическое управление диаграммой направленности лазера при помощи интерферометра Фабри — Перо с неравномерным пропусканием.— Автометрия, 1981, № 3.
10. Курбатов П. Ф., Троицкий Ю. В. Получение негауссовых световых пучков при помощи интерферометра Фабри — Перо с неоднородным зеркалом.— Опт. и спектр., 1975, т. 38, вып. 5.
11. Вахитов Н. Г. Открытые резонаторы с зеркалами, обладающими переменным коэффициентом отражения.— Радиотехника и электроника, 1965, т. 10, № 9.
12. Власов С. Н. Резонаторы с зеркалами с переменным коэффициентом отражения.— Радиотехника и электроника, 1965, т. 10, № 9.
13. Sunderson R. L., Streifer W. Comparison of laser mode calculations.— Appl. Opt., 1969, vol. 8, N 1.
14. Троицкий Ю. В. Осциллографическая регистрация появления внеосевых мод в газовом ОКГ.— ПТЭ, 1973, № 2.
15. Абросимов Г. В. и др. Резонатор ОКГ с пространственно-неоднородным выводом энергии в режиме селекции одной поперечной моды.— Журн. прикл. спектр., 1976, т. 25, вып. 1.
16. Casperson L. W. Phase compensation of laser beam modes.— Opt. and Quant. Electron., 1976, vol. 8, N 6.
17. Polanyi T. G., Watson W. R. Caseous optical maser with external mirrors.— J. Appl. Phys., 1963, vol. 34, N 3.

Поступила в редакцию 17 марта 1983 г.

УДК 621.378.3

В. В. ВАЙНЕР

(Ростов-на-Дону)

ТРЕХЦВЕТНЫЙ ЛАЗЕР С ПОЛЫМ КАТОДОМ НА СМЕСИ ГЕЛИЙ — КАДМИЙ — РТУТЬ

Введение. Решение различных задач научного и практического характера требует создания лазеров непрерывного действия, излучающих одновременно в синей, зеленой и красной областях спектра с суммарной мощностью излучения 10—100 мВт. В принципе, получить излучение «белого» света можно и при использовании трех отдельных лазеров, однако более пригодным для практических целей является лазер, излу-

чающий три основных цвета одновременно. К настоящему времени известен ряд относительно удачных попыток создания маломощных лазеров «белого» света (ЛБС). Так, в [1] предлагался лазер, излучающий на синей (Cd II, 441,6 нм), зеленых (Se II, 484, 498, 499, 507, 518, 523 нм) и красной (Ne I, 632,8 нм) линиях. Однако в таком лазере возбуждение паров Se и Cd происходит независимо друг от друга в двух последовательно расположенных разрядных промежутках, что эквивалентно применению двух отдельных лазеров и, естественно, приводит к нежелательному увеличению длины активного элемента. Возбуждение же паров этих элементов в одном разрядном промежутке не представляется возможным вследствие их сильного химического взаимодействия. В [2] из спектра излучения He—Se-лазера с помощью специального дисперсионного резонатора выделялись три основных цвета — синий (460,4 нм), зеленый (517,5 нм) и красный (649,0 нм), но при этом малая мощность излучения на синей и красной линиях потребовала для получения мощности всего в 3 мВт использовать лазер с активной длиной 1 м. В [3, 4] исследовался ЛБС на гелий-кадмиевой смеси в разряде с полым катодом (РПК), излучающий синюю (441,6 нм), зеленые (533,7 и 537,8 нм) и красные (635,5 и 636,0 нм) линии в спектре иона кадмия. Такой ЛБС требует сравнительно низкого напряжения питания (250—300 В), обладает малым уровнем шумов (доли процента), однако и у него мощность генерации на красных линиях значительно меньше, чем на сине-зеленых.

Таким образом, малая мощность на отдельных линиях, особенно на красных, является наиболее существенным недостатком известных ЛБС. Это не соответствует соотношению интенсивностей цветов в естественном «белом» свете; низкая же чувствительность цветных фотоматериалов в красной области требует в ряде приложений еще большей, чем в «белом» свете, мощности красного излучения. Стремление получить достаточную мощность красного излучения в известных лазерах приводит к созданию неоптимальных условий разряда для синей и зеленой линий, к потере мощности на них и нежелательному увеличению длины активной среды и излучателя в целом (см., например, [2—4]).

В данной работе исследованы характеристики лазера, излучающего одновременно в синей, зеленой и красной областях спектра за счет применения в качестве активной среды комбинации паров веществ, обеспечивающих наиболее интенсивную непрерывную генерацию в этих частях спектра.

Выбор активной среды. Сформулируем требования к совмещаемым рабочим веществам с учетом специфики РПК:

во-первых, необходимо, чтобы совмещаемые вещества были химически не взаимодействующими в условиях разряда как между собой, так и с материалом катода; химическое взаимодействие допустимо лишь в том случае, если образующиеся химические соединения в разряде вновь диссоциируют с образованием исходных веществ;

во-вторых, оптимальные для генерации параметры разряда должны быть близки для совмещаемых сред и каждая из них должна обладать как можно большим усилением на рабочих переходах, поскольку добавление в разряд паров других веществ ведет обычно к снижению скорости накачки данного перехода.

Отметим, однако, что снижение мощности генерации на одном из элементов при введении в разряд паров другого элемента происходит в РПК гораздо медленнее, чем в положительном столбе (ПС) разряда. Как показано в [5], эта закономерность объясняется различными механизмами формирования функции распределения электронов по энергиям (ФРЭЭ) в ПС и РПК.

Из анализа видно, что вышеперечисленным требованиям лучше всего удовлетворяют вещества, расположенные в одной подгруппе элементов периодической системы, поскольку они химически слабо взаимодействуют и, кроме того, обладают примерно одинаковым расположением уровней, что определяет сходство механизмов заселения этих уровней

ней и, следовательно, примерное совпадение оптимальных условий разряда.

С учетом этих требований нами был проведен анализ энергетических характеристик известных активных сред с возбуждением как в ПС, так и в РПК, который, как известно [6], обеспечивает по сравнению с ПС лучшие характеристики излучения ионных переходов, заселяемых при столкновениях 2-го рода между возбужденными атомами или ионами инертного газа и атомами рабочего вещества. Анализ показал, что наиболее интенсивная генерация может быть достигнута в лазере на смеси гелий — пары кадмия — пары ртути с излучением на линиях 441,6; 533,7 и 537,8 нм Cd II и 615,0 нм Hg II при возбуждении этой смеси постоянным током в РПК. Ниже приведены расчет и результаты экспериментов по определению оптимальных параметров разряда и характеристик излучения этого лазера.

Оптимальные параметры разряда. Очевидно, что оптимальные условия возбуждения для смеси будут отличаться от оптимальных условий для каждой из ее компонент. Наличие же большого числа оптимизируемых параметров, которые могут меняться независимо друг от друга (давление компонент смеси, ток разряда), усложняет их однозначное определение экспериментальным путем. Поэтому нами предварительно проведен расчет оптимальных параметров разряда на основе ранее развитой модели физических процессов в лазерах с РПК.

Исходя из того, что возбуждение интересующих нас линий производится в основном пеннинг-процессом (441,6 нм) и перезарядкой (533,7; 537,8 и 615,0 нм), можно показать, что мощности генерации на них в конечном счете пропорциональны произведению $N_{1,2}^{\text{He}} (N^{\text{Cd}}, N^{\text{Hg}}) N^{\text{Cd(Hg)}}$, где $N_{1,2}^{\text{He}}$ — концентрации метастабильных атомов и ионов гелия соответственно, $N^{\text{Cd(Hg)}}$ — концентрация атомов кадмия (ртути). Для расчета зависимостей $N_{1,2}^{\text{He}} (N^{\text{Cd}}, N^{\text{Hg}})$ необходимо знать вид ФРЭЭ в данной смеси. Обобщая ранее предложенную методику расчета ФРЭЭ [5] для случая трехкомпонентной смеси, мы получили ФРЭЭ для He—Cd—Hg-смеси при различных парциальных давлениях компонент (рис. 1). Далее, вычислив с помощью найденной ФРЭЭ скорости возбуждения и ионизации гелия, можно определить интенсивность искомых линий. На рис. 2 в качестве примера представлены рассчитанные интенсивности указанных линий в зависимости от парциальных давлений паров металла при фиксированных давлении гелия и токе разряда. Проводя анализ

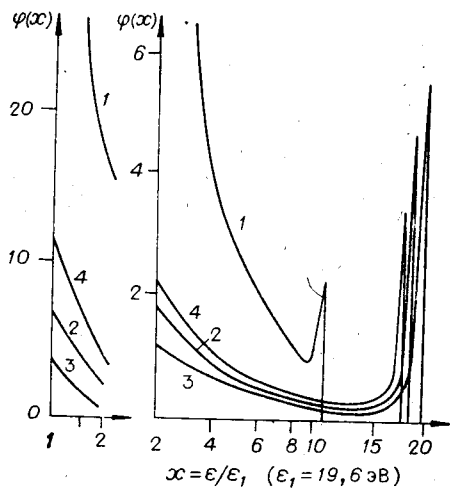


Рис. 1. Рассчитанные ФРЭЭ. Давление гелия 4 тор, давление паров кадмия и ртути $0 - 10^{-3}$ тор (кривая 1), $P_{\text{Hg}} = 0$, $P_{\text{Cd}} = 0,32$ тор (2), $P_{\text{Hg}} = 0,32$ тор, $P_{\text{Cd}} = 0$ (3), $P_{\text{Hg}} = 0,04$ тор, $P_{\text{Cd}} = 0,1$ тор (4).

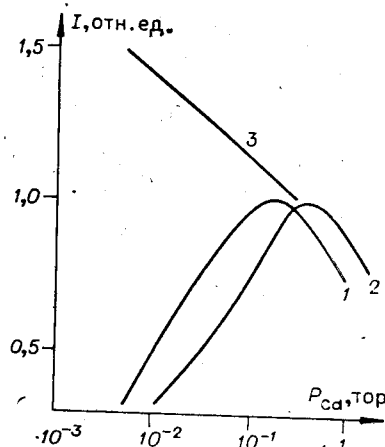


Рис. 2. Интенсивность ионных линий кадмия 441,6 нм (1), 533,7 и 537,8 нм (2) и ртути 615,0 нм (3) при $P_{\text{Hg}} = 0,04$ тор в РПК.

Давление гелия 20 тор, ток разряда 1 А.

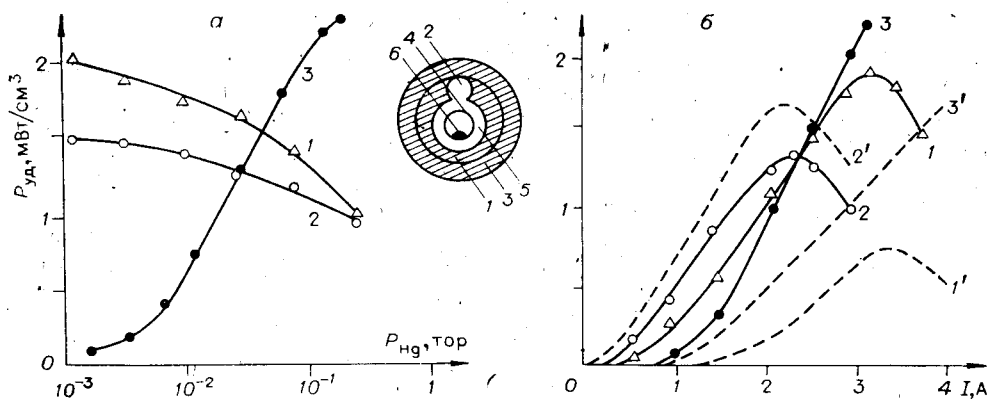


Рис. 3. Зависимости удельных мощностей генерации от давления паров ртути (а) и тока разряда (б):

а — линии 441,6 нм Cd II (кривая 1), 533,7 и 537,8 нм Cd II (кривая 2) и 615,0 нм Hg II (кривая 3); давление гелия 20 тор, паров кадмия 0,1 тор, ток 2,5 А; б — линии 441,6 нм Cd II (кривые 1, 1'), 533,7 и 537,8 нм Cd II (кривые 2, 2') и 615,0 нм Hg II (кривые 3, 3'); давление паров кадмия 0,1 тор, ртути 0,04 тор; сплошные кривые соответствуют давлению гелия 20 тор, штриховые — 30 тор. В правом верхнем углу изображено сечение активного элемента лазера.

набора таких кривых, можно показать, что интенсивности излучения линий совпадают по величине при следующих давлениях компонент: $P_{\text{He}} = (25 \pm 8)$ тор, $P_{\text{Hg}} = (4,5 \pm 1,5)10^{-2}$ тор, $P_{\text{Cd}} = (10 \pm 3)10^{-2}$ тор. Довольно большая разница в парциальных давлениях паров кадмия и ртути при оптимальных условиях объясняется тем, что благодаря относительно высокой скорости накачки рабочего перехода ненасыщенный коэффициент усиления и удельная мощность излучения на красной линии иона ртути (615,0 нм) более высокие, чем на ионных линиях кадмия [7]. Поэтому сравнительно небольшие добавки ртути в смесь гелий—кадмий не приводят к заметному снижению мощности на этих линиях, но обеспечивают эффективную генерацию на линии 615,0 нм.

Характеристики излучения He—Cd—Hg-лазера. Для экспериментального определения энергетических характеристик He—Cd—Hg-лазера нами использовалась разрядная трубка, сечение которой показано на рис. 3, а. Активный элемент содержал блок из нержавеющей стали 1 длиной 40 см с продольной катодной полостью 2 диаметром 3 мм, запрессованный в нержавеющую трубу 3 с наружным диаметром 32 мм, покрытую теплоизоляцией. Протяженный анод 4 — стальная трубка диаметром 6 мм с отверстиями — располагался во второй полости 5 блока, соединенной с первой полостью продольной щелью. Металлический кадмий 6 находился внутри трубки, разогревался во время работы лазера за счет тепловыделения в разряде до температуры 320°C, которая поддерживалась постоянной, и пары его проникали через отверстия анодной трубки в полость катода. Концы анодной трубки, содержащие ртуть естественного изотопного состава, находились на расстоянии ~5 см от концов катодного блока в холодной зоне активного элемента и нагревались до рабочей для паров ртути температуры отдельными нагревателями. Отметим, что в разряде отсутствует химическое взаимодействие паров кадмия и ртути как друг с другом, так и с материалом катода. На рис. 3, а, б представлены зависимости удельных мощностей излучения на каждой из исследуемых линий от давления паров ртути и тока разряда. Из рис. 3, б видно, что оптимальные значения тока разряда для синей и зеленой линий иона кадмия несколько различаются. Измеренные нами значения мощности при оптимальном токе составляют на линии 441,6 нм 9 мВт (удельный энергопотребление 1,9 мВт/см³), на линиях 533,7 и 537,8 нм 7 мВт (1,4 мВт/см³). Мощность излучения на линии 615,0 нм при увеличении тока от порогового значения до 4 А монотонно растет. Отметим, что насыщение удельной мощности на красной линии до величины около 30 мВт/см³ наступает при токе 10 А. Анализ рис. 3

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-