

А.Н. Малинин, Л.Л. Шимон, Н.Н. Гуйван, А.В. Поляк

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЕ НА РАБОЧИХ СМЕСЯХ HgBr-ЛАЗЕРА

Ужгородский госуниверситет, Украина

Поступила в редакцию 2.09.99 г.

Проведена оптимизация энергетических и ресурсных характеристик рабочих смесей HgBr-лазера в плазме высокочастотного разряда. Достигнута средняя мощность излучения 6,8 мВт в комбинированном поверхностном и барьерном разрядах при частоте следования импульсов накачки 1900 Гц.

Введение

Для дальнейшей оптимизации энергетических и ресурсных характеристик HgBr-лазера необходимы новые данные по интенсивности излучения в зависимости от компонентного состава, парциальных давлений смеси, частоты следования импульсов накачки, энергозатрат и др. Ряд данных получен при исследовании спонтанного излучения плазмы тлеющего разряда в рабочих (двухкомпонентных) смесях HgBr-лазера [1–3].

В настоящей статье авторы приводят результаты исследований в этом направлении для многокомпонентных смесей и повышенных частот.

Экспериментальная установка. Методика измерений

Возбуждение излучения молекул HgBr ($\lambda = 502$ нм) производилось в плазме тлеющего разряда и барьерного разрядов (происходящих одновременно) в смесях дибромид ртуты и газов при атмосферных давлениях.

Газоразрядная кювета (рис. 1) по конструкции близка к предложенной в работе [4]. Коаксиально установленные кварцевые трубки 1 и 2 длиной 20 см спаивались в торцах. Внешние диаметры трубок составляют 15 и 35 мм соответственно. Электроды 3, имеющие форму колец, изготовлены из нержавеющей стали. Расстояние между ними 18 см. В качестве вводов использованы электроды лампы ДРТ-240, которые вваривались в боковую поверхность кюветы. Внутри кварцевой трубки 1 устанавливалась металлическая трубка 4. На внешнем диаметре трубки 2 закреплялся перфорированный электрод 5 с коэффициентом пропускания 72%. Для откачки и напуска газов в боковую поверхность кюветы вваривался патрубков 6 из кварцевого стекла, внутри которого имеется капилляр диаметром ~ 1 мм, служащий для уменьшения выноса паров дибромид ртуты из кюветы в систему откачки. Толщина разрядной области и длина горения объемного разряда составляют 7,5 мм и 9 см соответственно. Излучение выводится из газоразрядной кюветы нормально к поверхности внешней кварцевой трубки.

При возбуждении рабочей смеси, находящейся в объеме 7, барьерным разрядом импульс напряжения прикладывался между трубкой 4 и перфорированным электродом 5, тогда как при использовании и барьерного, и поверхно-

стного разрядов высокое напряжение подавалось на металлическую трубку и на один из электродов 3, а второй электрод 3 и сетка были заземлены.

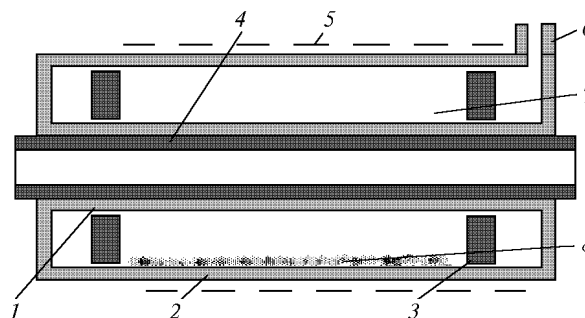


Рис. 1. Конструкция эксимерной лампы

В отличие от [1] парциальное давление паров HgBr₂ в рабочих смесях получали за счет диссипации энергии высокочастотного разряда.

Создание газоразрядной плазмы на рабочих смесях и ее возбуждение осуществлялись импульсами накачки длительностью 100 нс амплитудой напряжения 20–40 кВ с частотой следования 400–2000 Гц. В генераторе импульсов в качестве коммутатора использовался тиратрон ТГИ1-1000/25. Охлаждение тиратрона принудительное, воздушное. Накопительная емкость набиралась из малоиндуктивных конденсаторов КВИ-3 и составляла 6,8 нФ. Перезарядка накопительной емкости осуществлялась через первичную обмотку повышающего трансформатора с коэффициентом трансформации 3, изготовленного на ферритовых кольцах диаметром 12 см [5].

Оптический сигнал ($\lambda = 502$ нм, электронно-колебательный переход $B^2\Sigma_{1/2}^+ \rightarrow X^2\Sigma_{1/2}^+$ молекулы HgBr*) после прохождения диафрагмы площадью 1 см² и светофильтра СЗС-16 с максимумом пропускания на длине волны $\lambda = 500$ нм попадал на измерительную головку прибора «Кварц-01», которым измерялась средняя мощность излучения.

Рабочие смеси готовились непосредственно в газоразрядной кювете при последовательном напуске тяжелого инертного газа или азота и легкого буферного газа (гелия). Дибромид ртуты 8 (см. рис. 1) в количестве 10 мг предварительно загружался в газоразрядную кювету. Обезгажи-

вание производилось путем прогрева кюветы при температуре 50 °С и откачке в течение 2 ч.

Зависимости интенсивности излучения от состава смеси и условий накачки

Зависимости интенсивности излучения от состава измерялись при частоте следования импульсов накачки 1000 Гц и импульсном напряжении 18 кВ. Исследования проводились в двух-, трех- и четырехкомпонентных смесях: HgBr₂:He, HgBr₂:N₂:He, HgBr₂:Xe:He, HgBr₂:Xe:N₂:He.

Для двойной смеси HgBr₂:He рост давления гелия от 141 до 200 кПа приводит к увеличению средней мощности излучения в 1,7 раза. Для трехкомпонентных смесей (зависимости 1 и 2 на рис. 2) максимальные мощности излучения достигались при парциальных давлениях ксенона 2,03–4,05 кПа и азота 12,13–47,96 кПа. Средняя мощность излучения для четырехкомпонентных смесей больше, чем для тройной с ксеноном, но меньше, чем с азотом. Соотношение средних мощностей для оптимальных по компонентному составу смесей составляет: 1:1,9:4,2: 21,5 для смесей 1:2:3:4, где

- 1 – HgBr₂:He (давление гелия 121,6 кПа),
- 2 – HgBr₂:Xe:He (соотношение Xe:He = 1:39),
- 3 – HgBr₂:Xe:N₂:He (соотношение Xe:N₂:He = 1:10:29),
- 4 – HgBr₂:N₂:He (соотношение N₂:He=1:3).

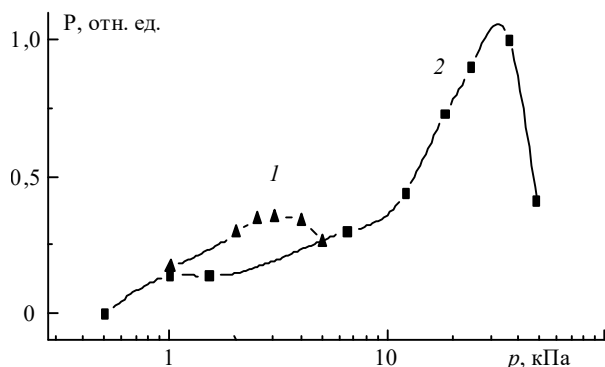


Рис. 2. Зависимость средней мощности излучения от парциального давления: 1 – ксенона; 2 – азота в смесях HgBr₂:Xe:He и HgBr₂:N₂:He соответственно. Общее давление газовых компонентов 121,6 кПа

Отметим, что при исследовании смеси с молекулярным азотом однородность разряда сохраняется до давления азота ≈ 48 кПа. При высших давлениях азота появляется набор искровых каналов, направленных радиально. Положение этих каналов постоянно меняется. Разряд приобретает пульсирующий характер. Для смеси же с ксеноном при достижении верхней границы давлений ксенона (~ 4 кПа) искровые каналы направлены вдоль оси газоразрядной трубки.

На рис. 3 приведены зависимости средней мощности излучения от числа импульсов на одной порции рабочей смеси. Скорость роста средней мощности излучения больше для смеси HgBr₂:N₂:He (зависимости 1, 2), чем для смеси HgBr₂:Xe:He (зависимость 3). И при достижении максимального значения средней мощности излучения смеси с добавкой азота ведут себя более устойчиво, чем смеси с добавкой ксенона. Так, для смеси HgBr₂:N₂:He при соотношении газовых компонент N₂:He = 1:4 после достижения максимального значения

мощность излучения на протяжении 8·10⁵ импульсов упала не более чем на 10%.

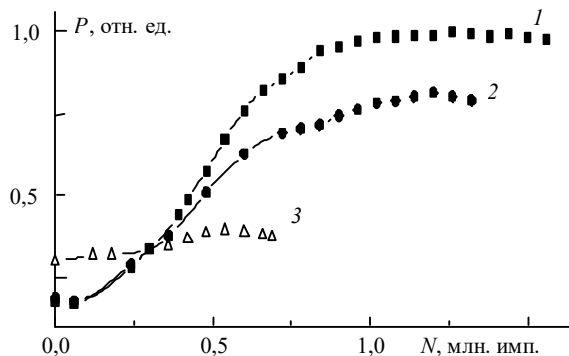


Рис. 3. Зависимость средней мощности излучения от общего числа импульсов: 1 – HgBr₂:N₂:He (соотношение N₂:He = 1:4); 2 – HgBr₂:N₂:He (соотношение N₂:He = 1:5,67); 3 – HgBr₂:Xe:He (соотношение Xe:He = 1:39). Общее давление 121,6 кПа. Частота следования импульсов накачки 1000 Гц

Кроме исследований излучательных характеристик от компонентного состава рабочей смеси были проведены измерения зависимости средней мощности излучения от напряжения накачки и частоты следования импульсов. При увеличении энергии, запасаемой на емкости 0,06 нФ диэлектрика (кварцевое стекло) от 0,13 до 0,34 мДж/см³, пропорционально увеличивается и средняя мощность излучения (рис. 4). Это имеет место и при изменении частоты следования импульсов от 400 до 1900 Гц. Насыщения мощности от частоты в исследуемом диапазоне не наблюдается. Для смеси HgBr₂:N₂:He при соотношении компонентов N₂:He = 1:3, общем давлении 121,6 кПа и частоте следования импульсов 1900 Гц достигается средняя мощность излучения 6,8 мВт. При накачке газоразрядной трубки только барьерным разрядом средняя мощность излучения была меньше в 1,5 раза по сравнению с накачкой комбинированным (барьерным и поверхностным) разрядом. Относительно низкие значения средней мощности излучения по сравнению с данными работ [4, 6] для молекул XeCl* и KrF* связаны с низкой концентрацией паров HgBr₂ ~ 10¹³ см⁻³, что соответствует температуре внешней стенки кюветы ~50 °С.

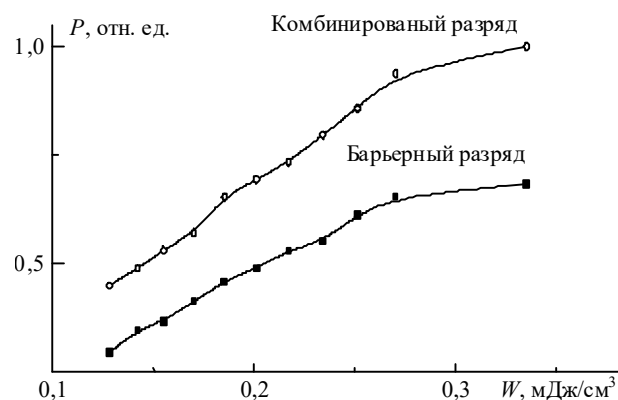


Рис. 4. Зависимость средней мощности излучения от запасаемой энергии на емкости диэлектрика

Заключение

На основании исследований энергетических характеристик в газоразрядной плазме на рабочих смесях HgBr-лазера разного компонентного состава и условий накачки можно сделать следующие выводы: 1) линейный рост средней мощности излучения зависит от частоты следования импульсов накачки в пределах 400–1900 Гц; 2) смеси состава HgBr₂:Xe: N₂:He и HgBr₂:N₂:He являются оптимальными по средней мощности излучения и КПД; 3) ресурс смеси составляет свыше 12 ч.

Полученные результаты исследований позволяют надеяться, что в будущем можно создать HgBr-лазер, работающий при повышенных частотах (свыше 1000 Гц) следования импульсов генерации и нагрева рабочих смесей за счет дис-

сипации энергии разряда, что существенно увеличит среднюю мощность генерации и КПД.

1. Malinin A.N. // Laser Physics. 1997. Т. 7. № 5. 1032–1040.
2. Малинин А.Н., Шуаيبов А.К., Шевера В.С. // Журнал прикладной спектроскопии. 1980. Т. 32. Вып. 4. С. 735–737.
3. Eliasson B., Gellert B. // J. Appl. Phys. Sept. 1990. V. 68(5). P. 2026–2037.
4. Визирь В.А., Скакун В.С., Смородов Г.В., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф., Фомин Е.А., Червяков В.В. // Квантовая электроника. 1995. Т. 22. № 5. 519–522.
5. Guivan N.N., Malinin A.N., Shimon L.L., Polyak A.V. HgBr-Excimer Lamp. Optimization of Parameters // Proc. International Multidisciplinary Conf. (Baia Mare, Romania). Serie C. 1999. V. 13. P. 86–89.
6. Борисов В.М., Водчиц В.А., Ельцов А.В., Христофоров О.В. // Квантовая электроника. 1998. Т. 25. № 4. С. 308–314.

A.N. Malinin, L.L. Shimon, N.N. Guivan, A.V. Polyak. The Optimization of Energy Characteristics in Gas-Discharge Plasma on the Working Mixtures of HgBr-laser.

Experimental results on the optimization of energy and resource characteristics of gas-discharge plasma on the HgBr-laser working mixtures have been presented. The operating concentration of mercury dibromide vapours in the cavity has been produced at the expense of high-frequency discharge energy dissipation ($f = 400 - 1900$ Hz). The emission excitation of the HgBr-molecules ($\lambda = 502$ nm) occurs in the plasma of longitudinal glow and barrier discharges in the mixtures of mercury dibromide and gases at atmospheric pressures (discharge length is 9 cm). The experiments were carried out within the limits of the energy stored in the 0.06 nF dielectric (glass) equal to 6.66 – 17.42 mJ. A linear increase in the average radiation power was established in respect to the pump pulse repetition frequencies within the limits of 400–1900 Hz. It was detected, that mixtures of HgBr₂:Xe:He, HgBr₂:Xe:N₂:He and HgBr₂:N₂:He are optimal over the average radiation power and efficiency. For the HgBr₂:N₂:He mixture it was of the order of 6.8 mW. Its service life was more than 12 hours.