

Генерация лазеров на парах металлов с разрядом поперечного типа и комбинированной активной средой

И.Г.Иванов, А.А.Олейников

Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Исследованы ионные лазеры, работающие с накачкой квантовых переходов в плазме разряда с полым катодом и использующие смесь нескольких рабочих веществ, что увеличивает набор лазерных линий, излучаемых одним лазером. Экспериментально найдены условия разряда, обеспечивающие различное соотношение мощности излучения на различных линиях для лазера на смеси гелия с парами кадмия и парами ртути с излучением на синей ($\lambda 441,6\text{нм}$), двух зелёных ($\lambda 533,7/537,8\text{нм}$) линиях иона кадмия и на красной ($\lambda 615\text{нм}$) линии иона ртути, а также – для лазера на смеси гелия с криптоном и парами ртути с излучением на сине-зелёных линиях иона криптона ($\lambda 431,8\text{нм}$ и $\lambda 469,4\text{нм}$) и на красной ($\lambda 615\text{нм}$) и ИК ($\lambda 794,5\text{нм}$) линиях иона ртути.

Ключевые слова: Ионный лазер на парах металла, разряд с полым катодом, комбинированная активная среда.

В настоящее время лазеры обеспечили прогресс в таких областях как измерительная техника [1], промышленность [2], научные исследования [3,4] и др. Газоразрядные ионные лазеры на парах металлов (ИЛПМ), использующие для накачки плазму отрицательного тлеющего свечения разряда поперечного типа с полым катодом (РПК), выгодно отличаются способностью одновременной генерации на нескольких квантовых переходах в различных частях оптического спектра [4-8]. Накачка лазерных квантовых переходов рабочего металла осуществляется в плазме, которая создается в смеси буферного инертного газа и паров металла. При этом накачка ИЛПМ импульсами тока микросекундной длительности имеет ряд преимуществ перед стационарной накачкой [6,7]. В большинстве случаев эффективная генерация на одном рабочем веществе [5,9] происходит только в небольшой части оптического спектра.

Целью данной работы является получение лазерного излучения одновременно на нескольких квантовых переходах в широком диапазоне длин волн при использовании смеси нескольких рабочих веществ.

Активная среда ИЛПМ (плазма) создавалась в секционированных

разрядных трубках со щелевым трубчатым катодом (рис.1).

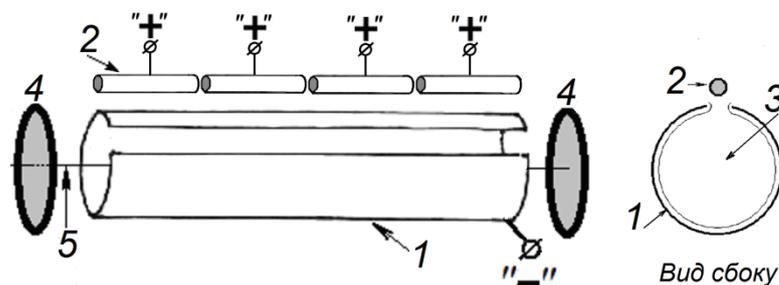


Рис. 1.– Схема ИЛПМ с РПК, оболочка трубки и испарители с металлом не показаны. 1-полый катод с продольной щелью, 2-анодные секции, 3-плазма разряда, 4-зеркала оптического резонатора, 5-ось катодной полости и оптического резонатора.

He-Cd-Hg ИЛПМ с РПК. В известном трехцветном ИЛПМ на смеси гелия с парами кадмия [8] мощность излучения на красной лазерной линии $\lambda 636\text{нм}$ значительно меньше мощности синей $\lambda 441,6\text{ нм}$ и зелёных $\lambda 533,7\text{нм}$ и $\lambda 537,8\text{нм}$ лазерных линий, то есть излучение не сбалансировано по спектру. Разработанный нами трехцветный ИЛПМ с РПК непрерывного действия использовал смесь гелия с парами кадмия и ртути, и работал на синей ($\lambda 441,6\text{нм}$), двух зелёных ($\lambda 533,7/537,8\text{нм}$) линиях Cd^+ , на красной ($\lambda 615\text{нм}$) и ИК ($\lambda 794\text{нм}$) линиях Hg^+ . Поскольку линия $\lambda 615\text{нм}$ Hg^+ имеет на порядок более высокую удельную мощность, чем красная линия $\lambda 636\text{нм}$ Cd^+ [8], то это позволяет значительно уменьшить габариты лазера и, кроме того,–в широких пределах осуществлять регулировку соотношения мощностей в красной и сине-зеленой частях спектра путём изменения давлений паров металлов и тока разряда (Таблица). В непрерывном режиме разряда при диаметре полости катода 3мм, равным мощностям на синей, зелёных и красной линиях (22мВт) соответствовали: давление гелия 1,75кПа, парциальные давления кадмия 13Па и ртути 5,5Па, плотность тока на катоде $j=0,04\text{А/см}^2$, и суммарная мощность излучения была в 1,8 раз выше, чем в смеси гелий-пары кадмия. При повышении давления паров ртути мощность

излучения на красной линии превышала мощность на синей и зелёных линиях, чем достигалось близкое к естественному (“белому”) свету соотношение цветов излучения данного ИЛПМ, который может быть использован, в частности, при обработке цветной графической информации.

Таблица

Параметры разряда и мощность излучения на отдельных линиях ИЛПМ непрерывного действия на смеси паров кадмия и ртути

| Давление паров металла в смеси | | Плотность тока на катоде, $\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ | Мощность излучения, мВт (удельная мощность излучения, $\text{mW} \cdot \text{cm}^{-3}$) на линиях | | |
|--------------------------------|----|--|--|-----------------------------------|-------------------------|
| Cd | Hg | | 441,6нм Cd ⁺ | 533,7/ 537,8нм Cd ⁺ | 615,0нм Hg ⁺ |
| 13 | 5 | 30 | 19,5 (9,7) | 22 (10,9) | 11 (5,5) |
| 13 | 5 | 40 | 24 (11,9) | 25 (12,4) | 17 (8,5) |
| 13 | 13 | 30 | 13 (6,4) | 16 (8) | 15,3 (7,6) |
| 13 | 13 | 40 | 17,5 (8,7) | 20 (9,9) | 26 (13) |

He-Kr-Hg импульсный ИЛПМ с РПК. Эффективность другого лазера, работающего на сине-зеленых линиях $\lambda 431,8$ и $\lambda 469,4$ нм Kr^+ , а также на красной $\lambda 615$ нм и ИК $\lambda 794,5$ нм линиях Hg^+ , определяется тем, что при накачке лазерных переходов энергия ионам криптона и ионам ртути передается от двух различных групп частиц в плазме РПК: от метастабильных атомов гелия в состоянии 2^3S_1 (реакция резонансной передачи энергии) и от ионов гелия He_0^+ в основном квантовом состоянии (реакция перезарядки) соответственно. Кроме того, в ионном спектре криптона отсутствуют энергетические уровни, заселяемые перезарядкой в столкновениях $\text{He}^+ - \text{Kr}_0$, вследствие чего введение в разряд криптона не приводит к возникновению дополнительного канала разрушения ионов гелия, то есть вся энергия, накопленная в ионах гелия He_0^+ , расходуется только на накачку лазерных линий ртути $\lambda 615$ нм и $\lambda 794,5$ нм Hg^+ . В

результате, по сравнению со смесью He-Cd-Hg, взаимовлияние двух рабочих веществ, заключающееся в снижении накачки одного рабочего вещества при введении второго вещества, сказывается в значительно меньшей степени.

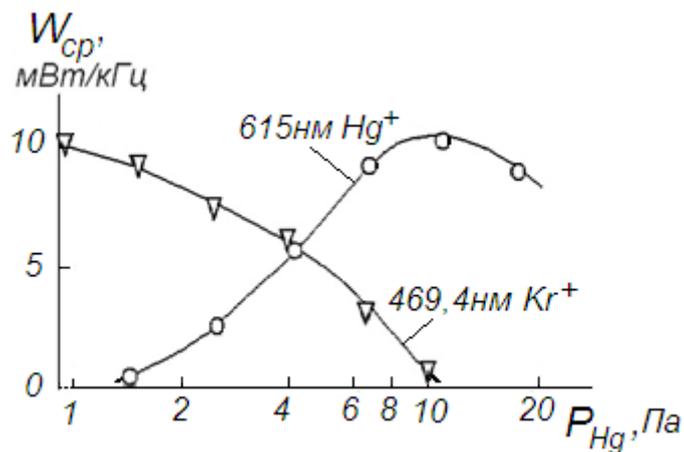


Рис. 2. – Средняя мощность излучения импульсного He-Kr-Hg ИЛПМ как функция давления паров ртути. Диаметр полости катода 0,8см, давление гелия 2,2кПа, криптона 15Па, длительность импульса 1мкс.

Рассмотрение кинетики процессов в активной среде He-Kr-Hg ИЛПМ приводит к следующим выражениям для скоростей накачки F линий 615нм Hg^+ и 469,4нм Kr^+ :

$$F(615нм) = 0,22 \cdot F(He_0^+), \quad (1)$$

$$F(469,4нм) = 0,63 \cdot F(He_m) \frac{N(Kr^+)}{\{N(Hg) + 0,05 \cdot N(Kr)\}}, \quad (2)$$

где N —концентрации компонент газоразрядной плазмы РПК.

Из (1,2) следует, что концентрация криптона, соответствующая режиму равных мощностей в красной и синей частях спектра, по сравнению с концентрацией паров Hg может быть сделана более высокой, что повышает мощность и коэффициент усиления на переходах $\lambda 431,8нм$ и $\lambda 469,4нм$ Kr^+ . Кроме того, криптон и ртуть оказываются эффективными веществами для комбинирования в смеси с гелием ввиду близких зависимостей лазерной мощности от j (вплоть до $j=1,0A/cm^2$). Рабочие характеристики He-Kr-Hg ИЛПМ с РПК показаны на рис.2. Видно, что режиму равных мощностей



соответствуют значения мощности на линиях 615нм Hg^+ и $469,4\text{нм Kr}^+$ около 5,5Ватт.

Применения. He-Cd-Hg и He-Kr-Hg ИЛПМ с РПК могут использоваться при обработке цветной графической информации, в многоцветной спекл-интерферометрии, в качестве стандарта длин волн в видимой части оптического диапазона [10].

Литература

1. Гусева Н.В., Киселёв М.М., Дородов П.В., Михеев Г.М., Морозов В.А. Измерение плотности ВЧ и СВЧ энергии методом лазерной интерференционной термометрии // Инженерный вестник Дона, 2013, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1489/.
2. Пимшин Ю.И., Заяров Ю.В., Бурдаков С.М., Науменко Г.А., Постой Л.В. Калибровка станков с числовым программным управлением с помощью лазерного трека VINTAG // Инженерный вестник Дона, 2016, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3667/.
3. Фесенко А.А., Чеботарев Г.Д., Латуш Е.Л. Энергетические характеристики рекомбинационных He-Sr⁺ лазеров // Инженерный вестник Дона, 2007, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2007/30/.
4. Иванов И.Г., Зинченко С.П. Генерация лазеров на парах металлов с разрядом поперечного типа при высокой частоте повторения импульсов накачки // Инженерный вестник Дона, 2016, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3694/.
5. Ivanov I.G., Latush E.L., Sem M.F. Metal Vapour Ion Lasers: Kinetic Processes and Gas Discharges. Chichester-New York-Brisbane-Toronto-Singapore: John Willey&Sons. 1996. 285 p.
6. Zinchenko S.P., Ivanov I.G. Pulsed hollow-cathode ion lasers: pumping and lasing parameters. Quantum Electronics. 2012. Vol.42. No.6. pp. 518-523.

7. Ryazanov A.V., Ivanov I.G., Privalov V.E. About Creation of Population Inversion in Mixture of Inert Noble Gas and Metal Vapor // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). 2014. Vol. 23. № 3. pp. 177-184.

8. Ivanov I.G., Privalov V.E. Spectral characteristics of gas discharge ion lasers on vapors of thallium and gallium // Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). 2016. Vol. 25. № 2. pp. 118-122.

9. Little C.E. Metal Vapour Lasers: Physics, Engineering and Applications.- Chichester-New York- Singapore-Toronto: John Wiley & Sons. 1999. 619 p.

10. Иванов В.А., Привалов В.Е. Применение лазеров в приборах точной механики. С-Пб.: Политехника, 1993. 216с.

References

1. Guseva N.V., Kiselev M.M., Dorodov P.V., Mikheev G.M., Morozov V.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1489/.

2. Pimshin Ju.I., Zajarov Ju.V., Burdakov S.M., Naumenko G.A., Postoj L.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3667/.

3. Fesenko A.A., Chebotarev G.D., Latush E.L. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2007, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2007/30/.

4. Ivanov I.G., Zinchenko S.P. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3694/.

5. Ivanov I.G., Latush E.L., Sem M.F. Metal Vapour Ion Lasers: Kinetic Processes and Gas Discharges. Chichester-New York-Brisbane-Toronto-Singapore: John Willey&Sons. 1996. 285 p.

6. Zinchenko S.P., Ivanov I.G. Quantum Electronics, 2012, Vol.42. No 6, pp.518-523.

7. Ryazanov A.V., Ivanov I.G., Privalov V.E. Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). 2014. Vol. 23. No 3. pp.177-184.



8. Ivanov I.G., Privalov V.E. Optical Memory and Neural Networks (Information Optics). 2016. Vol. 25. № 2. pp.118-122.

9. Little C.E. Metal Vapour Lasers: Physics, Engineering and Applications. Chichester-New York. Singapore-Toronto: John Wiley&Sons. 1999. 619 p.

10. Ivanov V.A., Privalov V.E. Primenenie lazerov v priborah tochnoj mekhaniki. [Laser application in devices of precision mechanics]. St. Petersburg: Politehnika, 1993. 216 p.