

## 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).

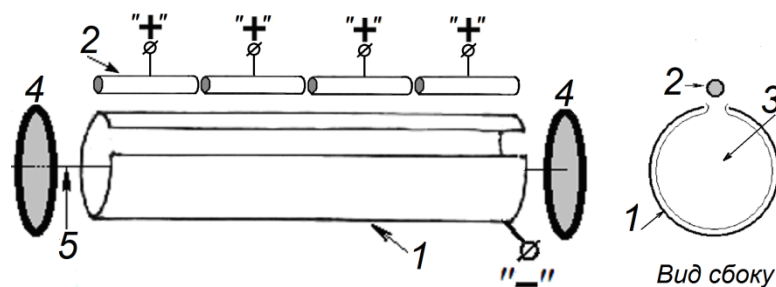


Рис. 1.– Схема ИЛПМ с РПК, оболочка трубки и испарители с металлом не показаны. 1-полый катод с продольной щелью, 2-анодные секции, 3-плазма разряда, 4-зеркала оптического резонатора, 5-ось катодной полости и оптического резонатора.

**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  $\text{Cd}^+$ , на красной ( $\lambda 615\text{нм}$ ) и ИК ( $\lambda 794\text{нм}$ ) линиях  $\text{Hg}^+$ . Поскольку линия  $\lambda 615\text{нм}$   $\text{Hg}^+$  имеет на порядок более высокую удельную мощность, чем красная линия  $\lambda 636\text{нм}$   $\text{Cd}^+$  [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 <sup>+</sup>	533,7/ 537,8нм Cd <sup>+</sup>	615,0нм Hg <sup>+</sup>
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  $\text{Kr}^+$ , а также на красной  $\lambda 615$ нм и ИК  $\lambda 794,5$ нм линиях  $\text{Hg}^+$ , 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  $2^3\text{S}_1$  (реакция резонансной передачи энергии) и от ионов гелия  $\text{He}_0^+$  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  $\text{He}_0^+$ , расходуется только на накачку лазерных линий ртути  $\lambda 615$ нм и  $\lambda 794,5$ нм  $\text{Hg}^+$ . 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.

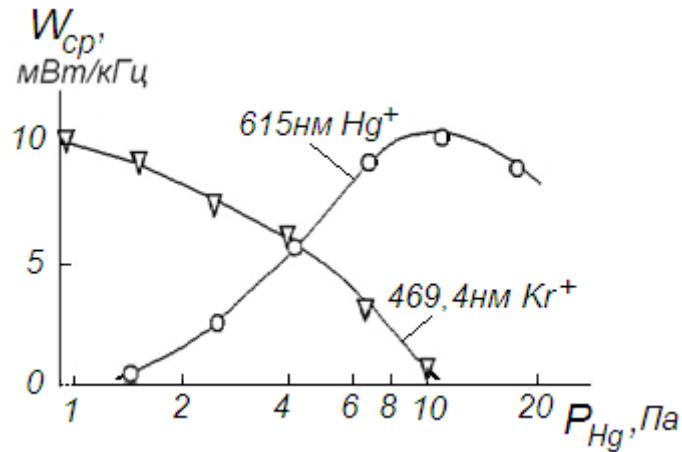


Рис. 2. – Средняя мощность излучения импульсного He-Kr-Hg ИЛПМ как функция давления паров ртути. Диаметр полости катода 0,8см, давление гелия 2,2кПа, криптона 15Па, длительность импульса 1мкс.

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

$$F(615\text{нм}) = 0,22 \cdot F(\text{He}_0^+), \quad (1)$$

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

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  $\lambda 431,8\text{нм}$  и  $\lambda 469,4\text{нм}$  Kr<sup>+</sup>. Кроме того, криптон и ртуть оказываются эффективными веществами для комбинирования в смеси с гелием ввиду близких зависимостей лазерной мощности от  $j$  (вплоть до  $j=1,0\text{А/см}^2$ ). Рабочие характеристики He-Kr-Hg ИЛПМ с РПК показаны на рис.2. Видно, что режиму равных мощностей



соответствуют значения мощности на линиях  $615\text{нм Hg}^+$  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/](http://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 трекера VINTAG // Инженерный вестник Дона, 2016, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3667/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3667/).
3. Фесенко А.А., Чеботарев Г.Д., Латуш Е.Л. Энергетические характеристики рекомбинационных He-Sr<sup>+</sup> лазеров // Инженерный вестник Дона, 2007, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2007/30/](http://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/](http://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. Inženernyj 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. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3667/.

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

4. Ivanov I.G., Zinchenko S.P. Inženernyj 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: Politekhnik, 1993. 216 p.