

Генерация лазеров на парах металлов с разрядом поперечного типа при высокой частоте повторения импульсов накачки

И.Г.Иванов¹, С.П.Зинченко²

¹*Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону*

²*Южный научный центр Российской Академии наук*

Аннотация: Исследованы лазеры, работающие на смеси гелия с парами ртути и на смеси неона с парами таллия, в которых инверсия населенностей и генерация осуществляется на ионных квантовых переходах ртути с длинами волн 615 нм и 794,5 нм, и таллия – с длинами волн 594,9 нм и 695 нм. Экспериментально найдены оптимальные условия накачки лазеров при использовании разряда поперечного типа в полном катоде при высокой частоте повторения импульсов тока, а также ёмкостного высокочастотного разряда. Исследована частотная структура лазерных линий иона таллия, вызванная сверхтонким расщеплением лазерных уровней.

Ключевые слова: ионный лазер на парах металла, высокочастотный разряд, разряд с полным катодом при высокой частоте повторения импульсов тока, оптимальные условия для генерации.

В настоящее время лазеры обеспечили прогресс в таких областях как измерительная техника [1], промышленность [2], научные исследования [3] и др. Газоразрядные ионные лазеры на парах металлов (ИЛПМ) выгодно отличаются способностью одновременной генерации на нескольких квантовых переходах в различных частях оптического спектра [4]. Накачка ИЛПМ осуществляется в смеси буферного инертного газа и паров металла [3,4], при этом большое число лазерных переходов возбуждается в плазме отрицательного тлеющего свечения (ОТС) поперечного разряда двух типов: разряда с полным катодом (РПК) и ёмкостного высокочастотного разряда с полным электродом (ЕВЧРПЭ) [4-6]. Накачка лазерных квантовых переходов в плазме этих разрядов обеспечивается неупругими столкновениями между атомами металла и ионами буферного газа. В результате в ИЛПМ с РПК и ЕВЧРПЭ, по сравнению с накачкой в продольном разряде, возрастает мощность и снижается уровень шумов лазерного излучения, а также отсутствуют доплеровские сдвиги по частоте [4,6]. Питание ИЛПМ с РПК осуществляется постоянным током, а с ЕВЧРПЭ – напряжением с частотой

1...30 МГц. Физические процессы и в РПК, и в ЕВЧРПЭ, оказываются близкими по своей природе, что обеспечивает обоим типам разряда подобные характеристики. Преимущества накачки ИЛПМ импульсами тока микросекундной длительности подробно описаны в [4,5,7,8]. Реализовать импульсный режим в ИЛПМ с ЕВЧРПЭ оказывается технически сложнее, чем в ИЛПМ с РПК, питающимся постоянным током. В то же время идентичность процессов накачки позволяет, избежав технических трудностей, на примере ИЛПМ с РПК, выявить оптимальный режим возбуждения лазеров с обоими типами разряда. Целью данной работы является получение максимальной мощности лазерного излучения в ИЛПМ путем использования для накачки поперечного разряда с высокой частотой повторения импульсов (ЧПИ) и оптимизации параметров таких импульсов.

Экспериментальная техника. Активная среда ИЛПМ создавалась в разрядных трубках для РПК с трубчатым катодом со щелью (рис.1,а,б), либо в трубках для ЕВЧРПЭ – с массивным электродом, имевшим паз круглого сечения (рис.1,в). Полость катода в наших экспериментах была диаметром ($d_{\text{кат}}$) 0,9 и 2 см.

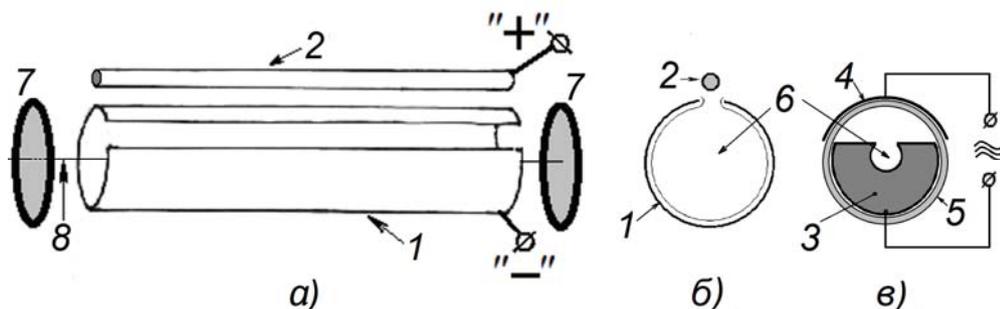


Рис. 1. Схема ИЛПМ с РПК (а, б), оболочка трубки не показана, и с ЕВЧРПЭ (в). 1, 2-полый катод с продольной щелью и стержневой анод для РПК, 3, 4-внутренний и наружный электроды для ЕВЧРПЭ, 5-диэлектрическая оболочка разрядной трубки ИЛПМ с ЕВЧРПЭ, 6-плазма ОТС, 7-зеркала оптического резонатора, 8-ось катодной полости и оптического резонатора. Испарители с металлом не показаны.

Измерения выполнялись для двух наиболее эффективных сред [5]: смесей He-Hg (для генерации на ионных линиях ртути с $\lambda 615$ и $\lambda 794,5\text{нм}$) и Ne-Tl (для генерации на ионных линиях таллия с $\lambda 594,9\text{нм}$ и $\lambda 695\text{нм}$). Импульс тока формировался или путём полного разряда накопительной LC-линии через разрядный промежуток и тиратрон, или частичного разряда через лучевой тетрод. Оптимальное давление паров металлов составляло около 10 Па, а буферных газов: $p_{\text{буф}} \approx (9/d_{\text{кат}})$ кПа, где $d_{\text{кат}}$ выражено в см.

Характеристики ИЛПМ при малой (до 10 кГц) ЧПИ. Для смеси He-Hg при диаметре и длине катода: $d_{\text{кат}}=0,9$ см и $l_{\text{кат}}=40$ см, коэффициент усиления активной среды составлял $g \approx 30 \text{ дБ} \cdot \text{м}^{-1}$, а удельная импульсная мощность при изменении ЧПИ f оставалась постоянной $P_{\text{имп}}^{\text{уд}}=0,5 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-3}$. Полная импульсная мощность $P_{\text{имп}}$ была максимальна при длительности импульса тока $\tau \sim 1 \dots 1,5$ мкс. Средняя мощность $P_{\text{ср}}$ монотонно увеличивалась с ростом τ (при $\tau \approx 0,5 \dots 4$ мкс), а с ростом f возрастала линейно по закону: $P_{\text{ср}}(\text{мВт}) \approx 12,1 \cdot f$ (кГц). Для смеси Ne-Tl: $g \approx 15 \text{ дБ} \cdot \text{м}^{-1}$, а $P_{\text{имп}}^{\text{уд}} \approx 0,5 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-3}$.

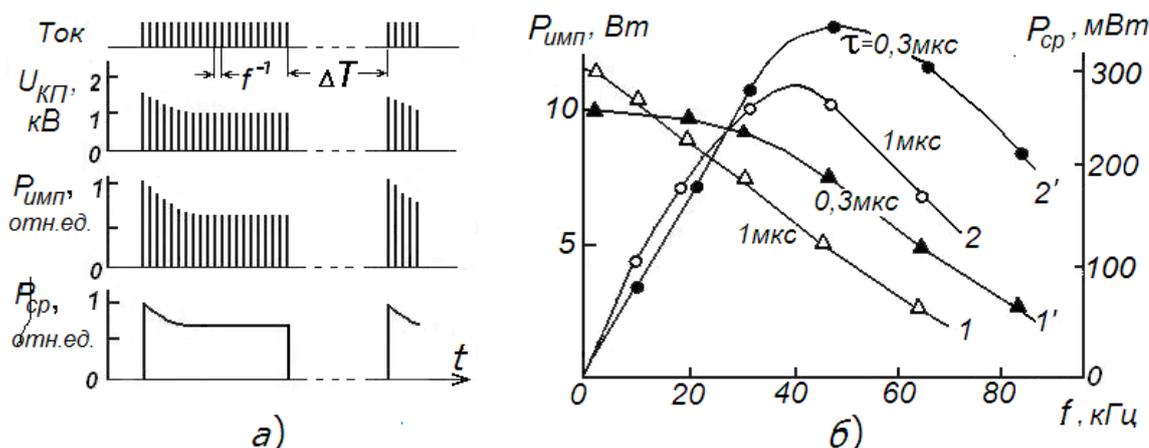


Рис. 2. He-Hg ИЛПМ при высоких ЧПИ (лазерная линия 615 нм, метод цугов)

Характеристики ИЛПМ при высокой ЧПИ. Измерения при повышении ЧПИ, вплоть до 100 кГц, выполнялись при накачке РПК “цугами” импульсов с их количеством в цуге до 75-ти, при $\tau=0,3 \dots 1,0$ мкс (см., рис. 2). При этом за ЧПИ принималась величина, обратная интервалу между импульсами в

цуге. Оказалось, что уровень мощности окончательно устанавливается в цуге только к 5...10-му импульсу. Изменение $P_{\text{ср}}$ в цуге находилось усреднением импульсной мощности за время $(f)^{-1}$. В Таблице приведены значения оптимальной ЧПИ $f_{\text{опт}}$, а также значения $P_{\text{имп}}$ и $P_{\text{ср}}$ при оптимальных $f_{\text{опт}}$ и оптимальном токе $I_{\text{имп}}$. Более низкая оптимальная ЧПИ для Ne-Tl ИЛПМ определяется тем, что уменьшение $P_{\text{имп}}$ с ростом ЧПИ происходит здесь примерно в 3 раза быстрее [9].

Таблица

Выходная мощность ИЛПМ при высокой ЧПИ накачки

λ , нм	$d_{\text{кат}}$, см, ($l_{\text{катода}}$, см)	$I_{\text{имп}}$, А (при τ , мкс)	$f_{\text{опт}}$, кГц	$P_{\text{имп}}$, Вт, ($P_{\text{имп}}^{\text{уд}}$, Вт·см ⁻³)	$P_{\text{ср}}$, Вт ($P_{\text{ср}}^{\text{уд}}$, мВт·см ⁻³)
Hg ⁺ 615,0	0,9 (40)	105 (1)	41	5,9 (0,24)	0,29 (11,6)
Hg ⁺ 615,0	2 (40)	205 (1)	34	15 (0,12)	0,61 (5,1)
Tl ⁺ 594,9	1,45 (40)	70 (0,5)	18	9,8 (0,14)	0,195 (3)

Спектральные характеристики. В [10] было обнаружено, что линия 615 нм Ne-Hg ИЛПМ расщеплена на несколько компонент, соответствующих изотопам ртути ¹⁹⁸Hg, ²⁰⁰Hg and ²⁰²Hg, с интервалом около 800МГц между ближайшими компонентами, и имеет полную ширину ~3ГГц.

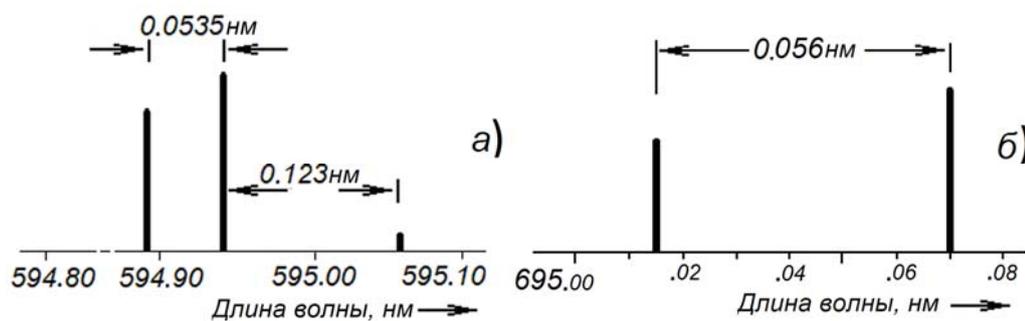


Рис. 3. Частотная структура лазерных линий 594,9нм и 695нм в Ne-Tl ИЛПМ.

Наши измерения для Ne-Tl ИЛПМ показали (рис. 3), что линия 594,9нм расщеплена на три группы компонент, что вызвано изотопическим сдвигом и

сверхтонким расщеплением верхнего и нижнего лазерных уровней изотопов ^{203}Tl и ^{205}Tl , которое превышает доплеровскую ширину линии (рис. 3,а). Измеренные интервалы между компонентами составляют 0,0535 нм (45,3286 ГГц) и 0,123 нм (102 ГГц). Интервал между компонентами линии 695 нм Ne-Tl ИЛПМ (рис. 3,б) составил 0,056 нм (34,7459 ГГц).

Выводы. Таким образом, в работе показано, что импульсная мощность излучения активных элементов Ne-Hg и Ne-Tl ИЛПМ достигает единиц Ватта, а средняя – долей Ватта, и эти лазеры могут эффективно использоваться в метрологии в качестве стандартов частоты, в системах обработки информации и других областях.

Данная работа поддержана проектной частью гранта Южного федерального университета 2014 – 2016 г.г., № 213.01.– 07.2014/08 ПЧВГ.

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 трекера 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. 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.

5. Зинченко С.П., Иванов И.Г. Импульсные ионные лазеры с полым катодом: параметры накачки и генерации. Квантовая электроника. 2012. Т.42. № 6. С.518-523.

6. Строкань Г.П. Особенности формирования приэлектродного разряда в лазерах с поперечным ВЧ разрядом // Журнал технической физики. 2008. Т.78. №2. С.91-94.

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. Kinetics of active media of He-Zn⁺, He-Cd⁺, He-Tl⁺ and Ne-In⁺ Hollow Cathode Lasers and New Laser Lines // Proc. SPIE. 2004 . Vol. 5483. pp.104-119.

9. Иванов И.Г., Сэм М.Ф. Кинетика активных сред He-Hg, Ne-Tl и Ne-Ga импульсных ионных лазеров с разрядом в полном катоде // Оптика атмосферы и океана. 2001. Т.14. №11, С. 1016-1021.

10. Byer R.L., Bell W.E., Hodges E., Bloom A.L. Laser emission in ionized mercury: isotope shift, linewidth and precise wavelength // J. Opt. Soc. Am. 1965. Vol.55. №12. pp.1598-1602.

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., 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.
5. Zinchenko S.P., Ivanov I.G. Quantum Electronics, 2012, Vol.42. No 6, pp.518-523.
6. Strokan G.P. Sov.Phys.-Techn.Physics. 2008. Vol.78. №2. pp.91-94 (in Russian).
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. Proc. SPIE. 2004. Vol. 5483.pp. 104-119.
9. Ivanov I.G., Sem M.F. Optika Atmosfery i Okeana. 2001. Vol. 14, No.11, pp.1016-1021. (in Russian).
10. Byer R.L., Bell W.E., Hodges E., Bloom A.L. J. Opt. Soc. Am. 1965. Vol.55. No12. pp.1598-1602.