

04; 07

© 1992

УВЕЛИЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ  
НА  $\lambda = 585.3$  НМ ПЛАЗМЕННОГО НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА  
В ЧЕТЫРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СМЕСИМ.И. Ломаев, С.В. Мельченко,  
В.Ф. Тарасенко, А.В. Феденев

1. В последнее время возрос интерес к лазерам с ядерной накачкой [1, 2] и к моделированию с помощью пучков электронов ядерной накачки [3]. Для создания лазеров - реакторов необходимо использовать активные среды на основе плотных газов с низким порогом генерации. Известно, что применение для получения генерации на  $3p-3s$  переходах неона четырехкомпонентных смесей, в которых в качестве „тушителя” нижнего лазерного уровня используются одновременно две компоненты с потенциалом ионизации ниже энергии  $3s$  уровней неона, например, совместное использование аргона и водорода, позволило на  $3p-3s$  переходах неона при накачке самостоятельным разрядом с УФ-предыонизацией понизить порог генерации [4], а при накачке пучком электронов микросекундной длительности и сравнительно большой плотности (мощность накачки  $\sim 2.5$  кВт/см<sup>3</sup>) увеличить энергию и КПД генерации [5, 6], однако условия накачки в [4-6] существенно отличались от реализуемых в лазерах - реакторах [1, 2].

В данной работе исследовано влияние на характеристики генерации добавок водорода к смеси  $He - Ne - Ar$  при сравнительно малых мощностях и больших длительностях импульса возбуждения электронным пучком, и показано, что в смеси с  $H_2$  коэффициент усиления увеличивается более чем в два раза, повышается пороговое пропускание резонатора, а также наблюдается зависящее от добротности резонатора увеличение выходной мощности излучения.

2. В экспериментах использовалась установка, подробно описанная в [7]. Радиально сходящийся электронный пучок инжектировался в газовую смесь при давлении до 1.5 атм. Длина активной области равнялась 60 см. Ток пучка, измеренный за фольгой, составлял в данных экспериментах  $\sim 60$  А при длительности импульса  $\sim 30$  мкс, а энергии ускоренных электронов в вакуумном диоде  $E = 120-190$  кэВ. В качестве резонатора применялись зеркала с диэлектрическим покрытием. Для регистрации временных характеристик генерации использовался ФЭК-22 СПУ, сигнал с которого подавался на осциллограф С8-17. В экспериментах со спонтанным излучением линия 585.3 нм выделялась с помощью

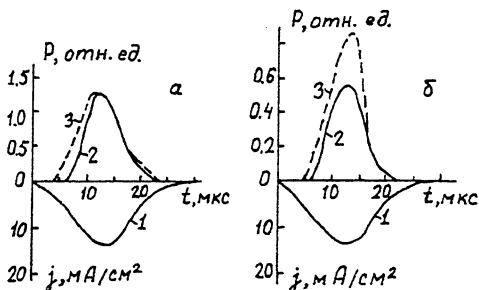


Рис. 1. Осциллограммы импульсов тока пучка (1) и лазерного излучения в смеси  $He - Ne - Ar$  (2) и  $He - Ne - Ar - H_2$  (3). а - пропускание выходного зеркала  $T=2.7\%$ , б -  $T=7.4\%$ .

МДР-12 и регистрировалась ФЭУ-62. Все измерения обычно проводились для центральной части активного объема.

3. Коэффициенты усиления и поглощения в активной среде рассчитывались по экспериментально снятой зависимости выходной мощности лазерного излучения от коэффициента отражения выходного зеркала резонатора. Расчеты базировались на системе уравнений для бегущих волн, распространяющихся вдоль оси резонатора в противоположных направлениях (см., например, [8]):

$$\frac{dJ^{(+)}}{dz} = -\alpha J^{(+)} - \frac{g_0 J^{(+)}}{1 + J^{(+)} + J^{(-)}},$$

$$-\frac{dJ^{(-)}}{dz} = -\alpha J^{(-)} - \frac{g_0 J^{(-)}}{1 + J^{(+)} + J^{(-)}}.$$

Здесь  $J^{+}$  - интенсивность волны, бегущей к плотному зеркалу, нормированная на интенсивность насыщения;  $J^{(-)}$  - нормированная интенсивность волны, бегущей к выходному зеркалу;  $g_0$  - коэффициент усиления слабого сигнала;  $\alpha$  - коэффициент ненасыщенного поглощения;  $Z$  - ось, направленная вдоль оси резонатора.

По нашим оценкам, попытки упрощения решения этой системы (например, [9]) сильно снижают точность расчета параметров активной среды. Например, при расчете  $g_0$  и  $\alpha$  по коэффициенту отражения выходного зеркала  $R_{opt}$ , позволяющему получить максимальную выходную мощность  $P_{opt}$ , и пороговой добротности резонатора с отражением выходного зеркала  $R_{min}$  ошибка в определении  $R_{opt}$  на 1% для  $Ne$  лазера приводит к ошибке в определении  $\alpha$  не менее, чем в 5 раз. Поэтому в данной работе решалось трансцендентное уравнение, получаемое при интегрировании выражения

$$\frac{dJ}{dz} = -\left(\alpha - \frac{g_0 J}{J + J^2 + J_0^2}\right)J$$

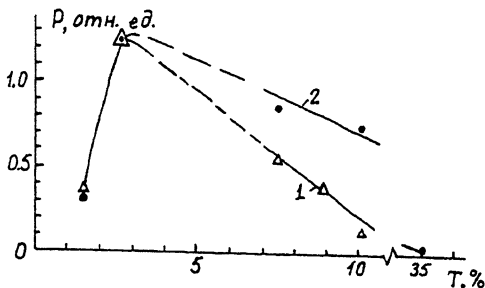


Рис. 2. Зависимость мощности лазерного излучения в смесях  $He - Ne - Ar$  (1) и  $He - Ne - Ar - H_2$  (2) от пропускания выходного зеркала.

по  $z$  [8] ( $J_0$  - интенсивность излучения на глухом зеркале). Считалось, что излучение развивается от уровня квантового шума  $P_{ш} = h\nu S\nu \sim 10^{-2}$  Вт ( $\nu$  - частота, а  $S\nu$  - ширина лазерного перехода). Коэффициент усиления менялся ступенчато от нуля до максимального значения и снова до нуля в соответствии с формой импульса накачки. Количество ступенек определялось исходя из условия, чтобы время, соответствующее каждой ступеньке, было много меньше длительности фронта импульса накачки. Количество проходов на каждой ступеньке вычислялось по соотношению длительности ступеньки и времени одного обхода резонатора излучением. Конкретно для данных расчетов количество ступенек на каждом фронте равнялось 10, а число обходов резонатора излучением равнялось 50. Последовательно вычислялась пиковая мощность выходного лазерного излучения для каждой добротности резонатора, и методом наименьших квадратов расчетная кривая накладывалась на экспериментальные точки. Погрешность определения параметров активной среды при ошибке эксперимента 20% составляла не более 30%.

4. Параметры генерации и спонтанного излучения были измерены в смеси, обычно используемой для получения лазерного излучения на  $\lambda = 585.3$  нм неона ( $He : Ne : Ar = 1.0$  атм : 0.27 атм : 0.02 атм) и в этой же смеси в добавку 0.4 Тор водорода. Полученные результаты иллюстрируются рис. 1, рис. 2 и таблицей. В обеих смесях генерация наблюдается в квазистационарном режиме. В смеси  $He - Ne - Ar$  порог генерации при использовании выходного зеркала с пропусканием 2.7% достигался при плотности тока  $j_{пор} \sim 7$  мА/см<sup>2</sup>, задержка импульса генерации относительно импульса тока пучка составляла при этом  $\sim 7$  мкс. Максимум мощности излучения достигался, как и в [10], несколько раньше максимума тока пучка. Уменьшение добротности резонатора по отношению к оптимальной приводило к уменьшению длительности импульса генерации и увеличению порога генерации. Так, при пропускании выходного зеркала 9.9% длительность импульса излучения

Данные по коэффициентам усиления слабого сигнала и ненасыщенного поглощения

Рабочая смесь, атм	Коэффициент усиления, $\text{см}^{-1}$	Коэффициент поглощения, $\text{см}^{-1}$	Мощность накачки, $\text{кВт/см}^3$	Длительность импульса накачки, мкс	Ссылка
He : Ne : Ar = 1.0 : 0.27 : 0.02	$6 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	0.025	30	Наст. раб.
He : Ne : Ar : H <sub>2</sub> = 1.0 : 0.27 : 0.02 : 0.0004	$1.6 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5}$	0.025	30	Наст. раб.
He : Ne : Ar = 3 : 0.2 : 0.015	$3.8 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$ $-1.3 \cdot 10^{-2}$	2.5	1.5	[6]
He : Ne : Ar : H <sub>2</sub> = 3.0 : 0.3 : 0.015 : 0.0004	$3.8 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-3}$	2.5	1.5	[6]

на  $\lambda = 585.3$  нс составила 5 мкс на полувысоте, время задержки  $\sim 10$  мкс, а  $j_{пор} \sim 14$  мА/см<sup>2</sup>. Пороговое пропускание зеркала для тройной смеси не превышало  $\sim 10\%$ , см. рис. 2. Добавка 0.4 Тор водорода к этой же смеси увеличила коэффициент усиления в 2.5 раза без изменения поглощения в активной среде, снизила пороговую плотность тока до 5 мА/см<sup>2</sup>, увеличила пороговое пропускание резонатора до  $\sim 35\%$  и оказала влияние, зависящее от добротности резонатора, на мощность излучения: при уменьшении добротности резонатора и фиксировании всех остальных параметров мощность излучения возрастала в несколько раз. Осциллограммы спонтанного излучения на  $\lambda = 585.3$  нм при условии отсутствия генерации (вместо выходного зеркала устанавливалась кварцевая пластинка) в трех- и четырехкомпонентных смесях имели одинаковую форму, но интенсивность спонтанного излучения в смеси  $He - Ne - Ar - H_2$  возрастала на  $\sim 20\%$ , что свидетельствует об увеличении населенности верхнего лазерного уровня и коррелирует с увеличением коэффициента усиления в этой смеси.

Отметим, что значения коэффициентов усиления и поглощения, полученные в настоящей работе, приводятся в таблице для момента времени, соответствующего максимальной мощности излучения. В таблице также приведены значения коэффициентов усиления и поглощения, полученные в [6] при мощности накачки, большей на два порядка. Авторы [6] при добавках водорода регистрировали уменьшение коэффициента поглощения, а коэффициент усиления в условиях их экспериментов не изменялся.

5. Для определения причин обнаруженных эффектов были проделаны оценки возможного влияния добавки водорода на скорость охлаждения электронов и возможность существенного вклада в заселение верхнего лазерного уровня реакции трехчастичной рекомбинации  $Ne^+$ , стабилизированной третьей частицей – молекулой водорода, для чего использовались данные работ [11-13]. Однако из-за малого количества водорода в смеси и большого содержания в ней гелия скорость охлаждения электронов определяется гелием, а скорость трехчастичной рекомбинации уступает скорости диссоциативной рекомбинации, поэтому для выяснения причины обнаруженных эффектов требуются дополнительные исследования.

6. Таким образом, в настоящей работе приводятся данные о том, что в смеси  $He - Ne - Ar$ , накачиваемой электронным пучком малой плотности и большой длительности, при добавках водорода увеличивается коэффициент усиления, снижается порог генерации, увеличивается пороговое пропускание резонатора и наблюдается зависящее от добротности резонатора увеличение мощности лазерного излучения.

Авторы благодарят П.М. Шанина за возможность использования для экспериментов ускорителя с плазменным эмиттером, а Н.Н. Ковалева и А.С. Бугаева за помощь в подготовке ускорителя для экспериментов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] В о и н о в А.М. и др. // ДАН СССР. 1990. Т. 312. В. 4. С. 864-867.
- [2] Тез. докл. отраслевой конференции „Физика ядерновозбуждаемой плазмы и проблемы лазеров с ядерной накачкой“. 26-29 мая 1992 г. Обнинск.
- [3] Т а р а с е н к о В.Ф., Ф е д е н е в А.В. // Там же. С. 152.
- [4] Л о м а е в М.И., П а н ч е н к о А.Н., Т а р а с е н к о В.Ф. // Квантовая электроника. 1987. Т. 14. № 5. С. 993.
- [5] А л е к с а н д р о в А.Ю., Д о л г и х В.А., К е р и м о в О.М., Р у д о й И.Г., С а л а м а т и н А.Ю. С о р о к а А.М. // Изв. АН СССР, сер. физическая. 1989. Т. 53. № 8. С. 1474.
- [6] А л е к с а н д р о в А.Ю., Д о л г и х В.А., Р у д о й И.Г., С о р о к а А.М. // Квантовая электроника. 1991. Т. 18. № 6. С. 673-675; Квантовая электроника. 1991. Т. 18. № 9. С. 1029-1033.
- [7] Б у г а е в А.С., К о в а л ь Н.Н., Р ы ж о в В.В., Т а р а с е н к о В.Ф., Т у р ч а н о в с к и й И.Ю., Ф е д е н е в А.В., Ш а н и н П.М. // Квантовая электроника. 1990. Т. 17. № 1. С. 17-19.
- [8] К а р л о в Н.В. Лекции по квантовой электронике. М.: Наука, 1983. С. 47.
- [9] R i g r o d W. // IEEE J. Quant. Electr. V. QE-14. N 5. 1978. P. 377-381.
- [10] Б у н к и н Ф.В., Д е р ж и е в В.И., К о в а л ь Н.Н., М е с я ц Г.А., С к а к у н В.С., Т а р а с е н к о В.Ф., Ш а н и н П.М., Я к о в л е н к о С.И. // Радиотехника и электроника. 1987. Т. 232. № 8. С. 1672-1677.
- [11] Газовые лазеры / Под ред. И. Мак-Даниеля, У. Нигана. М.: Мир, 1986.
- [12] Б о й ч е н к о А.М., Д е р ж и е в В.И., Ж и д к о в А.Г., К а р е л и н А.В., К о в а л ь А.В., С е р е д а О.В., Я к о в л е н к о С.И. // Труды ИОФ АН. 1989. Т. 21. С. 44-115.
- [13] Ч е б о т а р е в Г.Д. // Дисс. т.канд. ф.-м.н. Ростов-на-Дону: РГУ, 1988. 204 с.