

02;04;07

Возможности повышения эффективности отпаянного азотного лазера

© А.И. Федоров

Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск
E-mail: fedorov@asd.iao.ru

Поступило в Редакцию 12 января 2005 г.

Приведены результаты экспериментальных исследований для отпаянного азотного лазера, работающего в импульсно-периодическом режиме с частотой 40 Hz. Рассмотрены возможности повышения эффективности азотного лазера за счет применения квазистационарного способа ввода энергии возбуждения в активную среду, состоящую из азота или смесей азота с гелием или неоном. Показано, что за счет буферных газов гелия или неона можно существенно повышать энергетические параметры излучения, а соответственно эффективность азотного лазера. Разработан малогабаритный отпаянный лазер с эффективностью 0.27%, обеспечивающий пиковую мощность излучения 160 kW с энергией 0.8 mJ.

Малогабаритные отпаянные импульсно-периодические азотные лазеры являются перспективными источниками УФ-излучения ближнего диапазона. Они применяются для накачки органических красителей, в лазерной химии, в спектроскопических исследованиях, для диагностики газоразрядной плазмы и т.д. [1]. Потребителей азотных лазеров привлекает простота работы с ними, химическая инертность активной среды и относительно небольшая стоимость приборов по сравнению с эксимерными лазерами. Для ряда применений длина волны генерации 337.1 nm на второй положительной системе полос $C^3\Pi_u - V^3\Pi_g$ молекулярного азота оказывается наиболее эффективной. Можно также получать генерацию как в ближней ИК-области спектра на первой положительной системе полос $V^3\Pi_g - A^3\Sigma_u$ молекулярного азота, так и одновременную генерацию в УФ- и ИК-областях спектра излучения [2], что существенно расширяет возможности его применения.

Недостатками азотного лазера считаются низкий практический коэффициент полезного действия (КПД) $< 0.1\%$, низкая энергия излучения в импульсе ≤ 0.1 mJ, ограниченный ресурс работы активной среды $\sim 10^6$ импульсов излучения и большая расходимость излучения. Грубые

оценки авторов работы [3] показали, что КПД азотного лазера может достигать 4%. В работах [4–6] сообщалось о получении КПД лазера от 0.4 до 3%. Высокая его эффективность достигалась за счет высокотехнологической разработки элементов системы возбуждения и их согласования с активным объемом лазера. Авторами ряда работ также показана возможность увеличения длительности импульсов излучения до 40 ns [7–9], повышения энергии излучения до 30 mJ [6,8,10,11] и уменьшения расходимости лазерного излучения [9,11–13]. Многочисленные попытки математического моделирования процессов, протекающих в азотном лазере, обычно касаются способа накачки быстрым разрядом. Соответственно они не дают удовлетворительного согласования с имеющимися экспериментальными данными. Это затрудняет поиск условий для получения требуемых характеристик и создания азотного лазера с высоким КПД, исходя из традиционно сложившихся представлений о способе его накачки. Поэтому многие исследователи проявляют повышенный интерес к разработке эффективного азотного лазера [6,14–17].

В работе рассмотрена возможность повышения КПД азотного импульсно-периодического лазера за счет применения квазистационарного ввода энергии возбуждения в активную среду, состоящую из молекулярного азота и инертных газов гелия или неона [9,18]. Азотный лазер работал в отпаянном режиме с частотой повторения импульсов до 40 Hz. Исследования проводились на установке, параметры и конструктивные особенности которой подробно приведены в работе [13]. Поперечный разряд возбуждения осуществлялся в активном объеме $7 \times 5 \times 200$ mm с буферным объемом 1 литр. Активная среда накачивалась от емкостной схемы питания с коронным источником УФ-предыонизации. Данный способ накачки позволял получать самосогласованный квазистационарный режим ввода энергии возбуждения в активную среду [9]. В качестве коммутатора использовался промышленный разрядник РУ-62. Зарядное напряжение источника питания было постоянным и равным 10 kV. В экспериментах использовался технический азот и спектрально-чистые газы гелий или неон.

Нами исследовались разрядные и энергетические параметры молекулярного азота и его смесей с гелием или неоном в частотном режиме работы лазера. В таблице представлены максимальные параметры излучения для оптимальных рабочих давлений азота (P_0) в зависимости от частоты следования импульсов. Это средняя мощность излучения (W_0), импульсная мощность (W_1), импульсная энергия (E_1) и КПД азотного лазера. Длительность импульсов излучения равнялась на

Максимальные параметры излучения отпаянного азотного лазера для оптимальных давлений азота в зависимости от частоты следования импульсов

f , Hz	P_0 , Torr	W_0 , mW	W_1 , kW	E_1 , mJ	КПД, %
3	120	2.4	160	0.8	0.27
10	120	2.1	42	0.21	0.07
20	120	3	30	0.15	0.05
30	90	3.5	23	0.12	0.04
40	90	3.8	19	0.095	0.03

полувысоте 5 ns. Из полученных результатов исследований следует, что максимальные параметры излучения реализуются при низкой частоте следования импульсов 3 Hz. Импульсной мощности 160 kW с энергией излучения 0.8 mJ соответствовал высокий практический КПД, равный 0.27%, который намного выше по сравнению с традиционной схемой накачки (генератор Блюмляйна). С увеличением частоты следования до 10 Hz эффективность лазера снижалась почти в 4 раза. Она слабо менялась с ростом частоты следования импульсов до 40 Hz. Максимальной средней мощности 3.8 mW соответствовала эффективность лазера 0.03%. Такое поведение параметров излучения связано с особенностями вклада энергии в разряд при фиксированном зарядном напряжении, равном 10 kV.

Аналогичные исследования по повышению эффективности азотного лазера были проведены в зависимости от влияния инертных газов гелия или неона при рабочих давлениях от 30 до 760 Torr. На рис. 1 приведены зависимости средней мощности излучения для фиксированных давлений азота от 15 до 150 Torr от добавок гелия от 15 до 610 Torr при частоте следования импульсов 10 Hz. Генерация излучения не наблюдалась при давлении азота 15 Torr. Рост концентрации гелия обеспечивал линейный рост средней мощности до 0.7 mW при суммарном давлении смеси 200 Torr. В этом случае мощность излучения возрастала почти на порядок и оставалась постоянной до давления 500 Torr. Далее она плавно спадала до 0.5 mW при давлении 1 at. Средняя мощность 0.7 mW для давления азота 30 Torr соответствовала максимальной мощности для смеси $N_2 : He = (1 : 19)$ 15 Torr. Она возрастала в 2 раза для смеси $N_2 : He = (1 : 9)$ 30 Torr. Средняя мощность 1.4 mW для давления азота 60 Torr соответствовала максимальной мощности смеси $N_2 : He = (1 : 9)$ 30 Torr. Она возрастала на

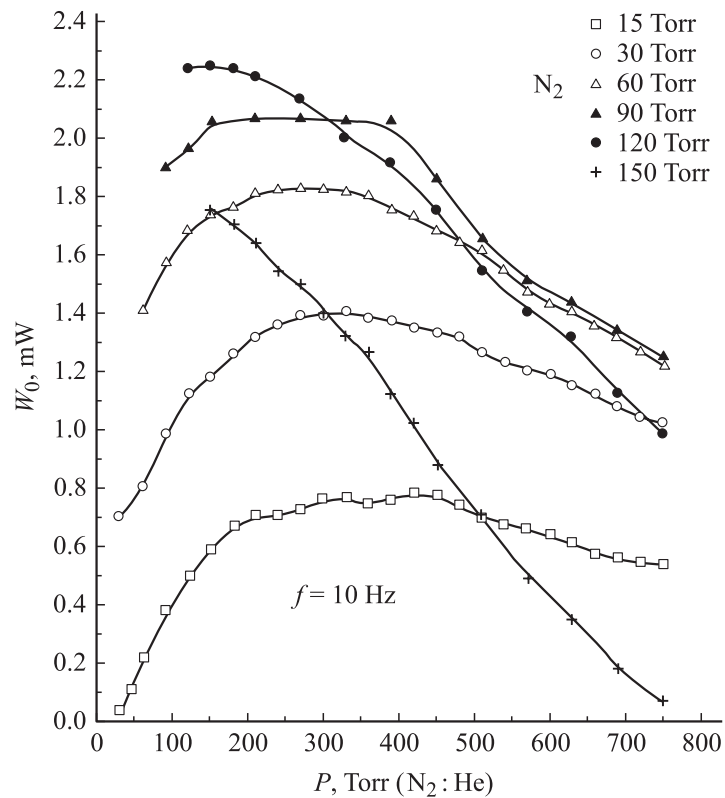


Рис. 1. Зависимости средней мощности излучения для смесей $N_2:He$ при фиксированных давлениях азота от содержания гелия.

30% в смеси $N_2:He = (1:4) 60$ Torr. Средняя мощность 1.9 mW для давления азота 90 Torr почти соответствовала максимальной мощности смеси $N_2:He = (1:4) 60$ Torr. Она возрастала лишь на 10% в смесях $N_2:He = (1:1-3) 90$ Torr. Следует отметить, что средняя мощность для чистого азота при давлениях до 60 Torr может быть много меньше или равной мощности, реализуемой в смесях $N_2:He$ при давлении 1 ат. Для давления азота 120 Torr была получена максимальная мощность излучения 2.25 mW, которая с добавлением гелия линейно спадала в 2 раза при давлении 1 ат. Аналогичная ситуация наблюдалась для

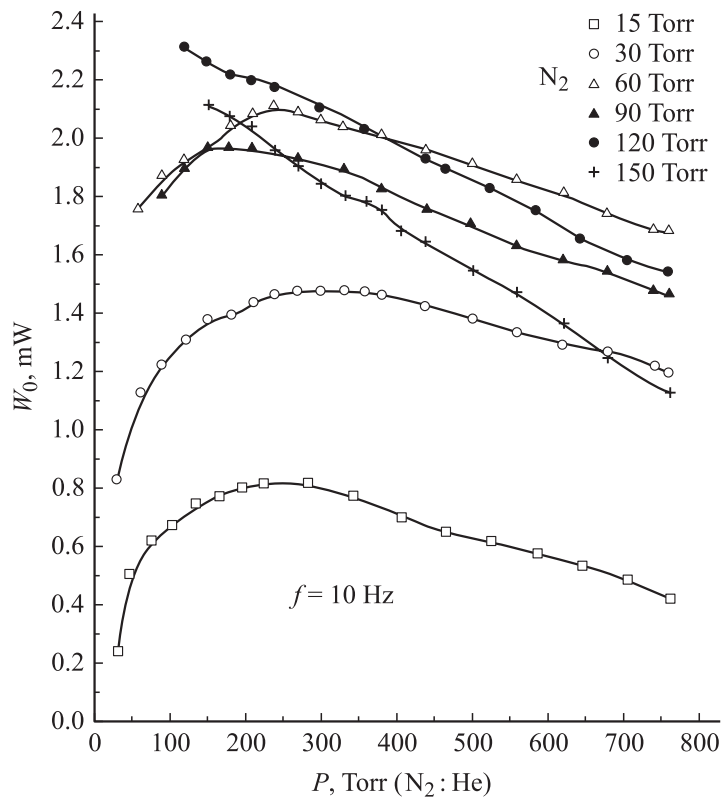


Рис. 2. Зависимости средней мощности излучения для смесей $N_2:Ne$ при фиксированных давлениях азота от содержания неона.

давления азота 150 Torr. При этом средняя мощность излучения спадала почти до нуля при давлении 1 at. Спад средней мощности излучения с ростом давления гелия связан с контракцией разряда из-за малой начальной концентрации электронов в промежутке, создаваемой УФ-источником предыонизации. Повышение концентрации электронов было ограничено источником питания, работающего при постоянном зарядном напряжении 10 kV.

На рис. 2 приведены аналогичные зависимости средней мощности излучения для фиксированных давлений азота от 15 до 150 Torr от

добавок неона от 15 до 610 Torr при частоте следования импульсов 10 Hz. Форма и амплитудные значения зависимостей средней мощности от содержания неона почти аналогичны гелиевым смесям для фиксированных давлений азота до 60 Torr. Для давления азота 90 Torr добавка неона увеличивает максимальную мощность излучения лишь на 8% в смеси $N_2 : Ne = (1 : 1)$ 90 Torr. Эта мощность излучения меньше, чем для смеси $N_2 : Ne = (1 : 3)$ 60 Torr. Следует отметить еще одну характерную особенность для неоновых смесей. Для больших давлений азота добавки неона линейно уменьшают среднюю мощность излучения. Она уменьшается не более чем в 2 раза при давлении 1 ат по сравнению с буферным газом гелием. Таким образом, из анализа результатов исследования следует, что выходные параметры лазерного излучения можно существенно увеличивать за счет буферного газа гелия или неона при фиксированных давлениях азота до 60 Torr. При этом выбор буферного газа большой роли не играет для рабочих давлений ~ 0.5 ат. Для низких давлений азота или смесей азота лучше использовать гелий, а для смесей атмосферного давления неон.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для отпаянного азотного лазера квазистационарный режим ввода энергии обеспечивает получение пиковой мощности излучения 160 kW с энергией 0.8 mJ и высоким практическим КПД, равным 0.27%.

2. За счет буферного газа гелия или неона можно существенно повышать энергетические параметры излучения, а соответственно КПД отпаянного азотного лазера.

3. Разработан простой малогабаритный отпаянный азотный лазер с частотой повторения до 40 Hz, работающий при давлениях от 30 до 760 Torr с высокими выходными параметрами излучения.

Список литературы

- [1] Ражев А.М., Телегин Г.Г. // Зарубеж. радиоэлектрон. 1978. № 3. С. 76–94.
- [2] Лисицын В.Н., Сорокин А.Р., Телегин Г.Г. // Квант. электрон. 1975. Т. 2. № 8. С. 1710–1716.
- [3] Girardeau-Mountaunt J.P. // Nouv. Rev. Optique. 1974. V. 25. P. 341.
- [4] Godard B. // IEEE J. Quant. Electronics. 1974. V. QE-10. P. 147–152.
- [5] Oliveira dos Santos B., Fellows C.E., de Oliveira e Souza J.B. et al. // Appl. Phys. 1986. B41. P. 241–244.

- [6] *Seki H., Takemori S., Sato T.* // IEEE J. Selec. Top. in Quant. Electronics. 1995. V. 1. N 3. P. 825–829.
- [7] *Бычков Ю.И., Лосев В.Ф., Савин В.В.* и др. // Изв. вузов. Физика. 1978. № 1. С. 81–86.
- [8] *Rebhan U., Hildebrandt J., Skopp G.* // Appl. Phys. Lett. 1980. V. 23. P. 341–344.
- [9] *Федоров А.И.* // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. В. 24. С. 52–56.
- [10] *Levatter J.I., Lin Shao-Chi.* // Appl. Phys. Lett. 1974. V. 25. N 12. P. 703–705.
- [11] *Armandillo E.* // Appl. Phys. Lett. 1982. V. 25. N 7. P. 611–613.
- [12] *Rothem A., Rosenenwaks S.* // Opt. Commun. 1979. V. 30. N 2. P. 227–230.
- [13] *Федоров А.И.* // Опт. атм. и океан. 1995. Т. 8. № 11. С. 1664–1668.
- [14] *Федоров А.И.* // Опт. атм. и океан. 1998. Т. 11. № 2–3. С. 135–140.
- [15] *Аполлонов В.В., Ямицков В.А.* // Квант. электрон. 2002. Т. 32. № 2. С.183–184.
- [16] *Козлов Б.А., Ашурков Р.И., Акинин М.А.* и др. // Изв. РАН. Сер. Физ. 2002. Т. 66. № 8. С. 1172–1175.
- [17] *Атежеев В.В., Вартапетов С.К., Жигалгин А.К.* и др. // Квант. электрон. 2004. Т. 34. № 9. С. 790–794.
- [18] *Федоров А.И.* // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 26. С. 71–77.