

02; 04; 07

ЛАЗЕР С ЯДЕРНОЙ НАКАЧКОЙ НА ПЕРЕХОДАХ АТОМА АЗОТА

© С.П.Мельников, В.В.Портаев

Среди газовых лазеров с ядерной накачкой (см., например, [1-3]) наибольшими энергетическими параметрами (мощность излучения до 2.5 кВт, КПД 1-3%) обладают лазеры на ИК переходах атомов инертных газов. В качестве перспективных активных сред для лазеров с ядерной накачкой в литературе рассматривались смеси инертных газов с молекулярными газами N_2 , CO , CO_2 и другие, в которых инверсная населенность уровней может возникать на переходах атомов C , O , N .

Генерация на переходах атома углерода ($\lambda = 833.5, 940.6$ и 1454.3 нм) наблюдалась в смесях He (Ne, Ar)- $CO(CO_2)$ с накачкой продуктами ядерной реакции $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ [4,5] и осколками деления урана [6]. Максимальная мощность генерации 7 Вт была получена на линии 1454.3 нм в смеси $He-CO$ [6]. При возбуждении смесей $He-(Ne)-O_2$ продуктами ядерной реакции $^3He(n, p)^3H$ [7] и осколками деления урана [8,9] наблюдались усиление на линии 844.6 нм атома кислорода [7] и генерация на переходах атома кислорода ($\lambda = 2.65$ и 2.76 мкм) с мощностью излучения 30 Вт [8,9]. Лазер с ядерной накачкой на переходах атома азота изучен менее подробно. Лишь в [10] отмечается получение генерации на переходах атома азота ($\lambda = 862.9$ и 939.3 нм) с мощностью излучения 1.5 мВт при возбуждении смеси $Ne-Ne_2$ продуктами ядерной реакции $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ и осколками деления урана.

В данной работе сообщается о получении квазинепрерывной генерации на переходах атома азота ($\lambda = 859.4, 862.9, 904.6$ и 938.7 нм) при возбуждении смеси $Ne-N_2$ осколками деления урана и приводятся некоторые результаты исследования лазерных характеристик. На трех из этих линий (859.4, 904.6 и 938.7 нм) генерация в условиях ядерной накачки при высоком давлении наблюдалась впервые.

В экспериментах использовалась установка ЛУНА-2М [3], внутри которой располагались параллельно друг другу на расстоянии 2 см два плоских слоя окиси-закиси ^{235}U с размерами 200×6 см и толщиной слоя около 3 мг/см². Установка облучалась потоком нейтронов импульсного ядерного реактора ВИР-2М [11] с длительностью импульса на половине высоты около 3 мс. Возбуждение газовых сред осу-

ществлялось осколками деления урана, вылетающими из урановых слоев при взаимодействии ядер ^{235}U с нейтронами. Средняя по длине урановых слоев 200 см плотность потока тепловых нейтронов в максимуме импульса накачки равнялась $2.5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ при энерговыделении в активной зоне реактора 60 МДж. Лазерная установка откачивалась до остаточного давления ~ 0.01 Па и наполнялась неоном высокой чистоты при давлениях 10–100 кПа (паспортная концентрация примеси азота в неоне составляет около 0.0003%). Удельная мощность накачки увеличивалась с ростом давления неона и при давлении 100 кПа составляла около 50 Вт/см^3 .

Поиск и исследование генерации на переходах атома азота были выполнены с использованием резонаторов на области спектра 740–910 нм и 910–1100 нм. Каждый из резонаторов состоял из двух одинаковых сферических ($R = 10 \text{ м}$) зеркал диаметром 40 мм с диэлектрическими покрытиями. Коэффициенты пропускания зеркал в указанных диапазонах спектра равнялись 0.2–0.5%. Расстояние между зеркалами 240 см. Для измерения мощности лазерного излучения использовались фотоэлементы Ф-28, калиброванные в абсолютных единицах мощности. Спектральные измерения проводились с помощью спектрографа ДФС-452 с фотопластинками “Инфра-880” и монохроматора МДР-2 с линейкой из десяти фотосопротивлений из PbSe, которая устанавливалась вместо выходной щели монохроматора. Длины волн генерации измерялись с точностью ± 0.3 нм.

В области спектра 740–910 нм генерация зарегистрирована на линиях 859.4, 862.9 и 904.6 нм, а в области спектра 910–1100 нм — на линии 938.7 нм атома азота. Ранее генерация на этих линиях наблюдалась в импульсных газоразрядных лазерах низкого давления на смесях Ne(Ne)–N₂ [12,13]. Линия 862.9 нм наблюдалась также в лазере с ядерной накачкой на смеси Ne–N₂ [10]. Осциллограммы одного из экспериментов приведены на рис. 1.

В таблице показаны лазерные переходы, на которых получена генерация; диапазоны давлений неона (p_{Ne}), в которых наблюдались отдельные генерационные линии; максимальные мощности излучения (Q) и минимальные удельные мощности накачки (q_t), при которых достигались пороги генерации.

На рис. 2 представлены зависимости мощностей генерации на отдельных линиях от давления неона, содержащего около 0.003% азота. В этих экспериментах использовался резонатор на область спектра 740–910 нм. Максимальная мощность излучения около 5 Вт получена на линии 904.6 нм при давлении 25 кПа. При давлениях неона ниже 50 кПа генерация наблюдалась одновременно на трех линиях (см. также рис. 1, б).

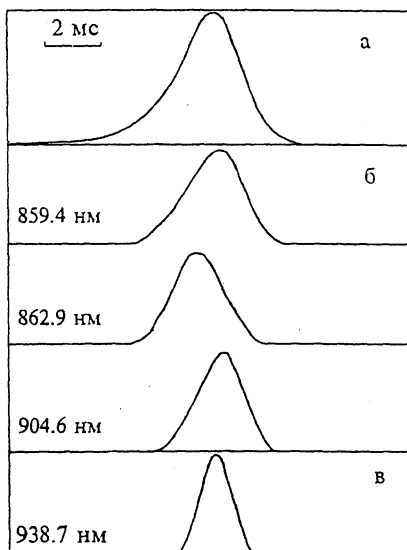


Рис. 1. Осциллограммы импульса тепловых нейтронов (а) и импульсов генерации на отдельных линиях в диапазонах спектра 720–910 нм (б), 910–1100 нм (в) при давлениях неона 10 кПа (б) и 40 кПа (в).

Кроме азотных линий в диапазоне давлений неона 10–100 кПа наблюдались также две генерационные линии атома углерода ($\lambda = 833.5$ и 940.6 нм), генерация на которых в условиях ядерной накачки ранее была зарегистрирована в смесях $\text{Ne}(\text{Ar})\text{-CO}$ [6]. Паспортная концентрация углеродосодержащих веществ CO_2 и CH_4 в неоне составляла около 0.00001%. Мощность излучения на линии 940.6 нм составля-

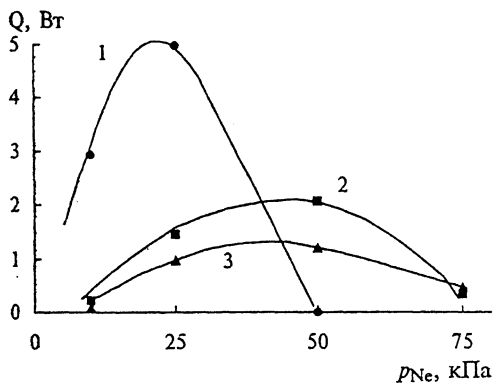


Рис. 2. Зависимости мощностей генерации от давления неона на линиях 904.6 нм (1), 859.4 нм (2) и 862.9 нм (3).

λ , нм	Переход атома азота	p_{Ne} , кПа	Q , Вт	q_t , Вт/см ³
859.4	$3p^2P_{1/2}^0 - 3s^2P_{1/2}$	10–75	2	2
862.9	$3p^2P_{3/2}^0 - 3s^2P_{3/2}$	10–75	1	2
904.6	$3p'^2F_{7/2}^0 - 3s'^2D_{5/2}$	10–50	5	3
938.7	$3p^2D_{3/2}^0 - 3s^2P_{1/2}$	20–40	0.3	17

ла около 1 Вт и была примерно в 5 раз выше, чем на линии 833.5 нм.

Характерной особенностью лазера на переходах атома азота (как и лазеров на переходах атомов С [4–6], О [8,9] и Сl [9]) является очень низкая концентрация лазерной компоненты: генерация наблюдается в неоне высокой чистоты при парциальных давлениях азота 0.1–1 Па. Возможно, что это связано с высокими коэффициентами поглощения лазерного излучения молекулярными газами. механизм генерации азотного лазера окончательно не выяснен и является предметом дискуссии (см., например, [14] и цитированную там литературу). По мнению авторов [14], наиболее вероятным процессом заселения верхних лазерных уровней атома азота является процесс ударно-радиационной рекомбинации ионов N^+ с электронами.

Таким образом, в данной работе получена генерация на линиях 859.4, 862.9, 904.6 и 938.7 нм атома азота при возбуждении смеси Ne–N₂ атмосферного давления осколками деления урана, причем на линиях 859.4, 904.6 и 938.7 нм генерация при высоком давлении газовой смеси наблюдалась впервые. Энергетические характеристики, зарегистрированные на этих линиях, на три порядка превышают аналогичные характеристики, полученные в [10], для лазера с ядерной накачкой на переходах атома азота.

В заключение авторы выражают благодарность И.В. Левицкому и С.Ф. Мельникову за помощь в проведении экспериментов.

Список литературы

- [1] *Shneider R.T., Hohl F.* // Adv. in Nucl. Sci. and Technol. / Ed. J. Lewis and M. Becker. N.Y., 1984. V. 16. P. 123–287.
- [2] *Magda E.P., Grebyonkin K.F., Kryzhanovskii V.A.* // Proc. Intern. Conf. Lasers'90. San Diego, 1991. P. 827–834.
- [3] *Melnikov S.P., Sinyanskii A.A.* // Laser and Particle Beams. 1993. V. 11. N 4. P. 645–654.
- [4] *Prelas M.A., Akerman M.A., Boody F.P., Miley G.H.* // Appl. Phys. Lett. 1977. V. 31. N 7. P. 428–430.

- [5] *Prelas M.A., Anderson J.H., Boody F.P., Nagalingam S.J.S., Miley G.H.* // Bull. Am. Phys. Soc. 1978. V. 32. N 2. P. 152.
- [6] *Воинов А.М., Кривонос В.Н., Мельников С.П., Синяевский А.А.* // Тр. конф. по физике ядерно-возбуждаемой плазмы и проблемам лазеров с ядерной накачкой. Т. 2. Обнинск, 1993. С. 197-202.
- [7] *De Young R.J., Wells W.E., Miley G.H.* // Appl. Phys. Lett. 1976. V. 28. N 4. P. 194-197.
- [8] *Мельников С.П., Порхаев В.В.* // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 1. С. 86-89.
- [9] *Мельников С.П., Порхаев В.В.* // Тр. 2-й международной конф. по физике ядерно-возбуждаемой плазмы и проблемам лазеров с ядерной накачкой. Т. 1. Арзамас-16, 1995. С. 307-317.
- [10] *De Young R.J., Wells W.E., Miley G.H., Verdeyen J.T.* // Appl. Phys. Lett. 1976. V. 28. N 9. P. 519-521.
- [11] *Колесов В.Ф.* // Динамика ядерных реакторов / Под ред. Я.В. Шевелева. М., 1990. С. 167-282.
- [12] *Туницкий Л.Н., Черкасов Е.М.* // ЖТФ. 1968. Т. 38. В. 12. С. 2111-2113.
- [13] *Chou M.S., Zavadzkas G.A.* // Optics Commun. 1978. V. 26. N 1. P. 92.
- [14] *Cooper G.W., Verdeyen J.T.* // J. Appl. Phys. 1977. V. 48. N 3. P. 1170-1175.

Российский федеральный
 ядерный центр
 Всероссийский
 научно-исследовательский институт
 экспериментальной физики
 Арзамас-16

Поступило в Редакцию
 16 октября 1995 г.