

ГЕНЕРАЦИЯ НА ПЕРЕХОДАХ АТОМА КИСЛОРОДА ПРИ НАКАЧКЕ СМЕСИ He-(Ne)-O₂ ОСКОЛКАМИ ДЕЛЕНИЯ УРАНА

С.П.Мельников, В.В.Портаев

При исследовании газовых лазеров с ядерной накачкой (см., например, [1-3]) наибольшее внимание уделялось лазерам на переходах атомов инертных газов и на парах металлов. Лазеры на переходах атомов С [4,5], N [6], Cl [7], генерация в которых возникает при возбуждении ядерным излучением смесей инертных газов с молекулярными газами CO, N₂, Cl₂ и др., изучены менее подробно. На переходах атома кислорода генерация в условиях ядерной накачки ранее не была получена, хотя в [8] наблюдалось усиление на линии 844.6 нм при возбуждении смеси ³He-Ne-O₂ продуктами реакции ³He(n, p)³H.

В данной работе сообщается о получении квазинепрерывной генерации на переходах атома кислорода ($\lambda = 2.65$ и 2.76 мкм) при возбуждении смесей He-Ne-O₂, He-O₂ осколками деления урана и приводятся результаты исследования лазерных характеристик.

Эксперименты проводились на установке ЛУНА-2М [3], которая помещалась в зоне полусферического канала импульсного ядерного реактора ВИР-2М [9] с длительностью импульса около 3 мс. Основным элементом установки является лазерная кювета, внутри которой расположены параллельно друг другу на расстоянии 2 см два плоских слоя окиси-закиси ²³⁵U с размерами 200×6 см и толщиной слоя около 3 мг/см². Возбуждение газовых смесей осуществляется осколками деления урана, вылетающими из урановых слоев при взаимодействии ядер ²³⁵U с нейтронами. Средняя по активной длине кюветы 200 см плотность потока тепловых нейтронов в максимуме импульса равнялась $2.5 \cdot 10^{15}$ см⁻²·с⁻¹. Удельная мощность накачки при давлении гелия 2 атм или неона 1 атм составляла около 40 Вт/см³. Резонатор лазера был образован двумя одинаковыми сферическими ($R = 5$ м) зеркалами с диэлектрическими покрытиями на подложках из CaF₂. Коэффициент пропускания зеркал в диапазоне 2.4-3.1 мкм равнялся 2%. Регистрация лазерного излучения осуществлялась с помощью моно-

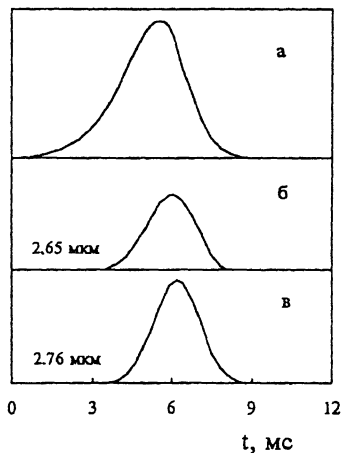


Рис. 1. Осциллограммы импульса тепловых нейтронов (а) и импульсов генерации на линиях 2.65 (б) и 2.76 мкм (в) для смеси He-Ne-O₂ (5000:5000:1) при давлении 2 атм.

хроматора МДР-2 и линейки фотосопротивлений на основе PbSe, а также калориметра ИМО-2Н. Перед экспериментами лазерная кювета откачивалась до остаточного давления $\sim 10^{-4}$ мм рт.ст. и наполнялась исследуемыми газовыми смесями с концентрацией примесей не более 0.005%.

В первых экспериментах генерация на линии $2.653 \pm \pm 0.003$ мкм была зарегистрирована при наполнении кюветы смесью He-Ne при давлении 2 атм (парциальное давление примесей O₂, которые содержатся в He и Ne, составляет ~ 0.01 мм рт. ст.). Мощность генерации на этой линии, принадлежащей переходу $4d^5D^0 - 4p^5P$ ($\lambda = 2.65$ мкм) атома кислорода, при оптимальном соотношении He/Ne = 1/1 составляла ~ 5 Вт. Ранее генерация на линии 2.65 мкм наблюдалась в лазере с поперечным разрядом на смеси He-O₂ при давлении 80 мм рт. ст. [10].

В последующих экспериментах проводилась оптимизация энергетических и пороговых характеристик лазера на смеси He-Ne-O₂ в зависимости от парциального давления O₂. Кроме линии 2.65 мкм, была также обнаружена новая генерационная линия 2.76 ± 0.02 мкм, которая принадлежит, по-видимому, переходу $4p^5P - 4s^5S^0$ ($\lambda = 2.76$ мкм) атома кислорода. Мощность генерации на линии 2.76 мкм была примерно на порядок величины ниже, чем на линии 2.65 мкм. Эти линии образуют каскад лазерных переходов, так как нижний лазерный уровень перехода с $\lambda = 2.65$ мкм является одновременно верхним лазерным уровнем для перехода с $\lambda = 2.76$ мкм. Осциллограммы одного из экспериментов показаны на рис. 1.

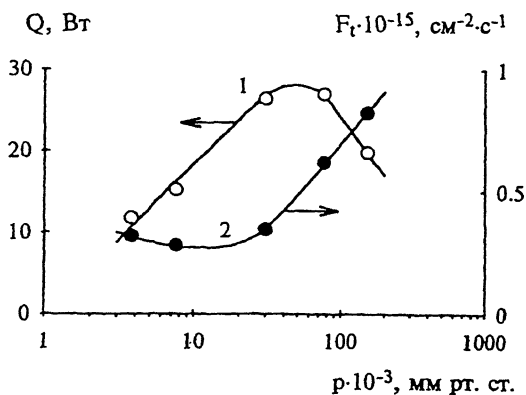


Рис. 2. Зависимости мощности генерации Q (1) и пороговой плотности потока тепловых нейтронов F_t (2) от парциального давления кислорода для смеси He-Ne-O₂ ($p_{\text{He}} = p_{\text{Ne}} = 1$ атм).

На рис. 2 приведены зависимости мощности генерации Q и пороговой плотности потока тепловых нейтронов F_t , при которой возникает генерация, от парциального давления O₂. Максимальная мощность излучения около 30 Вт получена для смеси He-Ne-O₂ (10000:10000:1) при давлении 2 атм. Минимальный порог генерации при $F_t = 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ достигался при более низких концентрациях O₂. Для смеси He-O₂ (50000:1) при давлении 2 атм мощность излучения была примерно в 2 раза ниже. При использовании в качестве буферных газов Ne и Ar генерация отсутствовала.

Характерной особенностью исследованного лазера с ядерной накачкой на переходах атома кислорода (так же, как и для лазеров на переходах атомов C, N, Cl [4-8]) является низкая концентрация лазерной компоненты (0.01-0.1 мм рт. ст.). Механизм генерации кислородного лазера на линии 2.65 мкм в литературе не рассматривался. В [11,12], где исследованы газоразрядные лазеры на смесях Ne-O₂ и He-Ne-O₂ ($\lambda = 844.6$ нм) при давлениях до 200 мм рт. ст. [12], предполагалось, что заселение верхнего лазерного уровня $3p^3P$ атома кислорода происходит за счет процесса диссоциативного возбуждения $Ne^* + O_2 \rightarrow O^* + O + Ne$. В условиях ядерной накачки заселение верхних лазерных уровней атома кислорода возможно также за счет процессов ион-ионной рекомбинации. Так, выполненные в [13] расчеты показывают, что эффективное заселение уровня $3p^3P$ в смеси ${}^3\text{He-N}_2\text{O-O}_2$ может происходить в результате процессов рекомбинации положительных и отрицательных ионов кислорода.

Таким образом, в данной работе впервые осуществлена накачка кислородного лазера ($\lambda = 2.65$ и 2.76 мкм) ядерным излучением, причем линия 2.76 мкм является новой генерационной линией. Энергетические характеристики этого лазера пока уступают аналогичным характеристикам мощных лазеров с ядерной накачкой на переходах атомов инертных газов [1-3]. Дальнейшие исследования, направленные на поиск лазерных переходов в спектрах атомов O, N, C, Cl и др., а также на выяснение механизмов генерации этих лазеров, приведут к увеличению энергетических параметров.

Авторы выражают благодарность А.А. Сиянскому за внимание к работе, а также С.Ф. Мельникову и И.В. Левицкому за помощь в проведении экспериментов на реакторе ВИР-2М.

Список литературы

- [1] *Schneider R.T., Hohl F. Nuclear-pumped lasers / Ed. J. Lewis and M. Becker. New York, 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] *Воинов А.М., Кривоносов В.Н., Мельников С.П., Сиянский А.А. // Тр. конф. по физике ядерно-возбуждаемой плазмы и проблемам лазеров с ядерной накачкой. Т 2. Обнинск, 1993. С. 197-202.*
- [6] *De Young R.J., Wells W.E., Miley G.H., Verdeyen J.T. // Appl. Phys. Lett. 1976. V. 28. N 9. P. 519-521.*
- [7] *De Young R.J., Jalufka N.W., Hohl F. // AIAA J. 1978. V. 16. N 9. P. 991-998.*
- [8] *De Young R.J., Wells W.E., Miley G.H. // Appl. Phys. Lett. 1976. V. 28. N 4. P. 194-197.*
- [9] *Колесов В.Ф. В сб.: Динамика ядерных реакторов / Под ред. Я.В. Шевелева. М., 1990. С. 167-282.*
- [10] *Sutton D.G., Galvan L., Suchard S.N. // IEEE J. Quant. Electr. 1975. V. QE-11. N 2. P. 92.*
- [11] *Bennett W.R., Faust W.L., McFarlane R.A., Patel C.K.N. // Phys. Rev. Lett. 1962. V. 8. N 12. P. 470-473.*
- [12] *De Young R.J., Wells W.E., Miley G.H. // J. Appl. Phys. 1976. V. 47. N 4. P. 1477-1478.*
- [13] *Kushner M.J. // J. Appl. Phys. 1983. V. 54. N 1. P. 39-47.*

Российский федеральный
ядерный центр

Всероссийский научно-исследовательский
институт экспериментальной физики
Арзамас-16

Поступило в Редакцию
23 октября 1994 г.