

ГЕНЕРАЦИЯ В ИНЕРТНЫХ ГАЗАХ ПРИ НАКАЧКЕ ПОПЕРЕЧНЫМ РАЗРЯДОМ

М.И. Ломаев, В.Ф. Тарасенко

1. В настоящее время большое внимание уделяется исследованию плазменных лазеров на атомарных переходах неона [1-5] и гелия [6]. Более высокие энергетические параметры таких лазеров достигаются при накачке смесей $Ne-Ne-Ar (Kr)$ электронным пучком [2, 3], что определяется оптимальной реализацией механизма инверсии плазменного лазера [7]. При накачке самостоятельным разрядом из-за нагрева электронов электрическим полем, уменьшения рекомбинационного потока на верхний лазерный уровень, а также вследствие заселения нижнего лазерного уровня, генерация имеет место, как правило, в послесвечении и при существенно меньшей эффективности [4-6].

В данной работе предложены и впервые реализованы новые активные среды для генерации на атомарных переходах инертных газов при возбуждении самостоятельным разрядом, в которых добавки электроотрицательного газа одновременно увеличивают эффективность накачки и обеспечивают очистку нижнего лазерного уровня.

Отметим, что добавки SF_6 применялись для увеличения мощности излучения на 2+ и 1+ системах азота [8, 9], а возможность очистки нижнего лазерного уровня плазменного лазера в химических реакциях теоретически рассматривалась в [7].

2. Эксперименты проводились на эксиплексных лазерах ЭЛАН [10] и ДИЛАН, генератор накачки которых был собран по двухконтурной схеме. Длительность импульса накачки составляла 40-60 и 20-30 нс соответственно. Временные и энергетические характеристики лазерного излучения определялись с помощью фотодиода ФК-2, сигнал с которого подавался на осциллограф С8-14. Одновременно с генерацией через боковое кварцевое окно регистрировалось с помощью монохроматора МДР-23 и фотоумножителей ФЭУ-100 или ФЭУ-62 спонтанное излучение. Активная длина лазера ДИЛАН составляла 20 см.

3. Проведя предварительный анализ известных активных сред, для экспериментальной проверки были выбраны смеси NF_3 с He , Ne и Ar . На рис. 1, а приведены осциллограммы импульсов генерации в смеси $He-NF_3$, переход $3s-2p$, $\lambda = 706.5$ нм (1); $Ne-NF_3$, переход $3p-3s$, $\lambda = 585.3$ нм (2); $Ar-NF_3$, переход $4p-4s$, $\lambda = 750.3$ (3). Максимумы мощности генерации и спонтанного излучения наблюдаются во время накачки и практически совпадают во времени, а их положение относительно начала накачки зависит от сорта инертного газа. Минимальные задержки регистрировались в смесях с аргоном, генерация совпадала с первым полупериодом тока разряда, а максимальные -

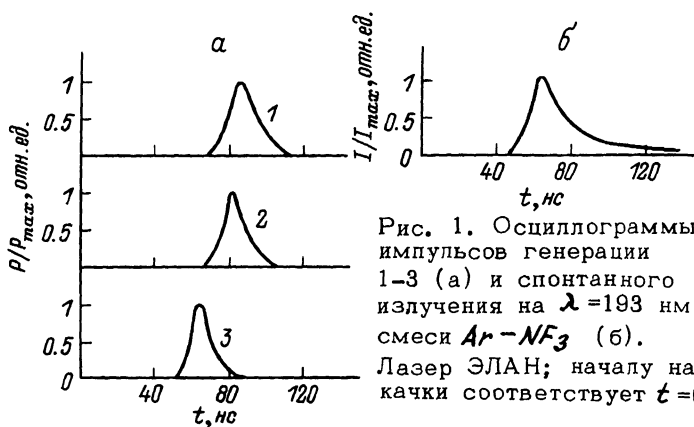
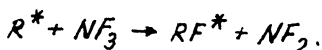


Рис. 1. Осциллограммы импульсов генерации 1-3 (а) и спонтанного излучения на $\lambda = 193$ нм в смеси $Ar-NF_3$ (б). Лазер ЭЛАН; началу на качки соответствует $t=0$.

в смесях $He-NF_3$. Наибольшие мощности излучения реализуются в смесях с весьма высоким содержанием NF_3 (15-30%). В смеси $Ar-NF_3$ одновременно с излучением на $\lambda = 750.3$ нм наблюдалось мощное спонтанное излучение в области 193 нм, которое можно отнести к излучению молекул ArF^* (рис. 1, б). На рис. 2, а показаны зависимости мощности излучения на $\lambda = 706.5$ (1), 585.3 (2) и 750.3 нм (3) от давления смеси. Максимальные мощности излучения достигаются при давлении смеси ~ 100 Торр. Отметим, что генерация на $\lambda = 540.1$ нм наблюдалась только в чистом неоне [5]. При добавках NF_3 к гелию, неону или аргону сопротивление разрядного промежутка во время накачки возрастало, также повышалось пробойное напряжение. Добавки азота к смеси $He-NF_3$ не приводили к срыву генерации на $\lambda = 706.5$ нм гелия (исследовалась генерация при добавках азота 12 и 20 Торр), а также существенно не влияли на мощность генерации на $\lambda = 585.3$ нм неона (рис. 2, б).

4. Как следует из полученных результатов, генерация реализована на переходах трех инертных газов во время импульса накачки в смесях, содержащих значительные количества электроотрицательного газа NF_3 . Так как нижний лазерный уровень во всех трех инертных газах является резонансным и эффективно заселяется во время накачки самостоятельным разрядом, то для получения генерации необходима его быстрая очистка. Очистка может осуществляться NF_3 по двум каналам. Во-первых, согласно традиционному механизму пеннинговского плазменного лазера, в результате пеннинговской ионизации [1, 7]. Однако данный механизм не подходит для смеси $Ar-NF_3$, т. к. потенциал ионизации NF_3 (13.2 эВ) больше энергии возбуждения нижнего лазерного уровня аргона (11.8 эВ). Во-вторых, за счет гарпунной реакции



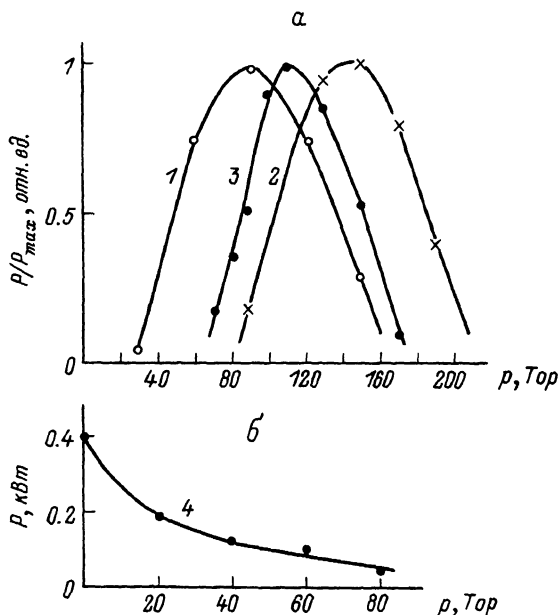


Рис. 2. Зависимость мощности излучения от полного давления смеси (а) и от давления добавок азота к смеси $Ne:NeF_3 = 45 \text{ Тор}: 30 \text{ Тор}$ (б). 1 - смесь $Ne:NeF_3 = 5:1$, лазер ЭЛАН; 2 - смесь $Ne:NeF_3 = 2.5:1$, лазер ДИЛАН; 3 - смесь $Ar:NeF_3 = 2.5:1$, лазер ЭЛАН; 4 - $\lambda = 585.3 \text{ нм}$, лазер ДИЛАН.

Наличие данного канала очистки доказывается получением генерации в смеси $Ar-NeF_3$, регистрацией в этой смеси одновременно с генерацией на $\lambda = 750.3 \text{ нм}$ мощного излучения молекул ArF^* и высокой скоростью гарпуновых реакций, константа которых составляет $\sim 10^{-9} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ [11].

Очень важным преимуществом применения добавок электроотрицательных газов при накачке самостоятельным разрядом активных сред плазменных лазеров является одновременное повышение эффективности накачки. На лазере ДИЛАН была проведена оптимизация условий генерации на $\lambda = 585.3 \text{ нм}$ в смеси $Ne-H_2$ и $Ne-NeF_3$. Во втором случае мощность излучения была на порядок больше и составила 0.4 кВт . Увеличение мощности излучения достигается за счет лучшего согласования генератора накачки и разрядной плазмы, а также за счет увеличения в смесях с электроотрицательным газом параметра E/p , соответственно электронной температуры во время накачки. Это должно приводить к более эффективному прямому возбуждению верхнего лазерного уровня. Значительный вклад возбуждения в заселение верхнего лазерного уровня доказывают экспе-

рименты с добавками азота, а также малые времена запаздывания импульса генерации относительно накачки в смесях с NF_3 .

Таким образом, нами предложено использовать смеси инертных газов с галогенидами для увеличения мощности излучения на переходах инертных газов, в смесях $He (Ne, Ar) - NF_3$ получена генерация на $\lambda = 706.5, 585.3$ и 750.3 нм.

Л и т е р а т у р а

- [1] Бункин Ф.В., Держиев В.И., Месяц Г.А., Муравьев И.И., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Феденев А.В., Яковленко С.И., Янчарина А.М. - Изв. АН СССР, сер. физ., 1986, т. 50, с. 1064.
- [2] Басов Н.Г., Баранов В.В., Данилычев В.А., Дудин А.Ю., Заярный Д.А., Устиновский Н.Н., Холин И.В., Чугунов А.Ю. - Квантовая электроника, 1985, т. 12, с. 1521.
- [3] Винтизенко Л.Г., Гушенец В.И., Коваль Н.Н., Месяц Г.А., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Феденев А.В., Шанин П.М. - Докл. АН СССР, 1986, т. 288, с. 609.
- [4] Бункин Ф.В., Держиев В.И., Латуш Е.Л., Муравьев И.И., Сэм М.Ф., Чеботарев Г.Д., Яковленко С.И., Янчарина А.М. - Квантовая электроника, 1986, т. 13, с. 2531.
- [5] Ломаев М.И., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. - Квантовая электроника, 1987, т. 14, с. 993.
- [6] Schmi eder D., Sal am on T.I. - Opt. Commun., 1985, v. 55, p. 49.
- [7] Гудзенко Л.И., Яковленко С.И. Плазменные лазеры, М.: Атомиздат, 1976.
- [8] Wilkett C.S., Litynskiy D.M. - Appl. Phys. Lett., 1975, v. 26, p. 118.
- [9] Лосев В.Ф., Тарасенко В.Ф. - ЖТФ, 1976, т. 46, с. 2202.
- [10] Тарасенко В.Ф., Верховский В.С., Федоров А.И., Тельминов Е.Н. - Квантовая электроника, 1980, т. 7, с. 2039.
- [11] Родз Ч. Экимерные лазеры, М.: Мир, 1981.

Институт сильноточной
электроники СО АН СССР,
Томск

Поступило в Редакцию
22 декабря 1987 г.