

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. Ф. Тарасенко, А. В. Феденев, Увеличение мощности излучения лазера на $\lambda = 2.03$ мкм ксенона при нагреве рабочей смеси, *Письма в ЖТФ*, 1991, том 17, выпуск 15, 28–33

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.170

27 марта 2025 г., 00:32:16



02; 07; 12

© 1991

УВЕЛИЧЕНИЕ МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА
НА $\lambda = 2,03$ МКМ КСЕНОНА ПРИ НАГРЕВЕ
РАБОЧЕЙ СМЕСИ

В.Ф. Т а р а с е н к о, А.В. Ф е д е н е в

1. В настоящее время лазеру на атомарных переходах ксенона уделяется большое внимание, так как в смесях ксенона с аргоном и гелием генерация легко реализуется при различных способах накачки, а КПД относительно вложенной энергии в оптимальных условиях достигает нескольких процентов [1-6]. Однако при увеличении удельной мощности энерговыклада вначале наблюдается уменьшение КПД генерации, а затем и мощности излучения [7]. При переводе Хе-лазера в импульсно-периодический режим, а также при использовании ядерной накачки, для которой характерны длительности импульса возбуждения 10^{-2} - 10^{-3} с, на параметры генерации должен оказывать влияние нагрев рабочей смеси даже при малых мощностях накачки.

В данной работе исследовано влияние нагрева рабочей смеси на амплитудно-временные и спектральные характеристики Хе-лазера, накачиваемого короткоимпульсным пучком электронов, и показано, что при нагреве рабочих смесей до 50°C наблюдается увеличение мощности излучения.

2. В эксперименте использовались две установки с накачкой продольным [8] и поперечным [9] электронными пучками от малогабаритных ускорителей РАДАН. В первой установке пучок электронов, после поворота магнитным полем инжектировался в цилиндрическую лазерную камеру диаметром 1.5 см из нержавеющей стали и удерживался на оси трубки импульсным магнитным полем. Длина нагреваемой зоны составляла ~ 40 см, ее температура могла изменяться от 15 до 750°C . Энергия электронов пучка составляла ~ 200 кэВ, плотность тока ~ 30 А/см², а длительность тока пучка ~ 10 нс по основанию. Во второй установке пучок электронов инжектировался в лазерную камеру поперек оптической оси, активная длина составляла 4 см, температура лазерной камеры (отрезок цилиндра с внутренним диаметром 12 см) вместе с зеркалами резонатора могла изменяться от 18 до 70°C . Энергия электронов пучка составляла ~ 150 кэВ, плотность тока на оси резонатора ~ 50 А/см², а длительность тока пучка по основанию ~ 10 нс. Кроме того, в этой лазерной камере удельный энерговыклад мог увеличиваться в 2-3 раза за счет установки постоянных магнитов и отражающего экрана из тантала, или могло осуществляться перемешивание смеси "электрическим ветром" за

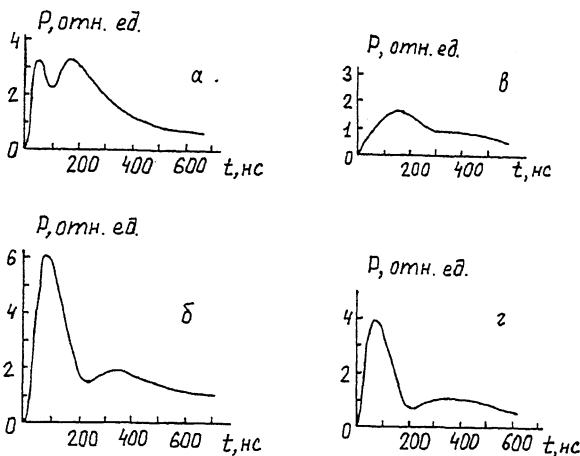


Рис. 1. Осциллограммы импульсов излучения в смеси Не-Хе при накачке поперечным (а, б) и продольным (в, г) электронными пучками. Концентрация рабочей смеси соответствует в нормальных условиях давлению 1 атм, температура ~ 15 (а, в) и $\sim 50^\circ\text{C}$ (б, г).

счет установки в нижней части камеры вдоль оси резонатора сетчатого и острейного электродов и подачи на них постоянного напряжения. Рабочие смеси Не-Хе, Ar-Хе и Не-Ar-Хе готовились непосредственно в лазерной камере. Использовался внутренний резонатор, состоящий из „глухого“ зеркала с Al-покрытием и диэлектрического с отражением на $\lambda = 2.03$ мкм $\sim 97\%$, $\lambda = 1.73$ нм $\sim 90\%$, $\lambda = 2.63$ и 2.65 нм $\sim 65\%$. Излучение регистрировалось фотоприемником ФСГ-22-3А2, сигнал с которого подавался на осциллограф С8-14. Спектральный состав излучения определялся с помощью монохроматора МДР-12 с решеткой 300 штрихов на миллиметр, спектральный диапазон 1-4 мкм.

3. На рис. 1 приведены осциллограммы импульсов генерации в смеси Не-Хе при различных температурах, полученные на установках с продольной и поперечной накачкой. Генерация наблюдалась в данной смеси и в других в послесвечении, время запаздывания генерации в зависимости от условий изменялось от ~ 5 нс до 50 нс. Спектр генерации зависел от состава смеси, так в смесях Не-Хе и Не-Ar-Хе генерация наблюдалась только на $\lambda = 2.03$ мкм, а в смеси Ar-Хе наряду с $\lambda = 2.03$ мкм присутствовали линии с $\lambda = 2.63$ нм, $\lambda = 2.65$ нм и $\lambda = 1.73$ мкм. На рис. 2 приведены зависимости мощности излучения и длительности импульса на полувысоте от температуры для смеси Не-Хе (а) в лазере с продольной накачкой и для смеси Ar-Хе (б) в лазере с поперечной накачкой. Нагрев рабочей смеси приводит к существенному увеличению мощности излучения и сокращению длительности импульса излучения на полувысоте. Наибольшее увеличение мощности

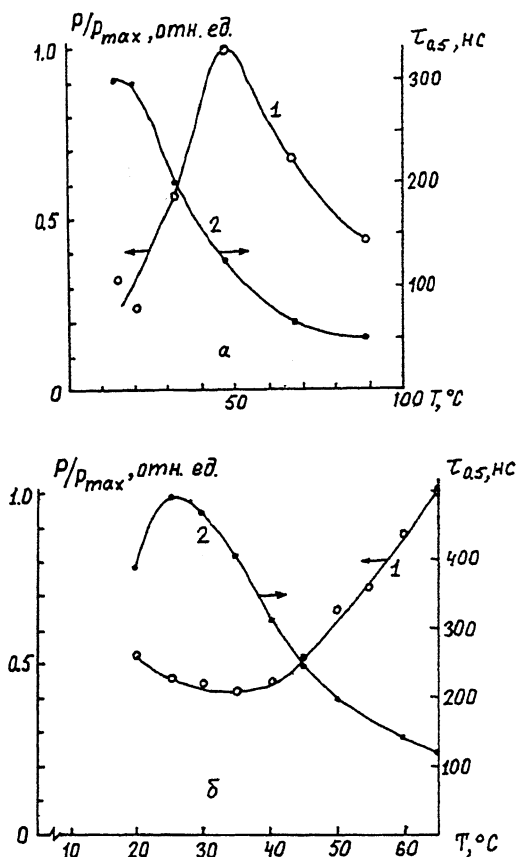
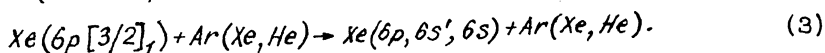
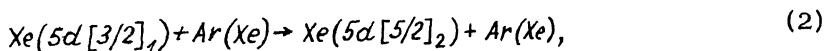
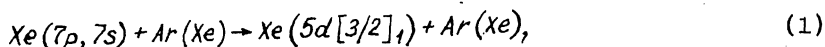


Рис. 2. Зависимости мощности излучения (1) и длительности импульса на полувысоте (2) при начальном давлении 1 атм от температуры смеси $\text{He}:\text{Xe} = 250:1$ при продольной накачке (а) и от температуры смеси $\text{Ar}:\text{Xe} = 250:1.5$ при поперечной накачке (б).

излучения наблюдалось при нагреве только что приготовленных смесей и использовании лазерной камеры (продольная накачка) с большей разницей между продольным и поперечным размерами кюветы. Если рабочая смесь до нагрева предварительно перемешивалась за счет «электрического ветра» или длительной выдержки (сутки для смеси $\text{Ar}-\text{Xe}$) также наблюдалось увеличение мощности излучения и сокращение длительности импульса генерации на полувысоте, но увеличение мощности излучения было на 10–30% меньше, чем при нагреве рабочей смеси. С другой стороны, повторный нагрев смеси после ее остывания приводил к увеличению мощности также на 10–30%, причем в смеси $\text{Ar}-\text{Xe}$ это увеличение было в основном за счет генерации на $\lambda = 2.03$ мкм.

4. Для определения причин обнаруженного увеличения мощности излучения проанализируем полученные зависимости, привлекая константы, характеризующие скорости процессов в активной среде ксенонового лазера [1, 3, 6, 10]. На наш взгляд, имеют место два эффекта. Во-первых, при нагреве рабочей смеси даже до небольших температур $\sim 50^\circ\text{C}$ происходит ее эффективное перемешивание и равномерное распределение концентрации ксенона по всему объему лазерной камеры, что и приводит к увеличению мощности излучения. Подобная зависимость наблюдается при увеличении концентрации ксенона и измерениях амплитудно-временных характеристик излучения сразу же после приготовления смеси. Наибольший эффект (мощность излучения возросла в 4 раза, а энергия в 1.7 раза) был достигнут при продольной накачке, где лазерная камера была изготовлена из трубки с большой разницей между диаметром и длиной.

Во-вторых, нагрев оказывает влияние на кинетические процессы в активной среде ксенонового лазера. Т.к. температура электронов во время импульса генерации превышает газовую более чем на порядок, то ее относительное изменение при нагреве на 30° будет составлять менее 1% и не должно существенно влиять на константы процессов, определяющих кинетику ксенонового лазера. Однако изменением газовой температуры на 30° составляет уже 10% от абсолютной температуры для этих условий и при экспоненциальных зависимостях констант от температуры газа может привести к изменению скорости процесса в несколько раз; более того, имеется несколько процессов с участием буферного газа и ксенона, скорость которых будет увеличиваться с ростом газовой температуры. Так, в [3] сообщалось о расчете констант тушения уровней ксенона в столкновениях с тяжелыми частицами и комментировалась их зависимость от температуры газа. Увеличение мощности излучения на отдельных линиях при увеличении температуры газа наиболее вероятно связано с процессами:



Следует отметить также реакцию



константа которой известна, $k = 2 \cdot 10^{-4} T^{1.5} \exp(-0.28/T)$ см³/с [10], где T — температура рабочей смеси в эВ. Тогда при нагреве на 30° k увеличится в ~ 3 раза, соответственно изменятся концентрации ионов Xe^+ и HeXe^+ . Однако конкретный вклад каждого из процессов (1)–(4) в изменение мощности излучения пока рассчитать сложно.

Уменьшение мощности и энергии излучения ксенонового лазера при нагреве более 70°C связано с разрушением ионов ArXe^+ и Xe_2^+ при столкновениях с атомами буферного газа [3].

5. Таким образом, в данной работе сообщается об обнаружении эффекта увеличения мощности излучения на $\lambda = 2.03$ мкм в смесях Ne-Xe , Ar-Xe и He-Ar-Xe при нагреве лазерной камеры до $\sim 50^{\circ}\text{C}$. Данный эффект связан с улучшением перемешивания отдельных компонент рабочей смеси и с влиянием температуры на кинетику заселения верхнего и нижнего лазерных уровней. По-видимому, подобный эффект должен иметь место в других лазерах на переходах $d-p$ инертных газов (криптона, аргона) при малых мощностях накачки и в послесвечении.

Авторы выражают благодарность Д.Ю. Нагорному за помощь в эксперименте на установке с продольной накачкой.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Воинов А.М., Мельников С.П., Синянский А.А. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 19. С. 56-59.
- [2] Suda A., Wexler B.L., Feldman B.J., Riley K.J. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54. N 14. P. 1305-1307.
- [3] Ohwa M., Moratz T.J., Kushner M.J. // J. of Appl. Phys. 1989. V. 66. N 11. P. 5131-5145.
- [4] Баранов В.В., Данилычев В.А., Дудин А.Ю., Заярный Д.А., Романов А.В., Устиновский Н.Н., Холин И.В., Чугунов А.Ю. // ЖТФ. 1988. Т. 58. В. 11.
- [5] Бугаев А.С., Коваль Н.Н., Рыжов В.В., Тарасенко В.Ф., Турчановский И.Ю., Феденев А.В., Шанин П.М. // Квантовая электроника. 1990. Т. 17. № 1. С. 19-21.
- [6] Держиев В.И., Жидков А.Г., Середа О.В., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Феденев А.В., Яковленко С.И. // Квантовая электроника. 1990. Т. 17. № 8. С. 985-988.
- [7] Баранов В.Ю., Исаков И.М., Леонов А.Г., Малюда Д.Д., Новобранцев И.В., Смаковский Ю.Б., Стрельцов А.П. // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. В. 18. С. 1124-1128.
- [8] Нагорный Д.Ю., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Фомин Е.А. // ПТЭ. 1990. № 3. С. 169-172.
- [9] Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Феденев А.В., Фомин Е.А., Шпак В.Г. // ПТЭ. 1987. № 4. С. 175-177.

[10] Бойченко А.М., Держиев В.И., Жидков А.Г., Карелин А.В., Коваль А.В., Середя О.В., Яковленко С.И. // Тр. ИОФАН. 1989. Т. 21. С. 44-115.

Институт сильноточной
электроники СО АН СССР,
Томск

Поступило в Редакцию
15 мая 1991 г.