

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  $50^{\circ}\text{C}$  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  $\sim 40$  см, ее температура могла изменяться от 15 до  $750^{\circ}\text{C}$ . Энергия электронов пучка составляла  $\sim 200$  кэВ, плотность тока  $\sim 30$  А/см<sup>2</sup>, а длительность тока пучка  $\sim 10$  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  $70^{\circ}\text{C}$ . Энергия электронов пучка составляла  $\sim 150$  кэВ, плотность тока на оси резонатора  $\sim 50$  А/см<sup>2</sup>, а длительность тока пучка по основанию  $\sim 10$  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

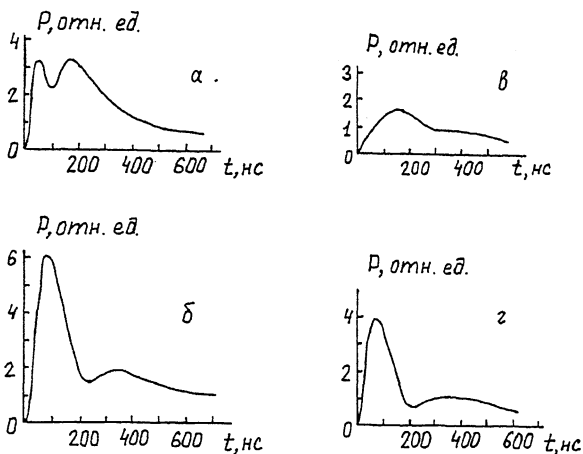


Рис. 1. Осциллограммы импульсов излучения в смеси He-Xe при накачке поперечным (а, б) и продольным (в, г) электронными пучками. Концентрация рабочей смеси соответствует в нормальных условиях давлению 1 атм, температура  $\sim 15$  (а, в) и  $\sim 50^\circ\text{C}$  (б, г).

счет установки в нижней части камеры вдоль оси резонатора сетчатого и острейного электродов и подачи на них постоянного напряжения. Рабочие смеси He-Xe, Ar-Xe и He-Ar-Xe готовились непосредственно в лазерной камере. Использовался внутренний резонатор, состоящий из "глухого" зеркала с Al-покрытием и диэлектрического с отражением на  $\lambda = 2.03 \text{ мкм} \sim 97\%$ ,  $\lambda = 1.73 \text{ нм} \sim 90\%$ ,  $\lambda = 2.63$  и  $2.65 \text{ нм} \sim 65\%$ . 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 He-Xe 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  $\sim 5$  нс до 50 нс. Спектр генерации зависел от состава смеси, так в смесях He-Xe и He-Ar-Xe генерация наблюдалась только на  $\lambda = 2.03 \text{ мкм}$ , а в смеси Ar-Xe наряду с  $\lambda = 2.03 \text{ мкм}$  присутствовали линии с  $\lambda = 2.63 \text{ нм}$ ,  $\lambda = 2.65 \text{ нм}$  и  $\lambda = 1.73 \text{ мкм}$ . На рис. 2 приведены зависимости мощности излучения и длительности импульса на полувысоте от температуры для смеси He-Xe (а) в лазере с продольной накачкой и для смеси Ar-Xe (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

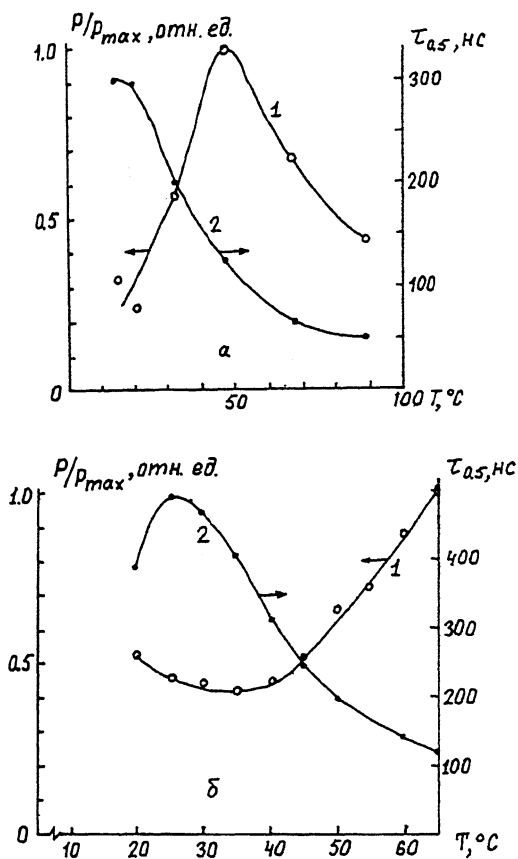
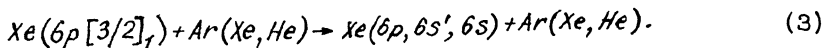
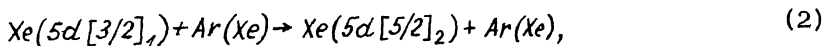
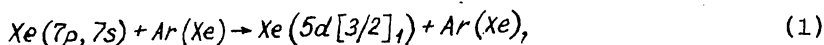


Рис. 2. Зависимости мощности излучения (1) и длительности импульса на полувысоте (2) при начальном давлении 1 атм от температуры смеси He:Xe = 250:1 при продольной накачке (а) и от температуры смеси Ar:Xe = 250:1.5 при поперечной накачке (б).

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 Ar-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 Ar-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  $30^\circ$  будет составлять менее 1% и не должно существенно влиять на константы процессов, определяющих кинетику ксенонового лазера. Однако изменением газовой температуры на  $30^\circ$  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,  $k = 2 \cdot 10^{-4} T^{1.5} \exp(-0.28/T)$   $\text{см}^3/\text{с}$  [10], где  $T$  – температура рабочей смеси в эВ. Тогда при нагреве на  $30^\circ$   $k$  увеличится в  $\sim 3$  раза, соответственно изменятся концентрации ионов  $\text{Xe}^+$  и  $\text{HeXe}^+$ . 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  $70^{\circ}\text{C}$  связано с разрушением ионов  $\text{ArXe}^+$  и  $\text{Xe}_2^+$  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  $\text{He-Xe}$ ,  $\text{Ar-Xe}$  и  $\text{He-Ar-Xe}$  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., Середина 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., Держижев 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.