

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ГАЗОВОЙ СМЕСИ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОГО ArF-ЛАЗЕРА

А.Д. Клементов, Н.В. Морозов, П.Б. Сергеев

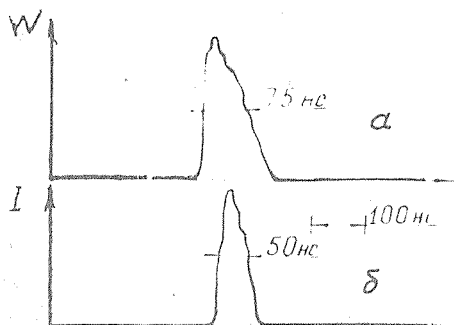
УДК 621.373.826.038.535

Показано, что оптимальной для электронно-пучкового ArF-лазера (ArF-ЭПЛ) является газовая смесь из неона, аргона и фтора. Проведена оптимизация ее компонентного состава. Энергия генерации ArF-ЭПЛ составила 3 Дж с к.п.д. $\approx 3\%$. Приводится спектр генерации лазера.

Эксимерный ArF-лазер с электронно-пучковым возбуждением (ArF-ЭПЛ) перспективен для многих применений. Однако возможности и условия его работы изучены слабо. Лишь в /1, 2/ сообщалось о получении генерации в ArF-ЭПЛ.

В работе проведено экспериментальное исследование влияния компонентного состава рабочей газовой смеси (РГС) на энергетические характеристики ArF-ЭПЛ, работающего при удельных мощностях возбуждения ~ 1 МВт/см³·атм.

Эксперименты проводились на установке ЭЛ-1 /3, 4/. Лазерная камера (ЛК) имеет активную область 0,45 л при длине 23 см и световом диаметре 5 см. Электронная пушка установки работала в режиме, обеспечивавшем среднюю по объему удельную мощность возбуждения $\sim 0,6$ МВт/см³·атм в неоне и ~ 1 МВт/см³·атм при использовании аргона. Форма импульса мощности накачки (мощности электронного пучка) показана на рис. 1а. Харак-



Р и с. 1. Осциллограммы импульса мощности электронного пучка (а) и лазерного излучения (б).

терная форма импульса генерации, измеренная с помощью ФЭК-22 СПУ-М, представлена на рис. 16. Регистрация электрических сигналов осуществлялась на осциллографе СУР-1. Эксперименты по оптимизации компонентного состава РГС AgF-ЭПЛ проводились с резонатором, образованным двумя плоскими диэлектрическими зеркалами с коэффициентом отражения $R = 65\%$. Калориметрами БКДМ измерялась энергия обоих лазерных пучков. РГС приготавливалась в ЛК и заменялась после каждого выстрела. Для приготовления РГС использовались благородные газы марки "ВЧ". Фтор содержал $\sim 1,5 - 2\%$ HF и O_2 . Генерация в AgF-ЭПЛ на трехкомпонентной РГС из Ne/Ar/F₂ наблюдалась при давлении выше 2 атм. На двухкомпонентной смеси из Ar/F₂ порог генерации достигался на резонаторе с прозрачностью $T \approx 60\%$ при давлении 1-3 атм. Это подтверждает теоретические оценки, согласно которым в трехкомпонентной РГС из Ne/Ar/F₂ коэффициент усиления в 1,5-2 раза выше, чем в РГС из Ar/F₂ при одинаковой удельной мощности возбуждения.

На рис. 2а представлена зависимость энергии генерации AgF-ЭПЛ от давления F₂ при полном давлении трехкомпонентной РГС 3 атм и соотношении парциальных давлений $P(Ar)/P(Ne) = 1/10$. Длительность импульса генерации при $P(F_2) = 3$ торр была постоянной и составляла ~ 50 нс (рис. 16). При уменьшении $P(F_2)$ от 3 до 1 торр длительность генерации сокращалась с 50 до 30 нс. Оптимальное $P(F_2)$ можно связать с удельным энерговкладом за импульс E (Дж/см³) соотношением

$$P(F_2) = 20E \text{ торр.} \quad (1)$$

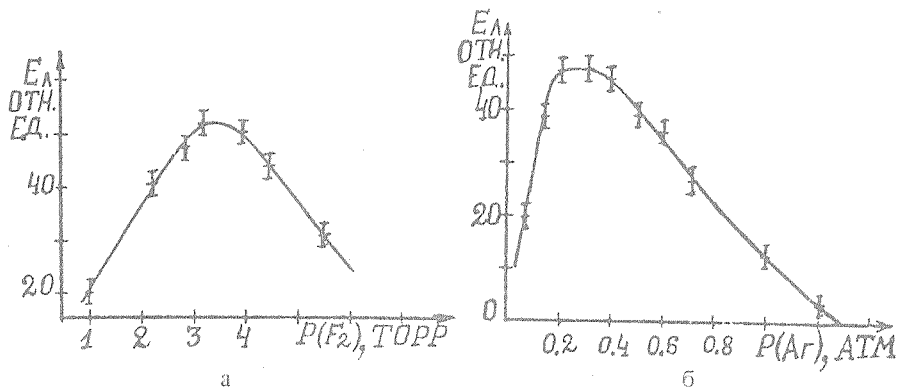
Это выражение совпадает с аналогичной величиной для KгF-ЭПЛ [4] и определяет минимальное $P(F_2)$, связанное с "выгоранием" F₂ (распад $F_2 \rightarrow 2F$) в течение импульса накачки.

На рис. 2б представлена зависимость энергии генерации от давления аргона при фиксированном удельном энерговкладе $\sim 0,14$ Дж/см³ и удельной мощности накачки ~ 2 МВт/см³. Постоянство энерговклада поддерживалось при изменении $P(Ar)$ соответствующим уменьшением $P(Ne)$:

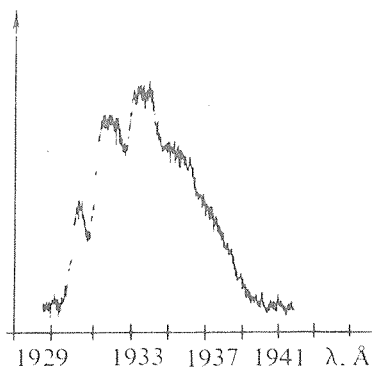
$$P(Ne) = 3 - 2P(Ar), \quad (2)$$

где давление P измеряется в атмосферах.

Как видно из полученной зависимости, оптимум $P(Ar)$ по отношению к $P(Ne)$ находится в области 5-10%. Это совпадает с результатом работы [2]. Максимальная энергия генерации в экспериментах по оптимизации РГС при $P = 3$ атм составила 1,6 Дж с к.п.д. $\approx 2\%$.



Р и с. 2. Зависимость энергии генерации АгF-ЭПЛ от парциального давления F_2 (а) и от давления аргона (б).



Р и с. 3. Денситограмма спектра генерации АгF-ЭПЛ.

На оптимальной РГС с соотношением $\text{Ne}/\text{Ar}/F_2 = 750/75/1$ при давлении 4 атм была получена максимальная энергия генерации 3 Дж с к.п.д. $\approx 3\%$. Оптимизация прозрачности резонатора, по-видимому, позволит поднять полученные значения энергии и к.п.д.

На рис. 3 представлена денситограмма спектра генерации АгF-ЭПЛ. Спектр получен на спектрографе ИСП-30, в котором кварцевая призма была заменена на призму из флюорита. Данный спектр имеет характерные провалы из-за поглощения излучения кислородом воздуха [5]. На эти линии могут накладываться и линии поглощения HF в РГС [6]. Форма спектра генерации АгF-ЭПЛ и расположение линий поглощения совпадают с аналогичными для

электроразрядных ArF-лазеров, в которых в качестве буферного газа используется гелий /5/. Этот факт указывает на то, что неон и различные его компоненты, присутствующие в активной среде ArF-ЭПЛ, не поглощают в области линии генерации.

В ArF-ЭПЛ можно использовать в качестве буферного газа и гелий, но, из-за его низкой тормозной способности для электронов, эффективное использование энергии электронного пучка будет возможно при давлениях $\sim 10-20$ атм, что значительно усложнит обеспечение надежной работы оптики и фольгового узла.

Таким образом, в работе показано, что оптимальная РГС для ArF-ЭПЛ должна состоять из неона, аргона и фтора. При мощностях возбуждения ≥ 1 МВт/см³ оптимум $P(\text{Ar})$ по отношению к $P(\text{Ne})$ находится в области 5-10%, а оптимальная концентрация F_2 в РГС связана с удельным энерго-вкладом E соотношением (1). Получена лазерная энергия 3 Дж при длительности импульса генерации 50 нс с к.п.д. $\approx 3\%$. Достигнутые значения энергии и к.п.д. получены вблизи порога генерации и при оптимизации резонатора могут быть увеличены.

Авторы выражают благодарность С.И. Сагитову и сотрудникам его группы за изготовление диэлектрических зеркал.

Поступила в редакцию 6 июля 1984 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hoffman J.M., Hays A.K., Tisone G.C. Appl. Phys. Lett., 28, 538 (1976).
2. Edwards C.B., O'Neill F., Shaw M.J. Appl. Phys. Lett., 36, 617 (1980).
3. Бучнев В.М., Клементов А.Д., Сергеев П.Б. Квантовая электроника, 8, 1235 (1981).
4. Бучнев В.М., Клементов А.Д., Сергеев П.Б. Квантовая электроника, 10, 2048 (1983).
5. Burnham R., Djeu N. Appl. Phys. Lett., 29, 707 (1976).
6. Shimauchi M., Miura T., Karasawa S. J. Chem. Phys., 71, 3538 (1979)