

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМПУЛЬСНОГО ХИМИЧЕСКОГО $H_2 - F_2$ -ЛАЗЕРА

© 2005 А.И. Ключач¹, С.Ю. Пичугин²

¹Самарский государственный университет

²Самарский филиал Физического института им. П.Н.Лебедева РАН

Проведен численный анализ работы фтороводородного лазера в условиях пониженной начальной температуры рабочей среды. Получены расчетные зависимости удельной энергии генерации от начальной температуры среды. Понижение начальной температуры смеси импульсного химического $H_2 - F_2$ - лазера приводит к монотонному падению расчетного энергосъема, что объясняется замедлением скоростей химических реакций накачки. Результаты проведенных расчетов согласуются с экспериментальными данными.

В импульсном химическом лазере на колебательно – вращательных переходах молекул HF, образующихся в цепной реакции водорода со фтором, температура смеси играет большую роль. При понижении начальной температуры можно, в принципе, уменьшить содержание вводимого в смесь ингибитора O_2 , понижающего лазерную длину цепи, и реально даже отказаться от ингибитора O_2 , т.к. он способствует образованию радикала HO_2 , негативное влияние на энергетику HF-лазера которого было рассмотрено в [1]. Также возможно получение временных задержек импульсов генерации относительно импульса инициирования, как предсказывалось в [2-3]. Экспериментальное исследование импульсного химического $H_2 - F_2$ -лазера с пониженной начальной температурой смеси проведено в [4]. Было показано что понижение начальной температуры лазерной среды до 150 К приводило к монотонному падению измеренной энергии генерации. Однако уменьшение начальной температуры смеси позволило составлять смеси с малым содержанием O_2 , что увеличивало лазерную длину цепи и соответственно КПД лазера, так что при определенных условиях они даже превышали значения, полученные при комнатной температуре. Настоящая работа посвящена теоретическому исследованию характеристик импульсного химического фтороводородного лазера при пониженной начальной температуре рабочей смеси. Резуль-

таты расчетов сравнивались с экспериментальными данными [4].

В расчётах использована многоуровневая модель $H_2 - F_2$ -лазера [3], дополненная вторичными процессами с участием радикала HO_2 [1]. Константа скорости релаксации HF^* на OH принята такой же, как и для саморелаксации HF в силу близости физических параметров взаимодействия при столкновении молекул. При численном расчёте характеристик многоуровневого $H_2 - F_2$ -лазера совместно решались уравнения для населённостей колебательных уровней молекулы HF с номерами $v = 0, 1, \dots, 7$, уравнения химической кинетики в среде $H_2 - F_2$ -лазера, уравнение для среднего запаса колебательных квантов H_2 и уравнение для температуры газовой среды.

Теоретический анализ характеристик $H_2 - F_2$ -лазера проводился для смеси, исследованной в [4]: $F_2 : O_2 : He : H_2 = 15 : 3 : 28 : 4$ (давление $p = 0,5$ атм при комнатной температуре). В расчетах инициирование считалось мгновенным. Начальная концентрация активных центров, соответствующая усредненной по длине кюветы степени инициирования 0,2 %, составляла $0,74 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Пороговый коэффициент усиления резонатора на основании данных [4] полагался в расчетах равным $0,24 \text{ см}^{-1}$.

Был проведен расчет зависимости удельной энергии генерации e_L химического фтороводородного лазера от начальной температуры рабочей среды. Расчетная кривая представ-

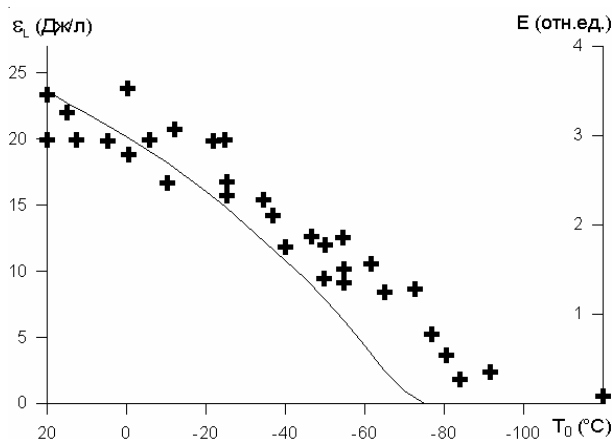


Рис. 1. Расчетная зависимость удельного энергопотребления фторводородного лазера от начальной температуры смеси (—) и экспериментальные значения энергии генерации E (+)

лена на рис.1. Здесь же приведены экспериментальные результаты [4]. Как следует из расчетов, понижение начальной температуры смеси $H_2 - F_2$ -лазера приводит к монотонному уменьшению удельного энергопотребления. Это связано в первую очередь с замедлением химической реакции накачки. При этом с уменьшением начальной температуры рабочей смеси представляется возможным составлять смеси с малым содержанием O_2 , что увеличивает лазерную длину цепи и ведет к уменьшению содержания радикала HO_2 . Из представленных результатов видно, что расчетная зависимость энергии генерации от температуры согласуется с экспериментальными данными.

Важным моментом является расчет временной формы импульсов генерации при пониженных температурах. С понижением температуры рабочей среды следует ожидать замедления протекания химического процесса, который может быть использован для создания большой концентрации активных центров цепи. При этом, можно использовать световое инициирование, как технически более простой и экономичный способ, чем инициирование электронным пучком. Ранее теоретически изучались условия работы фторводородного лазера с пониженной начальной температурой рабочей среды, при которых удается разделить во времени стадии светового инициирования реакции и ее бурного протекания, и были найдены соответствующие условия [2]. В настоящей работе был проведен расчет временной

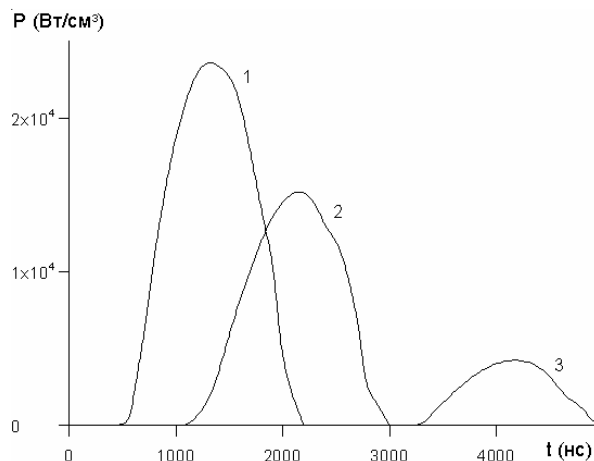


Рис. 2. Расчетные временные зависимости удельной мощности генерации $H_2 - F_2$ -лазера при различных температурах рабочей смеси: 1 – $T_0 = +20^\circ C$, 2 – $T_0 = -20^\circ C$, 3 – $T_0 = -60^\circ C$

формы импульсов генерации химического лазера при различных температурах. Результаты расчетов представлены на рис.2. Как видно из рис.2 с понижением температуры происходит задержка (на 0.5 – 3.2 мкс) расчетных импульсов генерации относительно инициирующего импульса. За такое время световой импульс может полностью инициировать смесь еще до начала генерации. Следовательно, возможно использование импульсного фотолиза для инициирования изначально охлажденной рабочей смеси.

Выводы

1. Проведенные в работе расчеты показывают, что охлаждение рабочей смеси фторводородного лазера с $20^\circ C$ до $-60^\circ C$ ведет к снижению удельной энергии генерации с 23,5 Дж/л до 4,7 Дж/л, т.е. в 5 раз.

2. Снижение температуры рабочей среды с $20^\circ C$ до $-60^\circ C$ приводит к росту временных задержек начала генерации относительно инициирующего импульса с $\sim 0,5$ мкс до 3,2 мкс, т.е. более чем в 6 раз.

3. Увеличение времени задержки импульса генерации $H_2 - F_2$ -лазера относительно инициирующего импульса с понижением температуры рабочей смеси позволяет разделить во времени стадии инициирования и протекания реакции, а также заменить технически сложное инициирование электронным пучком более простым импульсным фотолизом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Игошин В.И., Ключах А.И., Пичугин С.Ю.* Влияние кислорода на энергетику импульсного химического фтороводородного лазера // Квантовая электроника. 2004. №2.
2. *Башкин А.С., Игошин В.И., Никитин В.Ю., Ораевский А.Н.* О возможности получения коротких импульсов лазерного излучения при фотолизе охлажденной смеси $H_2 - F_2$ // Квантовая электроника. 1978. № 4.
3. *Игошин В.И., Пичугин С.Ю.* Многоуровневая модель импульсного химического $H_2 - F_2$ -лазера и перспективные режимы его работы // Квантовая электроника. 1994. № 5.
4. *Гордон Е.Б., Матюшенко В.И., Сизов В.Д.* Импульсный химический H_2/F_2 -лазер с пониженной начальной температурой смеси // Квантовая электроника. 1995. №1.

THE INFLUENCE OF INITIAL TEMPERATURE OF WORKING MIXTURE ON THE ENERGY CHARACTERISTICS OF CHEMICAL PULSED $H_2 - F_2$ LASER

© 2005 A.I. Klukach¹, S.Yu. Pichugin²

¹Samara State University

²Samara Branch of Physics Institute named for P.N. Lebedev of Russian Academy of Sciences

An $H_2 - F_2$ laser operation in conditions with decreased initial temperature of working mixture is theoretically simulated. The computational dependences of specific energy of generation from initial temperature of mixture are obtained. Decreasing initial temperature of chemical pulsed $H_2 - F_2$ laser mixture reduces to monotone decreasing of the computation specific energy of generation. It can be explained of the deceleration of the speed chemical reaction pump. The computational results are in good agreed with experimental results.