

$H_2 - F_2$ -усилитель, инициируемый ИК лазерным излучением в условиях неоднородности рабочей смеси

В.И.Игошин, С.Ю.Пичугин, И.Л.Стукалина

Теоретически исследуется $H_2 - F_2$ -усилитель, работа которого инициируется излучением импульсного фторводородного лазера. Выполнены численные расчеты с учетом неоднородности начальной концентрации HF, возникающей из-за особенностей приготовления лазерной смеси в экспериментах. Средний расчетный энергопотребление для смеси состава $H_2:F_2:O_2:He = 100:600:30:100$ мм рт. ст. составляет около 15 Дж/л при среднем вдоль оси усилителя начальном давлении фторводорода 0.5 мм рт. ст. Результаты расчетов позволяют заключить, что при достижении в экспериментах достаточной однородности среды возможно получение лазерного эффекта на основе предложенной кинетической схемы инициирования $H_2 - F_2$ -лазера.

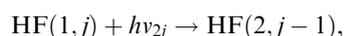
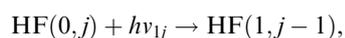
Ключевые слова: $H_2 - F_2$ -усилитель, резонансное колебательное возбуждение молекул, инициирование цепной реакции.

Один из возможных подходов к проблеме создания химического лазера, инициируемого собственным излучением и не потребляющего энергию других внешних источников, апробирован нами с соавторами в работе [1]. В этой работе рассчитаны лазерные характеристики в условиях развития генерации за счет энергетического разветвления инициируемой ИК лазерным излучением цепной реакции в смеси $HF - H_2 - F_2 - O_2 - He$. Впервые экспериментально цепная реакция в смеси $H_2 - F_2 - O_2 - He$ была инициирована излучением фторводородного лазера. Проведенное сравнение экспериментально и теоретически полученных времен развития генерации обнаружило удовлетворительную корреляцию расчетных и измеренных времен развития цепной реакции. Однако в экспериментах [1] не была получена лазерная генерация. Основной причиной этого, на наш взгляд, являлось то, что в экспериментах использовался недостаточно однородный по объему состав рабочей смеси. Последним в смесь $H_2 - F_2 - O_2 - He$ поступал водород через ряд отверстий, размещенных с периодом ~ 5 см. Это приводило к неоднородности образования HF по длине реактора. Целью настоящей работы является расчет процесса развития лазерного излучения и достижимых лазерных характеристик в условиях неоднородности рабочей смеси, а также получение количественного критерия, определяющего допустимую степень неоднородности HF.

Исследуем $H_2 - F_2$ -усилитель, инициирование которого осуществляется через резонансное возбуждение молекул HF излучением импульсного фторводородного лазера с последующей передачей колебательной энергии от этих молекул молекулам H_2 . Колебательно-возбужденные молекулы H_2 вступают в реакцию с молекулами F_2 с образованием свободных атомов. Расчет лазерных характеристик проведем в условиях усиления за счет

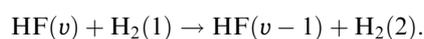
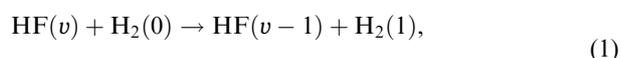
энергетического разветвления цепной реакции в смеси $HF - H_2 - F_2 - O_2 - He$ для инициирующего импульса, спектральный состав и энергетические характеристики которого соответствуют экспериментальным данным для излучения $H_2 - F_2$ -лазера [1].

Рассмотрим среду $HF - H_2 - F_2 - O_2 - He$, на которую действует импульс многолинейчатого излучения $H_2 - F_2$ -лазера с длительностью t_{in} . Молекулы фтористого водорода резонансно поглощают излучение каждой линии входного импульса с образованием колебательно-возбужденных молекул $HF(v)$ (v – номер колебательного уровня):

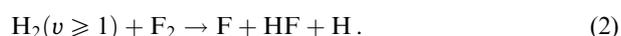


.....

Здесь j – вращательное квантовое число; ν_{vj} – частота излучения P -линии входного импульса на переходе $(v, j - 1) \rightarrow (v - 1, j)$. Молекулы $HF(v)$ передают колебательную энергию молекулам водорода:



Возникающие колебательно-возбужденные молекулы H_2 вступают в реакцию с молекулами F_2 , образуя свободные атомы:



Таким образом, под действием внешнего импульса $H_2 - F_2$ -лазера в среде $H_2 - F_2 - O_2 - He$ образуется некоторое количество свободных атомов с концентрацией $N_a(t_{in})$ и происходит инициирование цепной реакции между H_2 и F_2 . В ходе этой реакции образуются колебательно-возбужденные молекулы $HF(v)$ ($v = 1 - 9$), а процессы (1), (2) приводят к возникновению дополнительных сво-

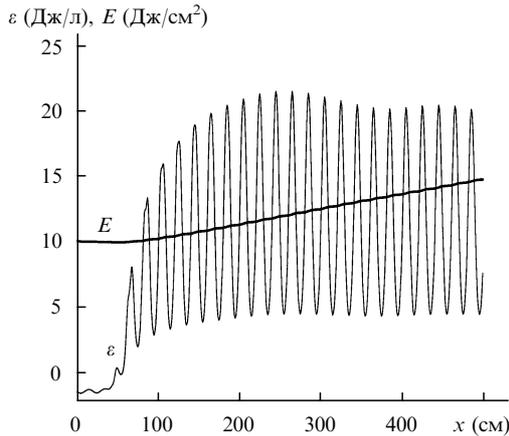


Рис.1. Зависимости расчетного удельного энергосъема ε и плотности энергии лазерного излучения E от x для смеси H₂:F₂:O₂:He = 100:600:30:100 мм рт. ст. при $C = 0.05$ мм рт. ст.

(включая инициирующее) от x для смеси H₂:F₂:O₂:He = 700:600:30:100 мм рт. ст. при $C = 0.05$ мм рт. ст. Видно, что средний энергосъем для такой обогащенной смеси составляет около 15 Дж/л при $x > 100$ см, а это уже представляет практический интерес. Осцилляции энергосъема вызваны неоднородностью концентрации HF вдоль оси x . В рассчитанном варианте усилителя, работающего в одностороннем режиме, коэффициент усиления по энергии (отношение энергий выходного и инициирующего лазерного излучения) при длине усилителя 4–5 м равен 1.3–1.5. Коэффициент же усиления по поглощенной в среде энергии инициирующего излучения значительно больше. Он может быть реализован в схеме регенеративного усилителя, где почти вся введенная энергия остается в активной среде. Согласно расчетам в таком усилителе коэффициент усиления может достигать 40–50 [5].

Основной же целью настоящей работы являлась интерпретация результатов экспериментов [1] и выяснение причин отсутствия в них генерации лазерного излучения. На рис.2 приведена зависимость удельного энергосъема

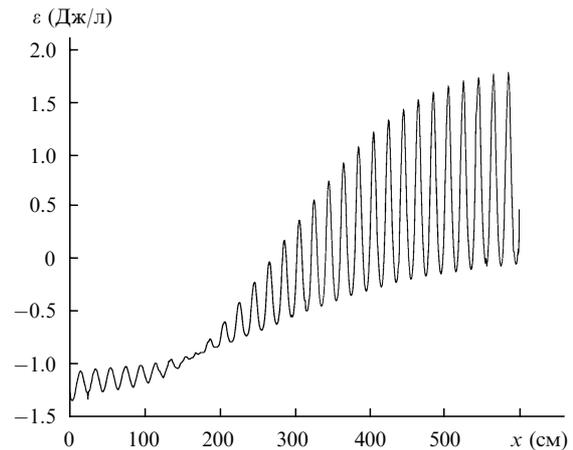


Рис.2. Зависимость расчетного удельного энергосъема ε от x для смеси H₂:F₂:O₂:He = 76:228:23:578 мм рт.ст. при $C = 0.05$ мм рт. ст.

ма от x для экспериментальной смеси H₂:F₂:O₂:He = 76:228:23:578 мм рт. ст. при $C = 0.05$ мм рт. ст. Видно, что средний расчетный энергосъем для этой смеси составляет около 0.5 Дж/л при $x > 400$ см.

Результаты расчетов позволяют заключить, что при достижении в экспериментах достаточной однородности среды можно вполне надеяться на успех в получении лазерного эффекта на основе предложенной кинетической схемы инициирования.

1. Азаров М.А., Дроздов В.А., Игошин В.И., Куров А.Ю., Петров А.Л., Пичугин С.Ю., Трошчиненко Г.А. *Квантовая электроника*, **24**, 983 (1997).
2. Игошин В.И., Пичугин С.Ю. *Квантовая электроника*, **21**, 417 (1994).
3. Башкин А.С., Курдоглян М.С., Ораевский А.Н. *Труды ФИАН*, **194**, 49 (1989).
4. Азаров М.А., Игошин В.И., Пичугин С.Ю., Трошчиненко Г.А. *Квантовая электроника*, **29**, 21 (1999).
5. Игошин В.И., Пичугин С.Ю., Стукалина И.Л. *Квантовая электроника*, **30**, 580 (2000).