

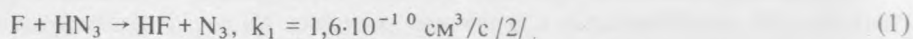
СРАВНЕНИЕ АКТИВНЫХ СРЕД ХИМИЧЕСКИХ ЛАЗЕРОВ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА НА ПЛАМЕНАХ H_2-F-NF_2 И H_2-F-HN_3

А. Н. Дворянкин, В. Н. Макаров, В. А. Щеглов

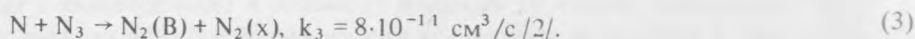
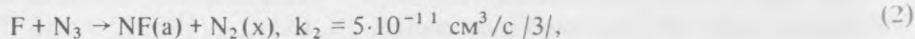
Проведено сравнение активных сред химических лазеров видимого диапазона на основе пламен H_2-F-NF_2 и H_2-F-HN_3 . Показано, что при сравнимых характеристиках среда H_2-F-HN_3 имеет ряд преимуществ.

В работе /1/ исследована эффективность химической наработки метастабильных электронно-возбужденных частиц (метастабилей) $NF(a^1\Delta)$, $NF(b^1\Sigma^+)$, $N_2(A^3\Sigma_u^+)$ в сверхзвуковых пламенах H_2-F-NF_2 и показана возможность создания обменного $N_2(A)-IF$ лазера видимого диапазона $\lambda=625$ нм. В настоящей работе приведены результаты аналогичных расчетов для альтернативной среды H_2-F-HN_3 .

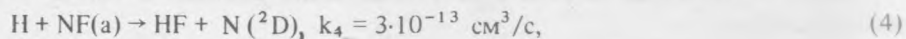
Ключевым реагентом, участвующим в наработке метастабилей, является радикал азида N_3 , образующийся в реакции фтора с азотистоводородной кислотой HN_3



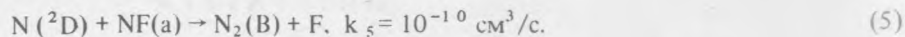
В реакциях азида с атомами фтора и азота нарабатываются электронно-возбужденные молекулы $NF(a^1\Delta)$ и $N_2(B^3\Pi_g)$ соответственно:



Атомарный азот в электронно-возбужденном состоянии $N(^2D)$ нарабатывается в реакции

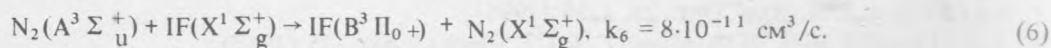


а атомы азота в основном состоянии $N(^4S)$ возникают в результате процессов столкновительной дезактивации $N(^2D) + M \rightarrow N(^4S) + M$. Дополнительным источником электронно-возбужденного азота является реакция



Реакция (3), в которой происходит наработка электронно-возбужденного молекулярного азота, исследовалась с участием атома азота в основном состоянии. Однако из энергетических и симметричных соображений следует, что с участием электронно-возбужденных атомов азота она будет происходить не менее эффективно.

В результате процессов радиационного распада и релаксации высоковозбужденных молекул азота $N_2(B)$ по триплетным термам нарабатывается метастабиль $N_2(A)$. В качестве акцептора энергии электронного возбуждения $N_2(A)$ используется молекула IF :



Коэффициент усиления рассчитывается на переходе $IF(B, v' = 0 \rightarrow \lambda, v'' = 5)$, $\lambda = 625$ нм. Заселенность колебательных уровней основного и электронно-возбужденного состояний предполагается равновесной вследствие больших значений констант скоростей V-T релаксации молекулы IF .

Возможность создания химического $N_2(A) - IF$ лазера с наработкой электронно-возбужденного азота в реакции (3) рассматривалась в работе /5/, однако в ней не решен вопрос о химическом источнике атомар-

ного азота. В данной работе в качестве источника атомарного азота рассматривается реакция (4). Константа скорости этого процесса при температуре 300 К на два порядка меньше значений, характерных для экзоэргических реакций с участием свободных радикалов. Поэтому наработка атомарного азота является узким местом рассматриваемой системы, а азот лимитирующим реагентом.

Малое значение константы скорости k_4 , по-видимому, объясняется наличием потенциального барьера. Поэтому повышение температуры среды может существенно увеличить скорость реакции (4). Альтернативным источником атомарного азота может стать диссоциация азида $N_3 + M \rightarrow N_2 + N + M$. Однако в данной работе эти возможности не исследовались, а рассмотрен наименее благоприятный вариант с малым значением k_4 .

Расчеты производились в предположении мгновенного смешения в сверхзвуковой части сопла при скорости потока $u = 2 \cdot 10^3$ м/с. Начальный состав смеси 1% H_2 + 2% HN_3 + 4% F + 0,4% IF + 92,6% He . Начальные давление $p_0 = 150$ торр и температура $T_0 = 300$ К. Степень расширения сопла $S/S_0 = 3,5$ при значении координаты $x = 1$ см вниз по потоку выбиралась такой, чтобы температура T не отличалась существенно от T_0 .

Результаты расчетов представлены на рис. 1, 2. На рис. 1 сплошными линиями изображены зависимости логарифмов концентраций исходных реагентов H_2 , F , HN_3 и продуктов первичных реакций H , N_3 , $NF(a)$, $NF(b)$. Штриховой линией изображена зависимость температуры T от координаты x вниз по потоку. Видно, что первичные химические реакции в основном заканчиваются на расстоянии $x = 0,5$ см от точки смешения вследствие выработки исходных реагентов, концентрация которых уменьшается на один – два порядка. Максимум концентраций промежуточных продуктов (атомов, радикалов, электронно-возбужденных частиц) находится на расстоянии $x = 0,25$ см. Его положение определяется конкуренцией процессов наработки промежуточных частиц в первичных реакциях и уменьшением их концентраций за счет процессов тушения, химических реакций и расширения потока.

На рис. 2 сплошными линиями изображены зависимости логарифмов концентраций атомарного азота $[N] = [N(^4S)] + [N(^2D)]$ и электронно-возбужденных молекул $IF(B)$, $N_2(A)$ и $N_2(B)$. Штриховой линией изображена зависимость коэффициента усиления на переходе $IF(B, v' = 0 \rightarrow X, v'' = 5)$.

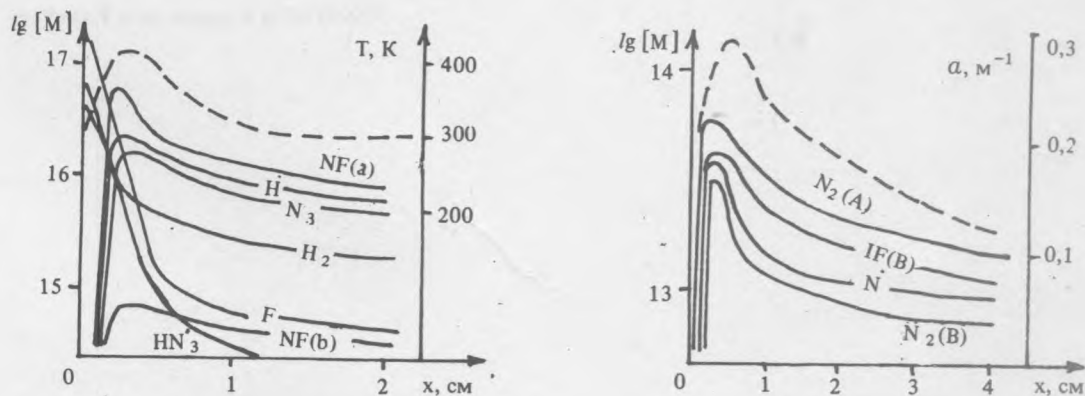


Рис. 1. Зависимость температуры и концентраций исходных реагентов и основных продуктов от координаты.

Рис. 2. Зависимость коэффициента усиления и концентраций электронно-возбужденного азота от координаты.

Реагентом, лимитирующим наработку донора $N_2(A)$ и, следовательно, определяющим заселенность верхнего излучающего состояния $IF(B)$, является атомарный азот. Поэтому зависимости концентраций $N_2(A, B)$, $IF(B)$ и коэффициента усиления α соответствуют изменению концентрации N .

Максимальное значение коэффициента усиления $\alpha = 0,3$ m^{-1} при длине $L = 5$ см активной зоны, в которой коэффициент усиления $\alpha \geq 0,1$ m^{-1} .

Отношения максимальных значений концентраций $NF(a)$, $NF(b)$ и $N_2(A)$ к исходной концентрации HN_3 составляют соответственно $0,34$, $6,8 \cdot 10^{-3}$ и $6,7 \cdot 10^{-4}$ и имеют тот же порядок, что и соответствующие

значения для пламен H_2-F-NF_2 :

Сравнение обеих сред показывает, что при одинаковой концентрации химически активных веществ в среде H_2-F-HN_3 генерируется в 1,5 раза больше метастабилей $N_2(A)$ и соответственно в полтора раза выше максимальное значение коэффициента усиления. Тепловыделение в этой среде меньше, поэтому при одинаковой форме сопла и одинаковых начальных плотностях происходит меньший рост температуры.

Однако основное отличие этих сред заключается в том, что единственным источником электронно-возбужденного азота $N_2(A, B)$ в пламенах H_2-NF_2-F является реакция (5), в которой участвует электронно-возбужденный атом азота $N(^2D)$. Поэтому наличие тушителей $N(^2D)$ может существенно ухудшить лазерные характеристики среды. В среде H_2-F-HN_3 существует альтернативный канал наработки $N_2(A, B)$ — реакция (3), происходящая с участием атомарного азота в основном состоянии $N(^4S)$.

В данной работе показана возможность создания химического $N_2(A)-IF$ лазера на основе сверхзвуковых пламен H_2-F-HN_3 . Сравнение с аналогичной активной средой H_2-F-NF_2 /1/ показывает, что благодаря наличию двух каналов генерация электронно-возбужденного азота в среде H_2-F-HN_3 происходит более эффективно, и она является более устойчивой к тушению $N(^2D)$.

Таким образом, на основе имеющихся экспериментальных данных по кинетике элементарных процессов и вышеизложенных результатов расчетов можно сделать вывод о том, что среда H_2-F-HN_3 является более перспективной для создания химических лазеров видимого диапазона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дворянкин А. Н. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 1, 3 (1990).
2. Davis S. J., Coombe R. D. J. Phys. Chem., 89, 5602 (1985).
3. Novis F. E. et al. J. Phys. Chem., 92, 5133 (1988).
4. Davis S. J., Rawlins W. T., Piper L. G. J. Phys. Chem., 93, 1078 (1989).
5. Дворянкин А. Н., Щеглов В. А. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 12, 31 (1988).

Поступила в редакцию 7 августа 1989 г.