

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО $N_2(A)$ -IF ЛАЗЕРА ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА

А.Н. Дворянкин, В.А. Щеглов

Проведено численное исследование кинетики и лазерных свойств активной среды $N_2/N/HN_3/F/IF/He$. Рассчитаны энергетические характеристики химического $N_2(A)$ -IF лазера видимого диапазона

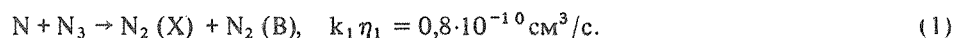
К настоящему времени кислород-йодный лазер /1/ является единственным чисто химическим лазером, в котором генерация осуществляется на электронных переходах. Его работа основана на передаче электронной энергии (Е-Е обмене) при столкновении наработанного в химической реакции электронно-возбужденного метастабильного донора ($O_2(a^1\Delta)$) с акцептором I ($^2P_{3/2}$), излучающим на переходе ($^2P_{1/2} - ^2P_{3/2}$) в ближнем ИК диапазоне /2/.

В настоящее время ведется интенсивный поиск других донорно-акцепторных пар с целью создания химических лазеров видимого и УФ диапазона /3 - 7/. В качестве акцепторов привлекают внимание молекулы галогенов и интергалогенов /4/.

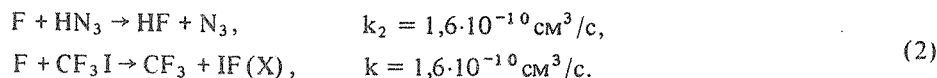
Перспективными донорами являются метастабильные электронно-возбужденные состояния молекулы азота. Наиболее изученным из них является нижнее метастабильное электронно-возбужденное состояние $N_2(A^3\Sigma_u^+)$. Для него характерны малые значения констант скоростей тушения k_q газами - разбавителями и молекулой азота в основном состоянии $N_2(X)$ ($k_q < 10^{-16}$ см³/с) и большая энергия электронного возбуждения $E_A = 6,2$ эВ. Известен ряд акцепторов - атомов и молекул, которые при столкновении с $N_2(A)$ переходят в излучающие электронно-возбужденные состояния /6/. В работе /7/ обсуждалась возможность использования NO, CO, HgBr₂, I₂ в качестве акцепторов энергии $N_2(A)$, но вопрос о способах создания требуемых концентраций $N_2(A) \sim 10^{15}$ см⁻³ не рассматривался.

В данной работе рассмотрена возможность химической наработки электронно-возбужденного молекулярного азота N_2^* и использование его в качестве донора для передачи энергии акцептору IF(X).

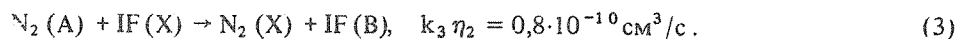
Для химической генерации N_2^* можно использовать быструю реакцию атомарного азота $N(^4S)$ с азидом $N_3(^2\Pi)$ /8, 9/, в которой с большим квантовым выходом ($\eta_1 > 0,2$) нарабатывается электронно-возбужденный азот $N_2(B^3\Pi_g)$:



В работе /10/ предложена и экспериментально проверена возможность использования полученного в реакции (1) электронно-возбужденного азота для передачи энергии излучающему состоянию акцептора IF. При этом азид N_3 и акцептор IF(X) нарабатывались одновременно в реакциях атомарного фтора с HN_3 и CF_3I :



Наблюдалась хемилюминесценция $IF(B^3\Pi_0^+)$, получаемого в быстром процессе обмена электронным возбуждением при столкновении донора $N_2(A)$ с акцептором IF(X), происходящего с большим квантовым выходом IF(B) ($\eta_2 > 0,4$) /11/,

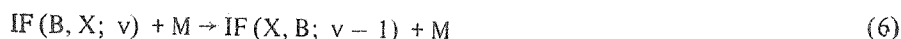


Молекулы азота в состоянии $N_2(A)$ получались при излучательной и столкновительной релаксации $N_2(B)$

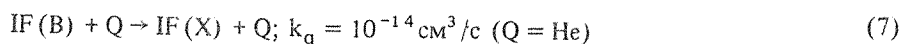


В отличие от /10/ нами в качестве исходной рассматривалась среда, получаемая при смешении потоков $N_2/N/HN_3/He$ и F/IF , в каждом из которых вещества слабо реагируют друг с другом. Такое отличие связано с тем, что CF_3I , используемый в /10/ для наработки IF , является сильным тушителем $N_2(A)$ /12/.

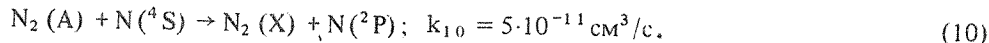
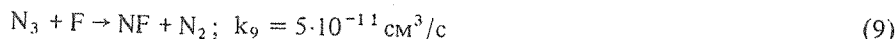
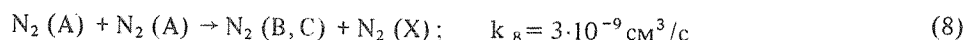
К числу основных процессов, определяющих кинетику активной среды, относятся наряду с (1) – (4) спонтанное излучение $IF(B)$, колебательная релаксация основного и электронно-возбужденного состояний молекулы IF , процессы тушения $IF(B)$, процессы пулинга при столкновении электронно-возбужденных молекул азота между собой и тушение $N_2(A)$ при столкновении с атомарным азотом:



$$k_{VT}^B = 2 \cdot 10^{-12} \text{ см}^3/\text{с}; k_{VT}^X = 10^{-13} \text{ см}^3/\text{с} \quad (M = He)$$



$$k_q = 10^{-11} \text{ см}^3/\text{с} \quad (Q = IF); \quad k_q = 10^{-10} \text{ см}^3/\text{с} \quad (Q = NF)$$



Инверсия в активной среде возникает между нулевым колебательным уровнем электронно-возбужденного состояния молекулы $IF(B, \nu' = 0)$ и верхними колебательными уровнями основного состояния $IF(X, \nu'' > 3)$. Так как термы основного и электронно-возбужденного состояний IF сдвинуты, то факторы Франка-Кондона благоприятствуют радиационным переходам $I(B, \nu' = 0 \rightarrow X, \nu'' = 3-7)$, а максимальное сечение вынужденного излучения имеет переход $IF(B, \nu' = 0 \rightarrow X, \nu'' = 5)$, $\lambda = 625 \text{ нм}$. В случае доплеровского уширения и равновесного распределения заселенностей вращательных уровней при $T = 300 \text{ К}$ это сечение равно $1,3 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$. Важными особенностями кинетической схемы (1)–(10) являются быстрое самотушение донора (8) и конкуренция реакций (1) и (9), в которых расходуется азид; при этом в реакции (9) нарабатывается NF , являющийся сильным тушителем $IF(B)$. Расчеты проводились для сверхзвуковой модели $N_2(A) - IF$ лазера при скорости потока $v = 2 \text{ км/с}$. Смешение реагентов полагалось мгновенным, среда изотермической, что оправдывается большим разбавлением. Учитывалось десять колебательных уровней $IF(B)$ и двенадцать $IF(X)$. Распределение по вращательным уровням предполагалось равновесным при $T = 300 \text{ К}$.

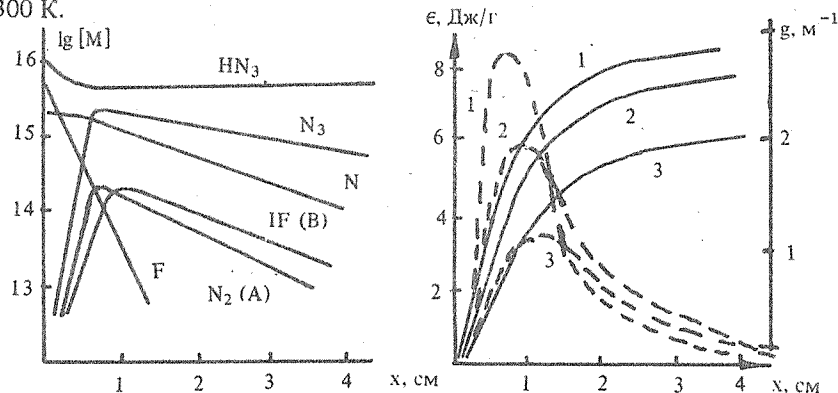


Рис. 1. Зависимость логарифма концентраций основных реагентов $[M]$ (см^{-3}) от координаты x .

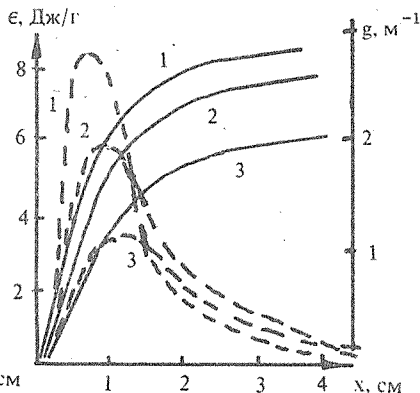


Рис. 2. Зависимость ненасыщенного коэффициента усиления g и снимаемой удельной энергии ϵ от координаты x вниз по потоку. $[N]_0 = 6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ (1), $4,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ (2), $3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ (3).

Оптимальным соотношением для начальных концентраций реагентов, акцептора $IF(X)$ и релаксанта He является $N : F : HN_3 : IF : N_2 : He = 1 : 1,5 : 2 : 3 : 10 : 400/6/$. При этом минимальная концентрация основного лимитирующего реагента — атомарного азота $N(^4S)$, необходимая для экспериментального наблюдения коэффициента усиления $g = 10^{-1} м^{-1}$, составляет $[N]_0 = 10^{15} см^{-3}$. Некоторые результаты численных расчетов приведены на рис. 1 — 2.

На рис. 1 изображена зависимость логарифма концентраций основных реагентов и излучающей частицы $IF(B)$ от расстояния вниз по потоку. Начальная концентрация атомарного азота $[N]_0 = 4,5 \cdot 10^{15} см^{-3}$.

На рис. 2 штриховыми линиями изображена зависимость ненасыщенного коэффициента усиления g сплошными — зависимость снимаемой удельной энергии ϵ от расстояния X вниз по потоку. Цифры у кривых соответствуют различным начальным концентрациям азота $[N]_0$ при сохранении вышеуказанного соотношения между реагентами. Видно, что с ростом начальных концентраций растет значение коэффициента усиления и удельного энергосъема ϵ и уменьшается длина L активной зоны. Разумным компромиссом между повышением энергосъема и уменьшением длины активной зоны является использование смеси с начальной концентрацией атомарного азота $[N]_0 = 4,5 \cdot 10^{15} см^{-3}$. При этом общее давление составляет 50 торр, максимальное значение ненасыщенного коэффициента усиления $g = 2 м^{-1}$, длина активной зоны $L = 4 см$, химический КПД $\eta = 3\%$, удельный энергообъем $\epsilon = 7,5 Дж/г$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pritt A. T. et al. Appl. Phys. Lett., 31, 745 (1977).
2. Степанов А. А., Щеглов В. А., Юрышев Н. Н. Квантовая электроника, 12, 1127 (1985).
3. Басов Н. Г. и др. Препринт ФИАН № 348, М., 1985.
4. Басов Н. Г., Гавриков В. Ф., Щеглов В. А. Квантовая электроника, 14, 1754 (1987); Известия АН СССР, сер. физ., 51, 1404 (1987).
5. Басов Н. Г. и др. Квантовая электроника, 14, 1772, 1787 (1987).
6. Басов Н. Г. и др. Препринт ФИАН № 136, М., 1988.
7. Измайлов И. А., Кочелав В. А., Мельников Л. Ю. В сб. Квантовая электроника № 32, с. 3, Киев, Наукова Думка, 1987.
8. Yamasaki K., Fueno T., Kajimoto O., Chem. Phys. Lett., 94, 425 (1983).
9. David S. J., Coombe R. D. J. Phys. Chem., 89, 5206 (1985).
10. David S. J. et al. Chem. Phys. Lett., 136, 352 (1987).
11. Piper L. G. et al. J. Chem. Phys., 83, 5602 (1985).
12. Ongstad A. P., David S. J., Coombe R. D. Chem. Phys. Lett., 136, 358 (1987).

Поступила в редакцию 13 июля 1988 г.