

УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЙ ЛАЗЕР ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА СМЕСИ Ar + N₂

Н.Г.Басов, В.А.Данилычев, В.А.Долгих, О.М.Жеримов,
А.Н.Лобанов, А.Ф.Сучков

Получена генерация на длине волны $\lambda = 3577 \text{ \AA}$ при накачке смеси Ar + N₂ электронным пучком. Исследованы спектральные и энергетические характеристики лазера в зависимости от состава смеси при давлениях 0 + 20 атм

1. В настоящее время генерация ультрафиолетового излучения на второй положительной системе азота $C^3P_u \rightarrow B^3P_g$ ($\lambda = 3371 \text{ \AA}$) получена как при возбуждении N₂ коротким импульсом разрядного тока, так и пучком быстрых электронов от ускорителя [1, 2]. Однако достигнутые КПД и удельная мощность генерации малы (0,6%, 2 квт/см³ [1]). Для улучшения энергетических характеристик лазера было предложено использовать для заселения верхнего лазерного уровня N₂ (C^3P_u) передачу энергии с возбужденных в разряде ³P-состояний аргона [3]. Од-

нако генерация на смеси $\text{Ar} + \text{N}_2$ получена не была. Недавние эксперименты по возбуждению Xe , Kr и Ar мощным электронным пучком показали высокую эффективность накачки 3P -уровней инертных газов $\sim 20\%$ [4]. В связи с этим в настоящей работе были проведены эксперименты по получению генерации в смеси $\text{Ar} + \text{N}_2$, возбуждаемой электронным пучком.

2. Электронный пучок от ускорителя с холодным катодом ($E = 600 \text{ кэВ}$, $j = 100 \text{ а/см}^2$, $\tau = 2 \cdot 10^{-8} \text{ сек}$) [5] вводился в камеру с рабочей смесью через титановую фольгу толщиной 50 мкм . Длина активной области составляла 4 см . Резонатор лазера образован сферическим глухим ($r = 0,5 \text{ м}$) и плоским полупрозрачным ($T = 8\%$) алюминиевыми зеркалами, напыленными на подложку из кварца. Энергия лазерного излучения измерялась калориметром, мощность — скоростным вакуумным фотоэлементом (разрешение не хуже 10^{-9} сек).

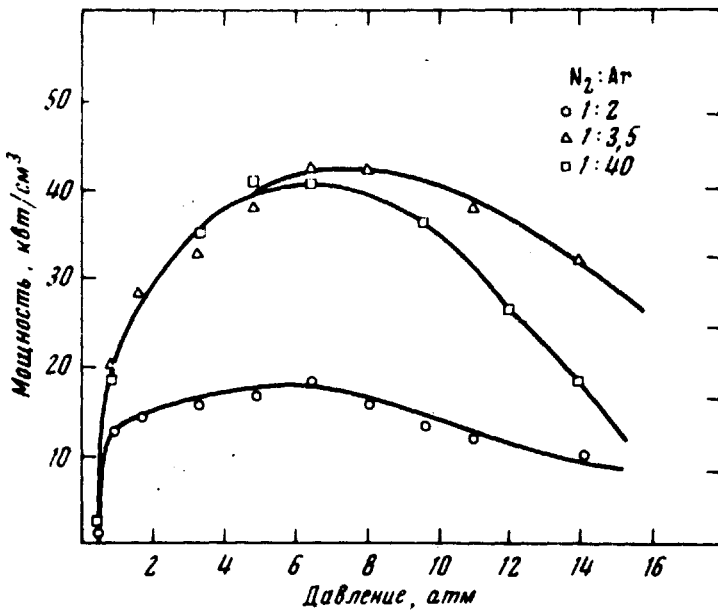


Рис. 1. Зависимость удельной мощности генерации от давления и состава смеси $\text{Ar} + \text{N}_2$

Спектры излучения с помощью монохроматора ВМ-1 (дисперсия 18 \AA/мм) фотографировались на пленку РФ-3. Спектральные и энергетические характеристики лазерного и спонтанного излучения исследовались в зависимости от состава смеси $\text{Ar} + \text{N}_2$ при давлениях $0 + 20 \text{ атм}$. В спектрах спонтанного излучения чистого N_2 и смесей $\text{Ar} + \text{N}_2$ линия перехода $C^3P_{u \nu'} = 0 \rightarrow B^3P_{g \nu''} = 1$ ($\lambda = 3577 \text{ \AA}$) обладает наибольшей интенсивностью. Мощность спонтанного излучения возрастает примерно на порядок при добавлении аргона к азоту. Это свидетельствует о том, что прямое возбуждение электронным ударом уровня C^3P_u мало по сравнению с заселением аргоном. В смесях с содержанием N_2 более 50% порог генерации не достигался. Генерация получена на длине

волны 3577 \AA в смесях состава $\text{Ar} : \text{N}_2$ от 1 : 1 до 40 : 1. Порог генерации достигался при давлении смеси $\sim 0,4 \text{ атм}$. КПД лазера со смесью $\text{Ar} : \text{N}_2$ (3,5 : 1) давлением 1 атм составлял 3%. Форма импульса лазерного излучения при давлениях больших $0,7 \text{ атм}$ для всех исследованных смесей повторяла форму импульса накачки. Зависимость удельной мощности генерации от состава и давления смеси приведена на рис. 1. Максимальная удельная мощность генерации достигала 45 квт/см^2 при давлении $\sim 7 \text{ атм}$, что существенно превосходит значения, полученные ранее [1, 2].

Спектры спонтанного и лазерного излучения при давлении смеси $\text{Ar} : \text{N}_2$ (3,5 : 1), равном 14 атм, приведены на рис. 2.

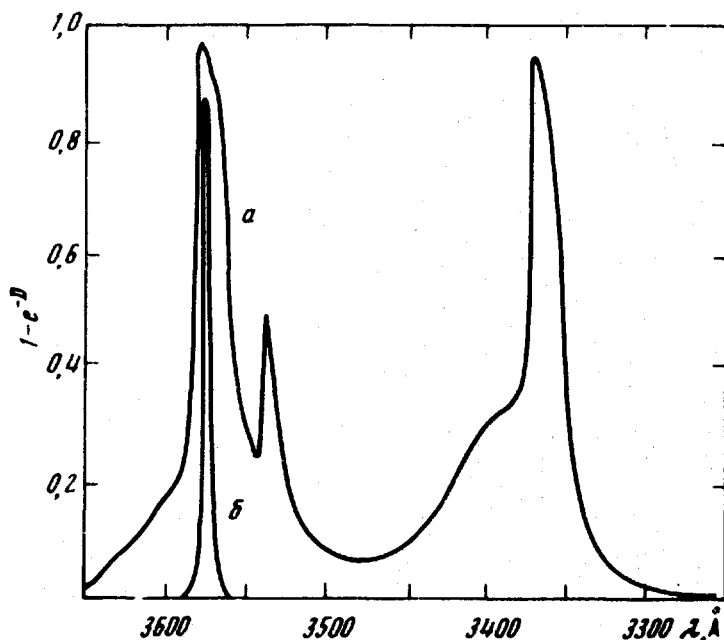
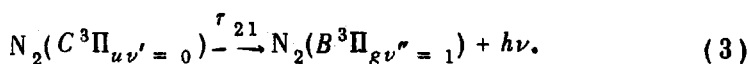
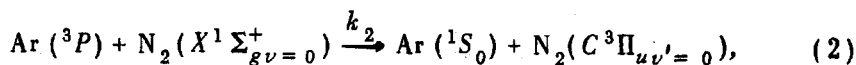
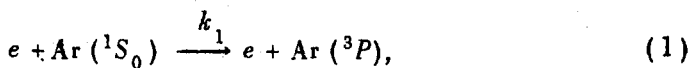
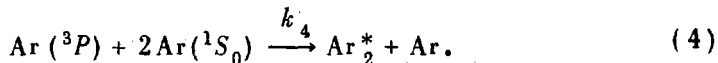


Рис. 2. Микрофотограмма спектров спонтанного (а) и лазерного (б) излучения (D — почернение пленки). Ширина линии генерации ($\sim 2 \text{ \AA}$) определяется разрешением монохроматора. Интенсивность спектра (б) уменьшена по сравнению с интенсивностью спектра (а) примерно в 500 раз

3. Можно предположить, что образование инверсии и генерация в смеси $\text{Ar} + \text{N}_2$ происходит по следующей схеме



Время жизни метастабильных уровней 3P аргона ~ 1 сек [6]. В результате столкновений второго рода образуются возбужденные молекулы $N_2(C^3\Pi_u)$, преимущественно в состоянии с $v' = 0$. Эффективное сечение передачи возбуждения $\sim 3,4 \cdot 10^{-16}$ см² [7]. При высоких давлениях конкурирующим с (2) процессом является образование возбужденных молекул Ar_2^* , излучающих в ВУФ области спектра.



Скорость образования молекул Ar_2^* в тройном соударении $k_4 \sim 10^{-32}$ см⁶ · сек⁻¹ [8].

Стационарное решение скоростных уравнений, описывающих реакции (1) – (4) показывает, что населенность уровня $C^3\Pi_{uv'} = 0$ на пороге генерации равна

$$n_2 = A \tau_{21} k_2 x (1-x) j / [k_2 x + k_4 N (1-x)^2], \quad (5)$$

где τ_{21} – время жизни уровня относительно (4); k_2 – скорость передачи энергии от $Ar(^3P)$ к $N_2(X^1\Sigma_g^+)$; j – плотность тока ускорителя; x – доля N_2 в смеси; N – число частиц смеси в см³; A – нормировочная константа. Нижний лазерный уровень в соответствии с принципом Франка – Кондона заселяется пренебрежимо мало, $n_1 \approx 0$. В связи со столкновительным тушением уровня $C^3\Pi_{uv'} = 0$ τ_{21} убывает с ростом давления N_2 [9]

$$1/\tau_{21} = 1/\tau_{21}^0 + 3,3 \cdot 10^7 p x, \quad (6)$$

где $\tau_{21}^0 = 4 \cdot 10^{-8}$ сек – время жизни при $p = 0$; p – давление смеси в атм.

Зависимости (5) – (6) качественно объясняют полученные экспериментальные результаты. Уменьшение коэффициента усиления и выходной мощности при высоких давлениях, по-видимому, связано со столкновительным тушением, возрастанием скорости процесса (4), а также с увеличением ширины линии перехода.

В многокаскадной схеме с задающим генератором рассмотренная лазерная среда является перспективной для получения мощных субна- носекундных импульсов с высоким контрастом и КПД $\sim 2 - 3\%$.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
13 июня 1974 г.

Литература

- [1] D.A.Leonard. Appl. Phys. Lett., 7, 4, 1965.
[2] R.W.Dreyfus, R.T.Hodson. Appl. Phys. Lett., 20, 195, 1972.
[3] А.В.Елецкий, Б.М.Смирнов. Газовые лазеры, М., Атомиздат, 1971 г., стр. 34.

- [4] J.V.Gerardo, A.W.Johnson. IEEE, J. Quantum Electronics, QE-9, 748, 1973.
- [5] В.А.Данилычев, Д.Д.Ходкевич. ПТЭ, № 3, 157, 1971.
- [6] Van Dick, Jr, С.Е.Johnson, Н.А.Shugart. Phys. Rev., A5, 991, 1972.
- [7] О.П.Бычкова, Н.В.Чернышева, Ю.А.Толмачев. Оптика и спектроскопия, 36, 36, 1974.
- [8] E.Ellis, N.D.Twiddy. J. Physics B, 2, 1366, 1969.
- [9] J.M.Calo, R.C.Axtmann. J. Chem. Phys., 54, 1332, 1971.
-