

02; 07

© 1991

РЕЗКИЙ РОСТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАЗЕРА
НА КСЕНОНЕ С НАКАЧКОЙ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМБ.М. Беркелиев, В.А. Долгих,
И.Г. Рудой, А.М. Сорока

Лазер ближнего ИК диапазона ($\lambda \sim 2$ мкм) с ионизирующим возбуждением (осколки деления [1, 7], электронный пучок [2, 3, 5, 9], коротковолновое излучение [4]) смеси Ar/Xe высокого давления интенсивно исследуется в последние годы как экспериментально, так и теоретически [1-9]. При маломощной ядерной накачке (удельная мощность $P_H \sim 20$ Вт/см³, длительность $\tau_H \sim 5$ мс) мгновенный КПД генерации на $\lambda = 1.73$ мкм (переход ксенона $5d [3/2]_1 - 6p [5/2]_2$) составил в [7] свыше 5% при давлении активной среды 0.7 атм и содержании ксенона 0.5%. В случае существенно большей мощности возбуждения ≥ 10 кВт/см³, обеспечиваемой электронным пучком, эффективность генерации при давлении смеси ~ 1 атм резко уменьшается [2, 9]. В настоящей работе показано, что при достаточно мощной накачке (~ 5 кВт/см³) в области давлений аргона ~ 1 атм КПД генерации существенно возрастает при включении в состав активной среды гелия и предложено объяснение полученных результатов.

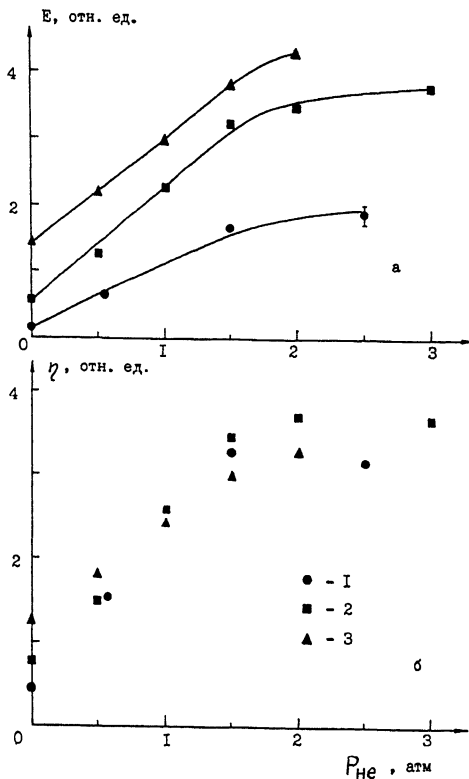
Условия возбуждения газовых смесей совпадают с [10]: плотность тока пучка ≈ 1.2 А/см², длительность импульса по полувысоте 1.3 мкс, энергия быстрых электронов $E \approx 180$ кэВ (характерная мощность возбуждения 3-10 кВт/см³).

В большинстве экспериментов использовался резонатор с прозрачностью 6-7% в области 1.7-2.1 мкм.

На рисунке приведена зависимость энергии и КПД генерации от давления гелия в нескольких смесях $He/Ar/Xe$. При вычислении потерь энергии быстрых электронов в активной среде и мощности возбуждения считалось, что $(dE/dx)_{Ar} = 9(dE/dx)_{He}$, $(dE/dx)_{Xe} = 27(dE/dx)_{He}$ в соответствии с отношением зарядов ядер [11].

Аналогично результатам [2] энергия и эффективность генерации в двухкомпонентной смеси Ar/Xe быстро увеличиваются с ростом давления в интервале 0.5-2 атм. Включение в состав активной среды ~ 1 атм He приводит к увеличению КПД η , причем максимальная величина η_* близка для всех исследованных смесей (вообще говоря, η_* зависит от соотношения концентраций $[Xe]/[Ar]$ и прозрачности резонатора лазера).

Авторы [9] обнаружили рост эффективности генерации на $5d-6p$ переходах ксенона только при накачке гелийсодержащих смесей



Зависимость энергии (а) и КПД (б) генерации от давления гелия в смесях $Ar/Xe = 100/1$ давлением 0.5 атм - 1, 1 атм - 2, 1.5 атм - 3.

электронным пучком с плотностью тока $\approx 40 \text{ A/cm}^2$ и, сделав вывод, что этот эффект наблюдается лишь при очень мощной накачке, объяснили его увеличением скорости заселения верхнего лазерного уровня при диссоциативной рекомбинации с участием более „холодных“ в присутствии гелия электронов. Однако в отсутствие канала потерь скорость рекомбинации определяет только концентрацию ионов и электронов, но не стационарный коэффициент усиления и КПД лазера. В [9] также учитывается, что ускорение рекомбинации приводит к уменьшению концентрации электронов и, соответственно, снижению скорости электронного тушения верхнего лазерного уровня электронами ν_e . Как представляется, и этот эффект не может быть существенным, по крайней мере в условиях настоящей работы (при сопоставимом давлении активной среды мощность накачки в ≈ 50 раз ниже, чем в [9]), поскольку, согласно данным [6, 12], скорость расселения нижнего лазерного уровня аргоном

чрезвычайно высока $\nu_T \approx 2 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}/\text{атм}$ и заведомо во много раз превосходит скорость электронного тушения, а $\gamma \sim (1 - \nu_e / \nu_T)$.

Предлагая интерпретацию полученных результатов, необходимо учитывать, что влияние гелия на КПД снижается с уменьшением мощности накачки и при маломощном возбуждении его включение в состав активной среды не приводит к увеличению эффективности лазера [7].

Мы полагаем, что влияние He обусловлено зависимостью селективности заселения δ верхнего лазерного уровня $5d [3/2]_1$ при диссоциативной рекомбинации $ArXe^+$ от температуры электронов. При уменьшении T_e в присутствие гелия величина δ увеличивается, возрастает и КПД лазера. При очень мощной накачке рост селективности настолько значителен, что при замене части аргона гелием существенно возрастает даже энергия генерации [9], что не наблюдается при умеренной мощности возбуждения в настоящей работе. При маломощной накачке T_e мало отличается от температуры газа и в отсутствие гелия, поэтому влияние гелия незначительно [7]. Аналогичная зависимость селективности накачки от температуры электронов обнаружена в лазере высокого давления на атоме неона ($\lambda \approx 585 \text{ нм}$), в котором заселение верхнего лазерного уровня происходит при диссоциативной рекомбинации молекулярного иона Ne_2^+ [13].

Если предлагаемая интерпретация влияния гелия справедлива, то при $T_e \sim 0.5 \text{ эВ}$ (характерная температура электронов в смеси Ar/Xe в условиях настоящей работы) селективность рекомбинации не превышает 25–30 % и возрастает до 80–100 % при $T_e \sim 300 \text{ К}$ [7]. Малая (по сравнению с квантовой) величина КПД генерации при электроионизационном возбуждении [5] может объясняться именно небольшой величиной селективности заселения верхнего лазерного уровня при температуре электронов существенно превышающей комнатную.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Воинов А.М., Довбыш Л.Е., Кривоносов В.Н. и др. // Письма в ЖТФ. 1981. Т. 7. В. 16. С. 1016–1019.
- [2] Басов Н.Г., Данилычев В.А., Дудин А.Ю. и др. // Квантовая электроника. 1984. Т. 11. № 9. С. 1722–1736.
- [3] Коваль Н.Н., Крейндель Ю.Е., Месяц Г.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 1. С. 37–42.
- [4] Долгих В.А., Камруков А.С., Керимов О.М. и др. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 4. С. 244–249.

- [5] Баранов В.В., Данилычев В.А., Дундин А.Ю. и др. // ЖТФ. 1988. Т. 58. № 11. С. 2187-2193.
- [6] Клоповский К.С., Лукьянова А.В., Рахимов А.Т., Суетин Н.В. // Квантовая электроника. 1989. Т. 16. № 2. С. 205-211.
- [7] Alford W.J., Hauss G.N. // J. Appl. Phys. 1989. V. 65. N 10. P. 3760-3766.
- [8] Держиев В.И., Жидков А.Г., Середина О.В., Яковленко С.И. // Тр. ИОФАН. 1989. Т. 21. С. 139-141.
- [9] Держиев В.И., Жидков А.Г., Середина О.В. и др. // Квантовая электроника. 1990. Т. 17. № 8. С. 985-988.
- [10] Беркелиев Б.М., Долгих В.А., Рудой И.Г., Сорока А.М. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 21.
- [11] Молчанов А.Г. // Труды ФИАН. 1986. Т. 171. С. 54-127.
- [12] Xu J., Setser D.W. // J. Chem. Phys. 1990. V. 92. N 7. P. 4191-5002.
- [13] Александров А.Ю., Долгих В.А., Керимов О.М. и др. // Изв. АН СССР. Сер. физическая. 1989. Т. 53. № 8. С. 1474-1483.

Поступило в Редакцию
7 марта 1991 г.
В окончательной редакции
22 октября 1991 г.