

ЭЛЕКТРОИОНИЗАЦИОННЫЙ СО ЛАЗЕР С ИНЖЕКЦИЕЙ ЛАЗЕРНОЙ СМЕСИ В ЖИДКОЙ ФАЗЕ

Е.П. Глотов, В.А. Данилычев, А.А. Ионин, А.В. Кучаев,
Д.В. Силицын, А.М. Сорока, В.И. Югов

Предлагается способ охлаждения активной среды электроионизационных СО лазеров квазизамкнутого цикла на основе инжекции сжиженных компонент лазерной смеси в газовый поток перед разрядным промежутком. Приводятся результаты предварительных экспериментов по инжекции жидкой фазы лазерной смеси в активный объем импульсного ЭИ СО лазера.

Электроионизационные (ЭИ) СО лазеры наиболее эффективны среди мощных электроразрядных лазеров. Однако их уникальные характеристики (физический КПД $\eta_{\Phi} \approx 40-50\%$, удельный массовый энергосъем $\omega_m = 100-200$ Дж/г), достигнутые в непрерывном и импульсном режимах [1-4], реализуются лишь при криогенном охлаждении активной среды до температур ~ 100 К. Для получения таких температур в ЭИ СО лазерах применяются следующие методы: 1) прокачка лазерной смеси через криогенный (обычно азотный) теплообменник [4]; 2) стационарное охлаждение лазерного объема при помощи азотной "рубашки" [3]; 3) адиабатическое охлаждение в сверхзвуковом сопле [5] либо в турбодетандере [6].

В настоящей работе предлагается иной способ достижения криогенных температур, пригодный для ЭИ СО лазеров квазизамкнутого цикла. Сжиженные компоненты лазерной смеси (CO:N_2 , $\text{CO:N}_2:\text{Ar}$) в виде мелкодисперсных частиц инжектируются в газовый поток 1 (рис. 1) перед активным объемом 2 и охлаждают газ до необходимых температур T_0 на входе электроразрядного промежутка за счет теплоты испарения Γ . При достаточно малом размере впрыскиваемых капель удастся решить сразу две технически сложных задачи — без теплообменника понизить температуру газового потока до $T_0 \approx 100$ К и произвести быструю газификацию жидкофазной смеси. После прохождения активного объема часть расхода 3, равная расходу инжектируемой жидкости 4, удаляется из контура 5 (рис. 1). Отношение впрыскиваемого расхода \dot{m} к полному расходу газа \dot{M} , проходящему через активный объем лазера,

$$\dot{m}/\dot{M} = \{1 + [\Gamma + C_p(T_0 - T_k)](\eta_{\Phi}/\delta_T \omega_m)\}^{-1} \quad (1)$$

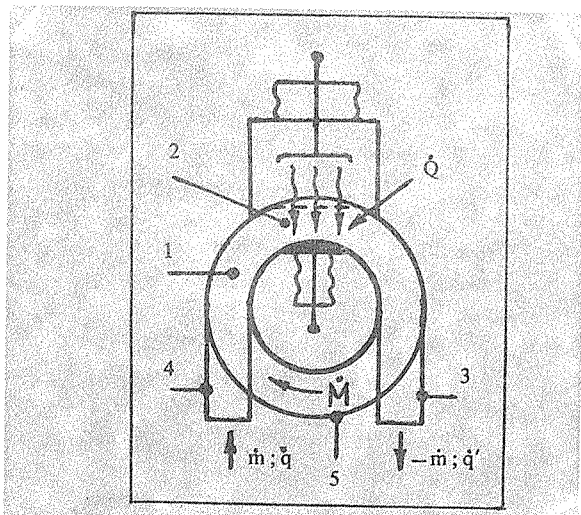
определяется из энергетического баланса $\dot{q} = \dot{Q} - \dot{q}'$, где $\dot{q} = \dot{m}[\Gamma + C_p(T_0 - T_k)]$ — мощность теплоотода от лазерного газа за счет испарения капель и нагрева испаренного вещества от температуры кипения лазерной смеси T_k до рабочей температуры T_0 ; $\dot{Q} = (\delta_T \omega_m / \eta_\Phi) M$ — мощность тепловыделения при возбуждении лазерной смеси; $\dot{q}' = (\omega_m \delta_T / \eta_\Phi) \dot{m}$ — мощность теплоотода за счет удаления газа из контура (Γ — удельная теплота испарения лазерной смеси, C_p — удельная теплоемкость при постоянном давлении, δ_T — доля энерговклада, идущая в нагрев).

Энергосъем W_m с единицы массы, инжектируемой в контур, значительно превосходит ω_m и определяется соотношением

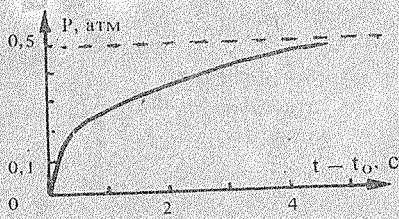
$$W_m = \omega_m \left\{ 1 + [\Gamma + C_p(T_0 - T_k)] (\eta_\Phi / \delta_T \omega_m) \right\}. \quad (2)$$

При характерных значениях параметров $\Gamma = 200$ Дж/г; $C_p = 1$ Дж/г·К; $T_0 - T_k \approx 20$ К; $\delta_T \approx 0,2-0,6$; $\omega_m \approx 150$ Дж/г; $\eta_\Phi \approx 0,4$ получаем $\dot{m}/\dot{M} \approx 0,3-0,5$; $W_m \approx (2-3,3) \omega_m \approx 300-500$ Дж/г.

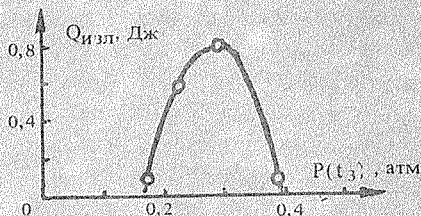
Основными преимуществами рассматриваемого способа являются уменьшение весогабаритных характеристик ЭИ СО лазеров и увеличение ресурса работы при фиксированном запасе лазерной смеси. Применение в лабораторной практике позволит использовать неохлаждаемые модули ЭИ СО₂ лазеров в качестве модулей ЭИ СО лазеров.



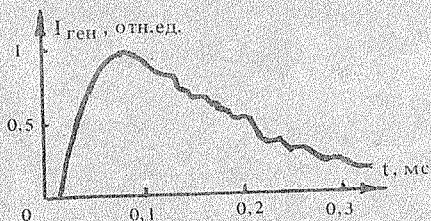
Р и с. 1. Схема электроионизационного СО лазера квазизамкнутого цикла с инжекцией лазерной смеси в жидкой фазе.



а



б



в

Р и с. 2. Характер изменения давления в лазерной камере (а). Зависимость энергии излучения лазера от времени поджига ЭИ разряда, выраженного через давление в лазерной камере по рис. 2а (б). Характерная осциллограмма формы импульса излучения лазера (в).

На импульсной ЭИ лазерной установке, описание которой дано в [7], были выполнены предварительные эксперименты, моделирующие инжекцию лазерной смеси в жидкой фазе в активный объем ЭИ СО лазера. Заранее приготовленная лазерная смесь (СО: N₂ = 1:9) сжижалась в специальном сосуде, отделенном от вакуумированного лазерного объема тонкой мембраной. Количество жидкой смеси выбиралось таким образом, чтобы обеспечить при полном ее испарении заданную плотность газа $\rho = 0,5$ Амага в лазерном объеме. При увеличении давления в сосуде до ~ 5 атм (что достигалось нагревом жидкой лазерной смеси при постоянном объеме на 20 К) мембрана прорывалась и перегретая жидкость инжектировалась в межэлектродный зазор лазерной камеры, находящейся при комнатной температуре. Характер изменения давления в лазерной камере представлен на рис. 2а, где t_0 — момент прорыва мембраны, t_1 — время окончания испарения жидкой фазы ($\leq 0,1-0,2$ с), t_2 — время окончания термализации всего объема газа в лазерной кювете ($t_2 \approx 3 \div 5$ с).

Поджиг электроионизационного разряда осуществлялся от синхроимпульса датчика, связанного со стрелкой манометра, измеряющего давление в лазерной камере. Начальное значение параметра E/ρ было постоянно во всех экспериментах и составляло величину ~ 4 кВ/см·Амага. (Предполагалось, что, начиная с момента t_1 , плотность газа в лазерном объеме остается практически неизменной.) Удельный энерговыход достигал ~ 260 Дж/л·Амага.

Резонатор лазера был образован глухим золотым вогнутым зеркалом с радиусом кривизны 10 м и плоским выходным зеркалом с коэффициентом отражения $\sim 50\%$ на длине волны $\lambda \approx 5$ мкм. Оптический объем лазера составлял $\sim 2,5$ л (длина активной области $L = 1260$ мм при световом диаметре $D = 50$ мм).

Зависимость энергии излучения от времени поджига ЭИ разряда $P(t_3)$ ($t_3 \geq t_1$) представлена на рис. 26. Максимальная энергия излучения составила $\sim 0,7$ Дж при КПД $\sim 0,2\%$. При $t_3 \geq 0,5$ с генерация не наблюдалась, что связано с нагревом лазерного газа и ростом пороговой энергии накачки. Форма импульса излучения при $t_3 \approx 0,3$ с (рис. 2в) и его длительность (~ 200 мкс на полувысоте) свидетельствуют о том, что генерация развивается в лазере с охлажденной до криогенных температур газовой смеси.

Угловая расходимость излучения лазера $\sim 6 \cdot 10^{-3}$ рад по полной энергии, измеренная по размеру пятна в фокальной плоскости линзы, соответствовала геометрии используемого плосковогнутого резонатора.

Низкие значения энергии и КПД генерации, полученные в первых экспериментах, объясняются, по-видимому, рядом причин. Основной из них является несовершенство применяемой в эксперименте техники инъекции жидкой лазерной смеси в лазерный объем, что приводило к наличию небольшого количества аэрозольных частиц в активном объеме лазера в процессе генерации лазера. Существование таких частиц обуславливает сильные неселективные потери в лазерном резонаторе. Использование специальных форсунок, распылителей для инъекции жидкой лазерной смеси или отдельных ее компонент, точное соблюдение баланса энергии жидкой фазы на всех этапах ее преобразования в холодный газ, и других способов, позволяющих трансформировать поток криогенной жидкости в однородный поток охлажденного лазерного газа, по-видимому, даст возможность достичь энергетических характеристик, предельных для ЭИ СО лазеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Манн М.М. AIAA Journal, 15, № 5, 549 (1976).
2. Center R.E. Laser Handbook, ed. by. M.L. Smith, North-Holland Publ. Co. 1979, p. 89.
3. Басов Н.Г. и др. Труды ФИАН, 116, 54 (1980).
4. Аверин А.П. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 47, № 8, 1519 (1983).
5. Klosterman E.L., Byron S.R. J. Appl. Phys., 50, № 8, 5168 (1979).
6. Басов Н.Г. и др. ДАН СССР, 259, 1094 (1981).
7. Басов Н.Г. и др. Препринт ФИАН № 202, М., 1984.

Поступила в редакцию 8 августа 1985 г.