

# РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЯДА ЛАЗЕРНЫХ МИКРОИНЖЕКТОРОВ ПЛАЗМЫ СЛОЖНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Ю.Ю. Протасов

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

УНЦ фотонной энергетики

107005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5. protasov@power.bmstu.ru

Лазерные микроинжекторы плазмы являются перспективным инструментом плазменного спектрохимического анализа, так как при генерации плазмы сложного (практически любого) химического и ионизационного составов обеспечивают тонко регулируемую стехиометрию газовой-плазменных потоков, свободных от примесей ( $< 3\% \dot{m}$ ) в локальных реакционных объемах широкого диапазона параметров (концентраций нейтральных и заряженных частиц, температур и скоростей –  $n_{e,a} \sim 10^{14}-10^{19} \text{ см}^{-3}$ ,  $T_{e,a} \sim 10^{-1}-10 \text{ эВ}$ ,  $\tilde{v} \sim 10^4-5 \cdot 10^6 \text{ см/с}$ , соответственно) [1].

Существенным достоинством лазерного способа генерации, нагрева и инжекции плазмы является возможность пространственного разделения направлений отбора высокоэнтальпийных газовой-плазменных потоков и лазерного излучения при осуществлении различных форм факельного [2], оптического [3] и лазерного детонационного [4] разрядов в газовакуумных условиях. Основные требования к параметрическому ряду импульсных и квазистационарных лазерных микроинжекторов плазмы связаны с: возможностью – а. управления гидродинамической плотностью потока мощности ( $\sim \rho v^3$ ), химическим и ионизационным составом плазмы при изменении спектральной плотности мощности лазерного излучения в зоне генерации; - б. осуществления импульсно-периодического режима инжекции с необходимой дозировкой полного импульса в диапазоне 2-5 порядков.

Физико-технологические проблемы разработки лазерных микроинжекторов эрозионного типа связаны с необходимостью построения количественной теории спектрально-энергетического и размерного скейлинга данного класса лазерных генераторов плазмы в условиях многофакторных опто-теплофизических и радиационно-газодинамических внутрикамерных процессов, сопровождающих воздействие когерентного излучения ( $I_0 \sim 10^4-10^8 \text{ Вт/см}^2$ ,  $\tau_B \sim 10^{-8}-10^{-3} \text{ с}$ ) на конденсированное вещество аблирующей мишени.

В докладе представлены результаты исследований и разработок параметрического ряда лазерных микроинжекторов плазмы эрозионного типа, использующих явление световой абляции (светозероизии, испарения и деполимеризации) при воздействии лазерного излучения на плазмообразующее вещество в мишенной камере инжектора при его испарении, оптическом пробое у поверхности мишени и генерации светодетонационной ударной волны в газовой-плазменном потоке (рис. 1).

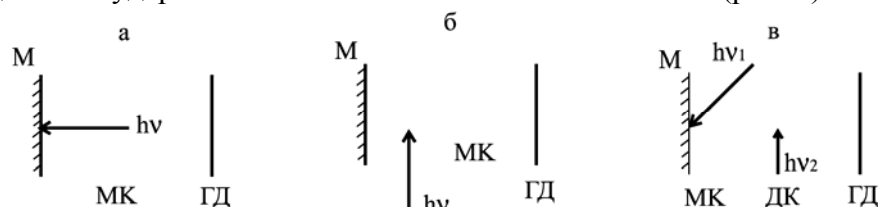


Рис. 1.

В инжекторах схемы «А» испарительного типа осуществляется факельный режим генерации эрозионной атомарной плазмы, распространяющейся по нормали и поверхности твердотельной мишени (М) в мишенной камере (МК) инжектора с последующим газодинамическим ее ускорением в сопловых насадках (ГД). Инжекторы

плазмы схемы «В» реализуют оптический разряд у поверхности мишени при низкороговом оптическом пробое газопаровой среды лазерным излучением при различных направлениях его ввода в МК инжектора и с активными радиационными процессами возбуждения и ионизации.

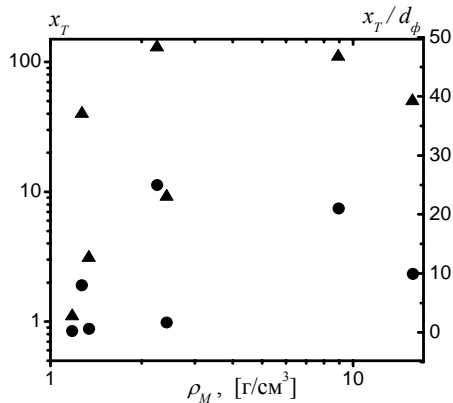


Рис. 2.

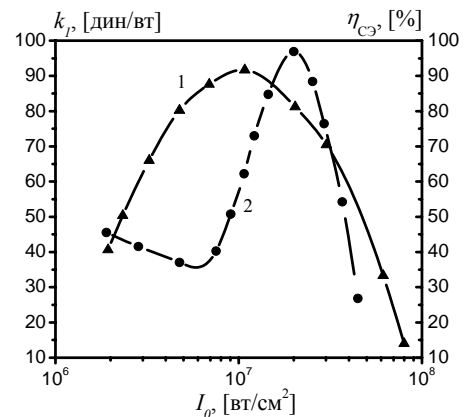


Рис. 3.

В схеме «С» реализуется двухкаскадный механизм генерации и динамического нагрева плазмы – первый лазерный импульс ( $h\nu_1$ ) обеспечивает генерацию в МК газо-плазменного потока необходимой плотности, а второй ( $h\nu_2$ ) – генерацию светодетонационной ударной волны в детонационной камере (ДК) генератора при оптическом пробое среды лазерным импульсом с модулированной добротностью.

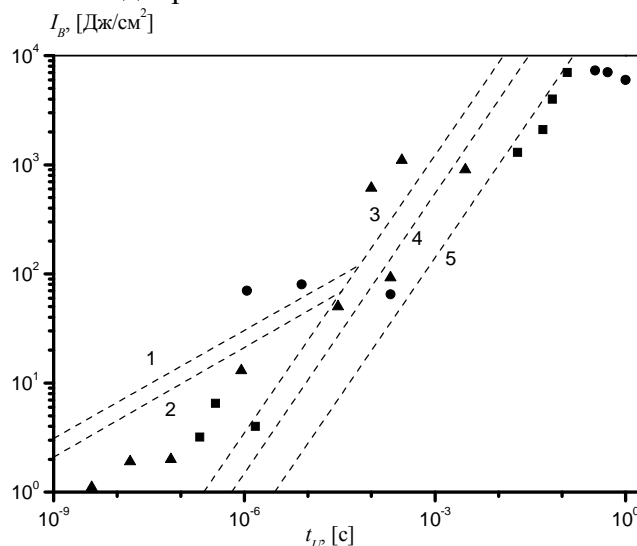


Рис. 4.

В микроплазменных инжекторах используются в качестве плазмообразующих веществ – металлы, диэлектрики, полупроводники и их смеси в необходимой стехиометрии, определяемой конструкцией аблирующей мишени с развитой поверхностью воздействия лазерного излучения и его спектрально-мощностными характеристиками (спектральной плотностью мощности и энергии, частотным режимом генерации и др.). Выбор соответствующих теплофизических характеристик вещества мишени и плотности мощности лазерного излучения позволяет тонко регулировать скорость тепловой волны и управлять процессом развитого испарения на контактной границе (рис. 2) в МК, эффективными показателями светозерозии (рис. 3) в широком диапазоне, где  $x_T$  – глубина зоны термического воздействия мишени (термодиффузия),  $d_\phi$  – диаметр пятна облучения (схема «а»,  $\tau_B \sim 10^{-4}$  с,  $\lambda \sim 0,69$  мкм),  $\eta_{cs}$  – эффективность светозерозия мишени,  $k_I$  – коэффициент импульса воздействия (схема «в»).

Спектрально-энергетические и динамические характеристики разработки параметрического ряда импульсных лазерных инжекторов (табл.) иллюстрируются рис. 4, где использованы следующие обозначения: для спектральных диапазонов

перестраиваемого излучения и когерентного излучения стандартных лазерных частот - □,  
 \* -  $\lambda \sim 241-316$  нм (УФ), □ -  $\lambda \sim 495-693$  нм (ВД),  $\Delta \sim \lambda - 1,06-10,6$  мкм (ИК), <1-2> ( $d_\phi \sim 5-20$  мкм, <3-4>  $d_\phi \sim 30-50$  мкм, <4-5>  $d_\phi \sim 50-100$  мкм.

Таблица

Параметр	Тип инжектора		
	ИЛФ	ИЛТ	ИЛД
Рабочее плазмообразующее вещество	Al, Cu, Bi, Ti, W, Mo, (CH <sub>2</sub> O) <sub>n</sub> , (C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>	N <sub>2</sub> , F <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , Ar, He, Ne, Xe	Al, Cu, W, (CH <sub>2</sub> O) <sub>n</sub> , (C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> ) <sub>n</sub> , SiO <sub>2</sub> , BNC, LiF, CaF <sub>2</sub> , MgF <sub>2</sub>
$T_e$ , [эВ]	0,8 ÷ 1,2	0,7 ÷ 3,8	1,4 ÷ 5,5
$v$ , [км/с]	0,3 ÷ 0,5	0,6 ÷ 0,9	9 ÷ 22
$\tau_{us}$ , [с]	$10^{-3} \div 10^{-4}$	$10^{-4} \div 10^{-5}$	$10^{-4} \div 10^{-9}$
$f$ , [Гц]	$10^{-1} \div 10^2$	$10^{-1} \div 10^2$	$10^{-1} \div 10^1$
$\eta_{э}$ , [%]	0,4	0,5	0,52
Диапазон спектра (стандартных частот)	ИК – УФ	ИК – УФ	ИК – УФ

Полученные результаты являются основой для генерации банка экспериментальных данных разрабатываемого класса лазерных микроинжекторов и спектрально-энергетического динамического скейлинга, необходимого для решения конкретных задач плазменной спектроскопии и анализа, которые обсуждаются.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Plasma Spectrochemistry, IX, ed. R.M.Barnes, Pergamon Press, N-Y, 1997.*
2. *Анисимов С.И. и др. Действие излучения большой мощности на металлы. М.: Наука, 1970.*
3. *P.S. Wei // J.Chem. Phys. 1973. v.59, p. 3692.*
4. *Протасов Ю.Ю. // Вестник МГТУ. 1997. № 4. С. 97.*