Оптические исследования сверхзвуковой плазменной струи импульсного капиллярного разряда

Ю.Н. Андриянова, А.В. Ефимов, А.С. Пащина, В.Ф. Чиннов

Объединенный институт высоких температур РАН, Ижорская 13/2, Москва, 125412

Импульсный разряд в капилляре является одним из методов получения высокоэнтальпийных плазменных потоков. Источником рабочего тела в таком разряде служит аблирующее вещество стенки капилляра, что позволяет получать плазменные струи с заданным химическим составом в широком диапазоне параметров плазмы [1, 2]. Характер течения плазменной струи – ламинарный или турбулентный – существенным образом зависит от параметров плазмы и ее компонентного состава. Особенностью ламинарного течения является большая длина начального участка (200 и более калибров), слабая расходимость плазменной струи, устойчивость в потоке газа [2], что представляет интерес для многих приложений (магнитоплазменная аэродинамика, плазменные технологии и др.). При этом существует пороговая мощность, превышение которой приводит к изменению картины течения вследствие ламинарно-турбулентного перехода струйного погранслоя.

Целью работы является исследование пространственно-временной динамики параметров плазмы эрозионного разряда в сверхзвуковом режиме течения в окрестности порогового значения мощности разрядного импульса. Для получения плазменной струи используется разряд в капилляре, выполненном из полимерилметакрилата (диаметр – 1 мм, глубина – 4 мм) [3]. Исследования проведены при следующих параметрах разрядного импульса: энергия Q ~ 80 Дж, амплитуда разрядного тока Iр ~ 600 А, длительность разрядного импульса tи ~ 1 мс, пиковая мощность P ~ 100 кВт.

Исследования проведены с использованием системы, включающую высокоскоростную регистрацию изображения струи, синхронизованную с пространственно-временной 2D спектроскопией высокого спектрального (0б2 нм), пространственного (20 мкм) и временного (50 мкс) разрешения. С использованием 2D-матричных спектров, содержащих линии Hα, Hβ, молекулярные полосы CN, Свана и линии Cu I, получены пространственно-временные распределения параметров плазмы (электронная концентрация и температура, колебательная и вращательная температуры) в капилляре и сверхзвуковой плазменной струе. Выявлены особенности пространственного распределения концентрации электронов и интенсивности спектральных компонент, обусловленные, достижением в горячей центральной зоне электронной температуры, превышающей значение нормальной температуры (для Hβ она составляет 16500 K) и существенной неизобаричностью начального участка сверхзвуковой струи. Измеренный коэффициент поглощения плазмы kν ≈ 5 – 10 см–1 (λ = 632 нм) свидетельствует о наработке наноразмерных кластеров, концентрация которых может достигать nD~ 1012 – 1014 см–3. Наличие кластерной компоненты оказывает существенное влияние как на спектральные параметры эрозионной плазмы (в частности, непрерывное излучение), так и характер течения плазменной струи.

Литература

1. Лукьянов Г.А. Сверхзвуковые струи плазмы. Ленинград: Машиностроение, 1985. с 264.
2. Пащина А.С., Климов А.И. Особенности Структуры Долгоживущих Энергоемких Плазменных Образований И Их Взаимодействие С Поперечным Потоком Газа // Химическая Физика. 2014. Т. 33, № 2. С. 78–86.
3. Пащина А.С., Ефимов А.В., Чиннов В.Ф. Оптические исследования многокомпонентной плазмы капиллярного разряда. I. Дозвуковой режим истечения // Направлено в журнал «Теплофизика высоких температур» 05.08.2014.