Особенности спектрального определения параметров плазмы импульсного капиллярного разряда

Пащина А.С., Ефимов А.В., Чиннов В.Ф.

Объединенный институт высоких температур (ОИВТ РАН), 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2

Работа посвящена анализу применимости и выбору методов спектральной диагностики сверхзвуковых струй плазмы, получаемых с помощью импульсного капиллярного разряда с аблирующей стенкой, выполненной из углеродсодержащего полимера (полиметилметакрилат), в интервале энергии импульса 80-160 Дж, тока 300-600 А и длительности разрядного импульса 1-2 мс. Плазма таких струй характеризуется сильной пространственной неоднородностью и нестационарностью, что приводит к необходимости тщательного анализа ее состояния и выбора подходящих методов спектральной диагностики. Эти методы, в частности, могут успешно применяться для определения концентрации и температуры электронов в приосевой зоне разряда [1], в которой условия ЛТР (ne~1017 см-3, Te~2 эВ) выполняются с большим запасом. Однако, несмотря на выполнение критерия ЛТР для всей группы возбуждённых состояний излучающих атомов H I, Cu I, C I и ионов C II и Cu II (для уровней с n≥3), существует ряд обстоятельств, препятствующих, в частности, надежному определению температуры электронов методом больцмановской экспоненты для ряда названных излучателей. Одним из таких обстоятельств является нарушение условия ΔEk,j≥Te, которое для атомов водорода едва выполняется. С ростом Te и ne дополнительно появляются два фактора, делающие метод БЭ ненадёжным: реабсорбция излучения линии Hα, приводящая к заниженным значениям (nk/gk)α, и эффект частичной нереализации слабосвязанных состояний атома (иона) с энергией ионизации меньшей Te вследствие разрушения возбужденных состояний атома в плазменных микрополях. Оба фактора оказываются существенными применительно к спектру возбуждения C I. От указанных факторов избавлен спектр излучения Cu I. Однако медь выступает в роли малой и легкоионизируемой (по сравнению с H I) примеси. В условиях Саха-больцмановского равновесия процесс ионизации примеси Cu$⇄$Cu++e с ростом Te замедляется, что необходимо учитывать при проведении оценок температуры.

Единственной группой частиц, свободной от осложняющих диагностику Te причин, является спектр излучения однократно ионизованного углерода C II, который насыщен сильными, с вероятностями переходов порядка 108 s-1, линиями с энергией возбуждения от 16 до 22.5 eV. При этом, наличие близко расположенных линий водорода Hα и ионов углерода C II 657.8 nm, 358.3 nm (16.33 эВ) и C II 678-682 nm (22.53 эВ), удачное сочетание свойств излучающих компонент (большая разность энергий между уровнями возбуждения линий ионов углерода и достижение максимума интенсивности излучения в приосевой зоне струи), обеспечивают возможность синхронной регистрации данных, необходимых для построения продольных профилей концентрации и температуры электронов пространственно-неоднородного начального участка сверхзвуковой плазменной струи [2].

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, грант № 19-08-00264.

Литература

1. Pashchina A. S., Efimov A. V. and Chinnov V. F. Optical Investigations of the Multicomponent Plasma of the Capillary Discharge: Subsonic Outflow Regime // High Temp. 2016. v. 54. p. 488–502.
2. А. В. Ефимов, А. С. Пащина, В. Ф. Чиннов, П. Н. Казанский. Особенности продольного распределения параметров плазмы начального участка сверхзвуковой струи из импульсного капиллярного разряда // Прикладная физика. 2018. № 1. с.24-29.