

УДК 533.9.03

DOI: 10.17223/00213411/63/3/145

С.А. ПОПОВ, Е.Л. ДУБРОВСКАЯ, А.В. БАТРАКОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЗАРЯДОВОЙ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ РАЗЛЕТА СГУСТКА ПЛАЗМЫ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ *

Методом спектрально-селектированной фоторегистрации с наносекундным временным разрешением исследовано распределение нейтральных атомов, одно- и двухзарядных ионов галлия в плазменном факеле при лазерной абляции галлий-индиевой мишени и динамика расширения этих компонент и факела в целом. Установлена скорость разлета нейтральной атомной компоненты факела. Скорость расширения границы свечения оказалась близка к $8.5 \cdot 10^3$ м/с, скорость смещения максимума интенсивности свечения – к $6 \cdot 10^3$ м/с. Диапазон кинетической энергии, соответствующий данным скоростям для атомов галлия (13–26 эВ), хорошо согласуется с измеренным ранее положением локального максимума на энергетическом распределении однозарядных ионов галлия.

Ключевые слова: плазма лазерной абляции, лазерно-плазменный двигатель, расширение плотной плазмы.

Введение

Генерирование плазмы в результате воздействия на мишень мощного импульса лазерного излучения вызывает устойчивый интерес как с практической, так и с научной точки зрения. Малая доля капельной фракции в эрозии мишени, возможность управлять степенью ионизации и скоростью разлета плазмы путем изменения плотности мощности/энергии лазерного излучения, в том числе возможность получения многозарядных ионов и высоких скоростей разлета, обуславливают использование лазерной абляции во многих специфических областях [1].

С развитием миниатюрных наносекундных лазеров с достаточно высокими показателями удельной мощности приобретают актуальность также идеи создания так называемых лазерно-плазменных микродвигателей (ЛПД), в которых реактивный импульс разлетающейся плазмы лазерной абляции напрямую используется для создания прецизионных малых и сверхмалых импульсов тяги [1], а также электроразрядных импульсных плазменных микродвигателей (ИПД), в которых лазерная плазма используется для инициирования сильноточного электрического разряда, генерирующего ускоренный поток плазмы [2]. Нами предложена идея гибридного двухрежимного микродвигателя, совмещающего ЛПД и ИПД с лазерным поджигом [3]. Все подобные микродвигатели особенно актуальны в условиях миниатюризации космических аппаратов, в том числе для аппаратов класса CubeSat массой в несколько килограммов [4].

Важнейшими характеристиками лазерной плазмы в утилитарном и научном аспектах являются ее зарядовый состав и скорость разлета, что в значительной степени определяет широкое использование времяпролетных, масс-спектроскопических и масс-энергоаналитических методик, направленных на исследование ионной компоненты плазмы [5–8]. Так, особенности распределения ионов различной зарядности по скорости/энергии дают основания полагать наличие двух основных механизмов ускорения ионов – адиабатического термодинамического расширения плазмы (разлет плотного газового шара в пустоту [9, 10]) и полевого механизма ускорения ионов на границе плазменного сгустка, реализующегося вследствие поляризации плазмы, как полагают авторы [8].

Очевидно, полевые процессы не участвуют в ускорении нейтральных атомов, и разлет последних напрямую связан исключительно с механизмом адиабатического расширения. Поэтому знание скорости разлета нейтральных атомов представляет прямую возможность оценить температуру тяжелых частиц в плазме. С практической точки зрения, нейтральная компонента характеризуется минимальной скоростью разлета, что в различных практических приложениях может быть как позитивным (например, с точки зрения минимизации энергетических затрат на абляцию), так и негативным фактором. Так, в ЛПД наличие медленной компоненты означает уменьшение удельного импульса, т.е. ухудшение характеристик ЛПД с точки зрения коэффициента использования рабочего тела.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-19-00270).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>