

УДК 533.9.01

Стенд для физического моделирования процессов зарядки и переноса пылевых частиц вблизи освещенной поверхности Луны

Е.А. Лисин^{1,2}, К.Б. Стаценко^{1,2}, И.А. Кузнецов^{1,3}, А.А. Игнатъев², Г.Г. Дольников³, В.В. Афонин³, А.Н. Ляш³, О.Ф. Петров^{1,2}

¹ Объединенный Институт Высоких Температур РАН

² Московский физико-технический институт (государственный университет)

³ Институт космических исследований РАН

Для задачи физического моделирования фотоиндуцированной пылевой плазмы произведена сборка и отладка экспериментального стенда и средств диагностики (Рис.1). Стенд состоит из вакуумной камеры с установленной внутри нее на диэлектрических опорах алюминиевой подложкой, покрытой тонким слоем пыли (толщиной 1–2 мм), системы высоковакуумной откачки, обеспечивающей в рабочем объеме давление до 10^{-4} Па. С целью создания плазмы и зарядки пылевых частиц стенд включает в свой состав электронно-лучевую автоматизированную систему с компьютерным управлением, являющуюся источником неиспользуемого рентгеновского излучения, а также источник вакуумного ультрафиолета (ВУФ). Пучок электронов генерируется при помощи электронной пушки с плазменным катодом. Электронная пушка работает при давлении 10^{-4} – 10^{-3} Па. При этом обеспечивается энергия электронного пучка до 10 КэВ. Независимым от электронного пучка источником ВУФ излучения является блок эксимерных ксеноновых ламп с торцевым выходом из монокристалла MgF_2 , прозрачного для излучения от 113 нм. Лампа излучает на длине волны 172 нм (7,2 эВ) с полушириной спектральной линии 15 нм. Пылевая компонента может изначально находиться на подложке в виде равномерно слоя, толщиной 1–2 мм. В этом случае в качестве пылевой компоненты было предложено использовать пудру ПАП-1 – чешуйчатый материал, который состоит из отдельных пластинок алюминия с характерным размером 0.5×30 мкм², покрытых тонким слоем оксида Al_2O_3 . Пылевые частицы также могут инжектироваться в объем сверху как отдельно, так и дозированными порциями. При этом могут применяться калиброванные монодисперсные частицы, а наполняемый ими пылевой диспенсер устанавливается в специальной шахте, которая позволяет увеличить высоту свободного падения пылевых частиц до 65 см. В зависимости от параметров нарабатываемой плазмы пылевые частицы могут приобретать заряд от 10^1 до 10^5 электронов на микрон размера. Основная рабочая вакуумная камера стенда имеет размеры $50 \times 50 \times 50$ см³. Стенд имеет дополнительную камеру, позволяющую вынести за пределы основной рабочей камеры (с электронным пучком) датчики, наиболее чувствительные к электромагнитным помехам.

Стенд имеет возможность одновременного проведения измерений параметров электронной и ионной компонент плазмы с помощью зонда Ленгмюра и зарядов и импульсов пылевых частиц с помощью ударного датчика. В настоящий момент в рамках модернизации стенда планируется замена эксимерных ламп на импульсный лазерный источник. Преимущества модернизированного стенда по сравнению с известными аналогами [1] следующие: направленный поток УФ излучения; меньшая стоимость; переменный угол освещения для моделирования условий вблизи терминатора; отсутствие необходимости в сложной многоступенчатой системе удаления "паразитных" фотоэлектронов, эмитируемых стенками камеры.

На подготовленном стенде была отработана методика тестирования выносных датчиков: пьезокерамического ударного сенсора (Рис.2а) и электростатического зонда (Рис.2б), разрабатываемых в ИКИ РАН для посадочных модулей космических аппаратов (КА) «Луна-25» и «Луна-27» с целью измерения характеристик приповерхностной плазменно-пылевой экзосферы Луны [2]. Первые тестовые испытания технологического экземпляра электростатического зонда в вакуумной камере с электронным пучком подтвердили его работоспособность – возможность регистрации ВАХ в условиях малых концентраций плазмы приповерхностного слоя Луны. Получены вольтамперные характеристики зонда для различных параметров плазмы, генерируемой электронным пучком. Проверена работоспособность методики совместной регистрации заряженных микрочастиц зарядочувствительной решеткой и пьезокерамической пластиной, являющихся частью ударного сенсора, в условиях лабораторной плазмы при наличии рентгеновского излучения и сильных электромагнитных помех. Проведены калибровочные измерения пьезокерамической пластины. Апробирована методика одновременного проведения измерений параметров электронной и ионной компонент плазмы с помощью зонда Ленгмюра и зарядов и импульсов пылевых частиц с помощью пьезокерамического ударного сенсора.

Данная работа частично поддержана Министерством образования и науки (грант Президента № МК-7932.2015.8) и Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 15-32-21159).

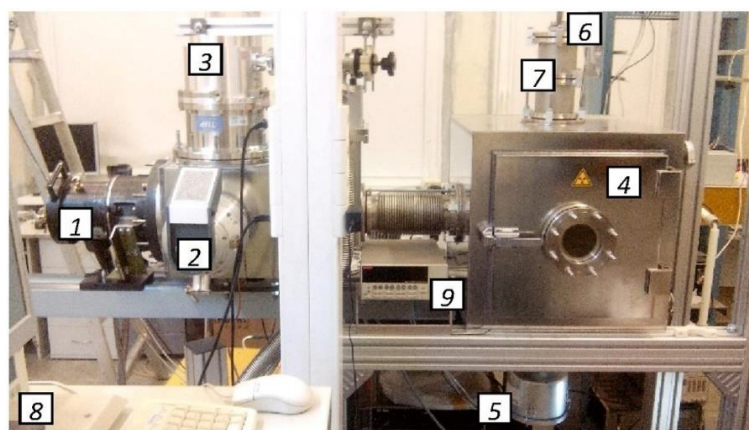


Рис. 1. Схема установки: (1) – электронная пушка с плазменным катодом; (2) – вспомогательный турбомолекулярный насос (10^{-3} Па); (3) – основной турбомолекулярный насос (10^{-4} Па); (4) – основная вакуумная камера; (5) – дополнительная вакуумная камера; (6) – пылевой диспенсер; (7) – шахта; (8) – компьютерная система управления; (9) – электрометр

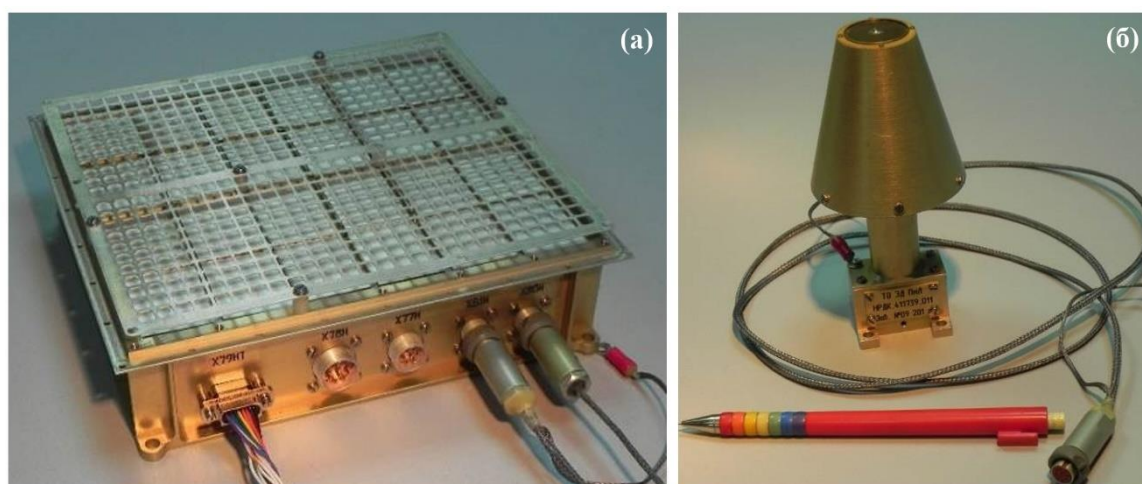


Рис. 2. Выносные датчики для посадочного модуля КА «Луна-25»: (а) – пьезокерамический ударный сенсор с зарядочувствительной сеткой, (б) – электростатический зонд

Литература

1. Dove A., Horanyi M., Wang X., Piquette M., Poppe A. R., and Robertson S. // *Physics of Plasmas*, –2012, –Т.19, – С.043502
2. Попель С.И., Голубь А.П., Извекова Ю.Н., Афонин В.В., Дольников Г.Г., Захаров А.В., Зеленый Л.М., Лусин Е.А., Петров О.Ф. // *Письма в ЖЭТФ*, – 2014, –Т.99, – С.131