

Синтез и рост пылевых частиц в гибридной плазме

И.А. Рябов^{1,2}, С.А. Гуртовой^{1,2}, К.Б. Стаценко², М.М. Васильев²

¹Московский физико-технический институт (государственный институт)

²Объединенный институт высоких температур РАН

Пылевая плазма (или же плазма с конденсированной дисперсной фазой) - ионизированный газ, содержащий заряженные частицы конденсированного вещества. Пыль и пылевая плазма широко распространены в космосе. Они присутствуют в планетарных кольцах, хвостах комет, в межпланетных и межзвездных облаках. Пылевая плазма обнаружена вблизи искусственных спутников Земли и космических аппаратов, в термоядерных установках с магнитным удержанием. Наконец, очень активно исследуется пылевая плазма в лабораторных условиях. Пылевые частицы могут не только преднамеренно вводиться в плазму, но и образовываться самопроизвольно в результате различных процессов. Широкая распространенность плазменно-пылевых систем, а также целый ряд уникальных (простота получения, наблюдения и управления параметрами, возможность измерений на кинетическом уровне) и необычных свойств (открытость системы, непостоянство заряда частиц, высокая диссипативность, способность к самоорганизации и образованию упорядоченных структур) делают пылевую плазму чрезвычайно привлекательным и интересным объектом исследования [1]. Интерес к изучению плазмы с КДФ вызван также тем, что она является удобным реальным физическим объектом для исследования процессов самоорганизации, представляющих фундаментальный интерес. Такая среда позволяет проводить эти исследования на удобных временных и пространственных масштабах практически невооруженным глазом.

Экспериментальная установка представлена на рис.1 Она состоит из нескольких частей. Это экспериментальная камера (1), камера электронного пучка (6) и сама электронная пушка (7). Данная система подсоединена к форвакуумной магистрали (8). Для того, чтобы отделять объем экспериментальной камеры и камеры пучка, был установлен шибер (5). Рабочее давление в камере (1) порядка 10^{-2} мбар, в то время как в камере электронной пушки рабочее давление составляет порядка 10^{-5} мбар. Для создания такой разницы давлений было введено в экспериментальную камеру газодинамическое окно (4), которое позволяет поддерживать разницу давлений в экспериментальной камере и камере пучка на 3 порядка.

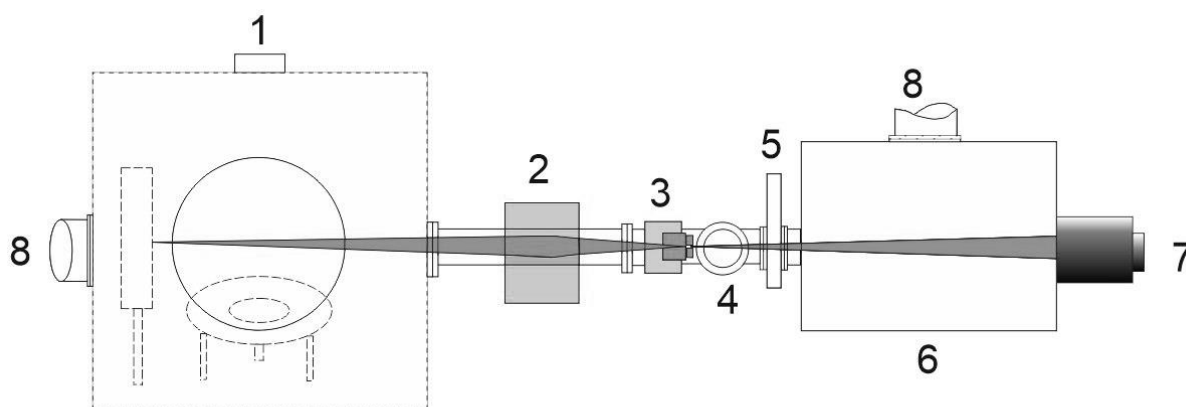


Рис.1 Схема экспериментальной установки. 1) экспериментальная камера 2) фокусирующая система 3) охлаждающая система газодинамического окна 4) газодинамическое окно 5) шибер 6) камера электронного пучка 7) электронная пушка 8) выход в форвакуумную магистраль

При взаимодействии электронного пучка с газодинамическим окном во избежание испарения мембран, использовалось специально разработанная система охлаждения (3) для этого газодинамического окна. Также поставлена система фокусировки позиционирования электронного пучка на мишень, специально введенную в камеру. В установке содержится две системы фокусировки. Первая система находится в камере электронной пушки (6). Данная система фокусирует пучок на отверстие мембраны газодинамического окна (4). Вторая система (2) позволяет управлять пучком и фокусировать его на мишень.

Проведены две серии экспериментов с двумя разными мишенями. В первом случае в качестве мишени выступал брусок из нержавеющей стали, во втором из меди. Эксперименты проводились с ограничивающим кольцом, диаметр которого 44 мм, и энергией пучка 35кЭв. На рис.2 представлены фотографии структур после первого эксперимента, где в качестве мишени выступала нержавеющая сталь. Каждая частица имеет размеры в несколько десятков нанометров. На фотографии они формируют некоторую нитевидную структуру, слипшись друг с другом, однако в эксперименте они левитируют обособленно. Слипание происходит благодаря электростатическим силам, так как заряд скапливается на острие образовавшейся частицы. Подобного эффекта можно избежать создав оксидную пленку на поверхности. Для этого достаточно лишь пустить в камеру кислород, постаравшись при этом не нарушить газовый состав так сильно, что это повлияет на высокочастотный разряд.

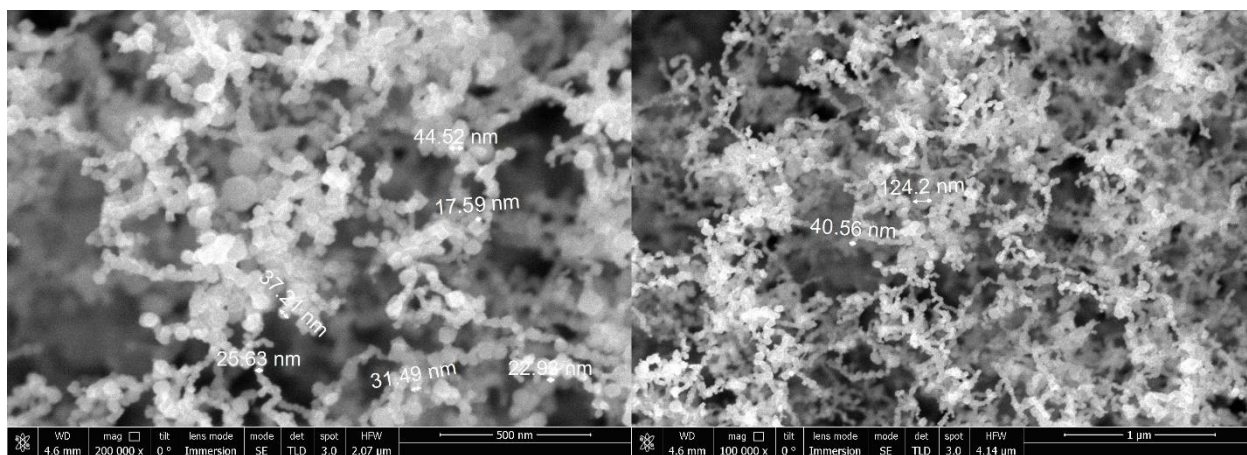


Рис.2 Фотографии структур, образовавшихся при конденсации нержавеющей стали

На рис.3 представлен спектральный состав образований, полученных в эксперименте по конденсации нержавеющей стали. По оси ординат отложено количество обнаруженных атомов в зависимости от энергии регистрируемого излучения. Каждое значение энергии, соответствующее наблюдаемым пикам, характерно для определенного металла. Таким образом получаем состав образца, представленный в правом верхнем углу. Из полученного спектра необходимо откинуть углерод и кислород, так как они входят в состав сверхпроводящей подложки, а не в состав испаряемой мишени. Как и ожидалось, при откидывании этих компонент получаем спектр состава нержавеющей стали марки AISI 304, которая и использовалась в эксперименте. Анализ был проведен с помощью электронного микроскопа с энергией сканирующего пучка в 15кЭв.

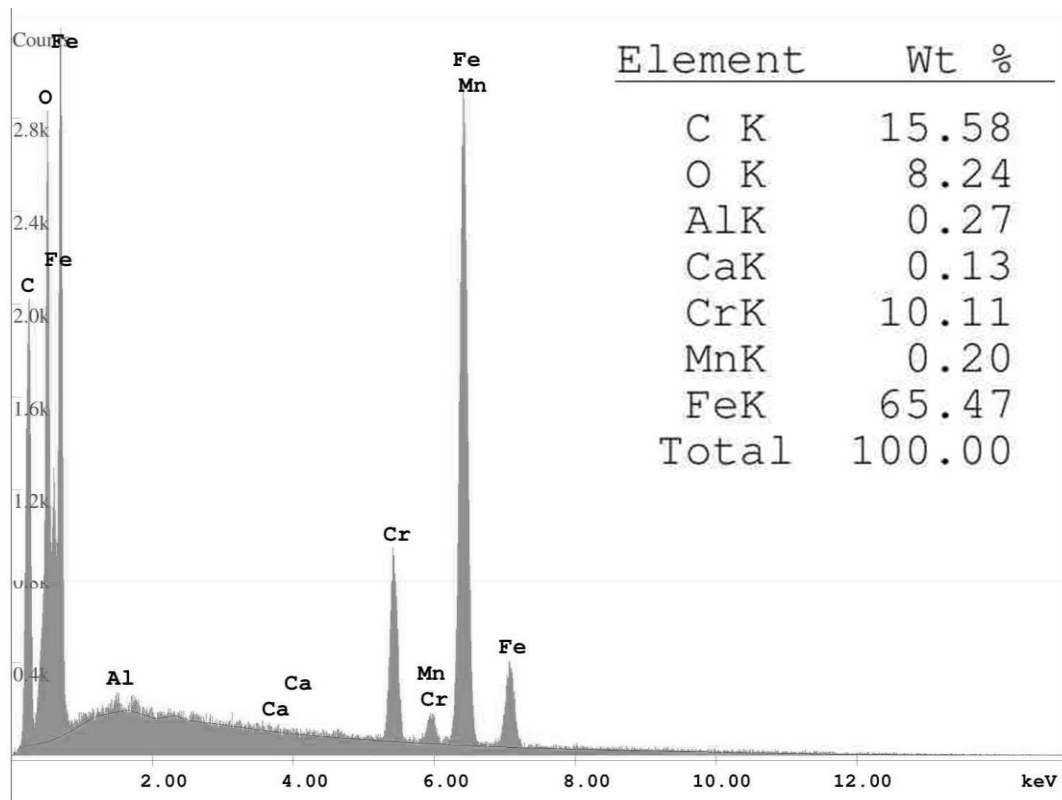


Рис.3 Спектральный состав образований в эксперименте с нержавеющейкой

Во втором эксперименте в качестве мишени использовались медные пластинки. При распылении меди не наблюдалось конденсата подобного тому, который виден при проведении эксперимента со стальной мишенью. При рассмотрении под электронным микроскопом осадка рис.4 выяснилось, что частицы меди слишком большие чтобы образовать конденсат. Также видно, что размеры получившихся медных и стальных частиц отличаются на три порядка.

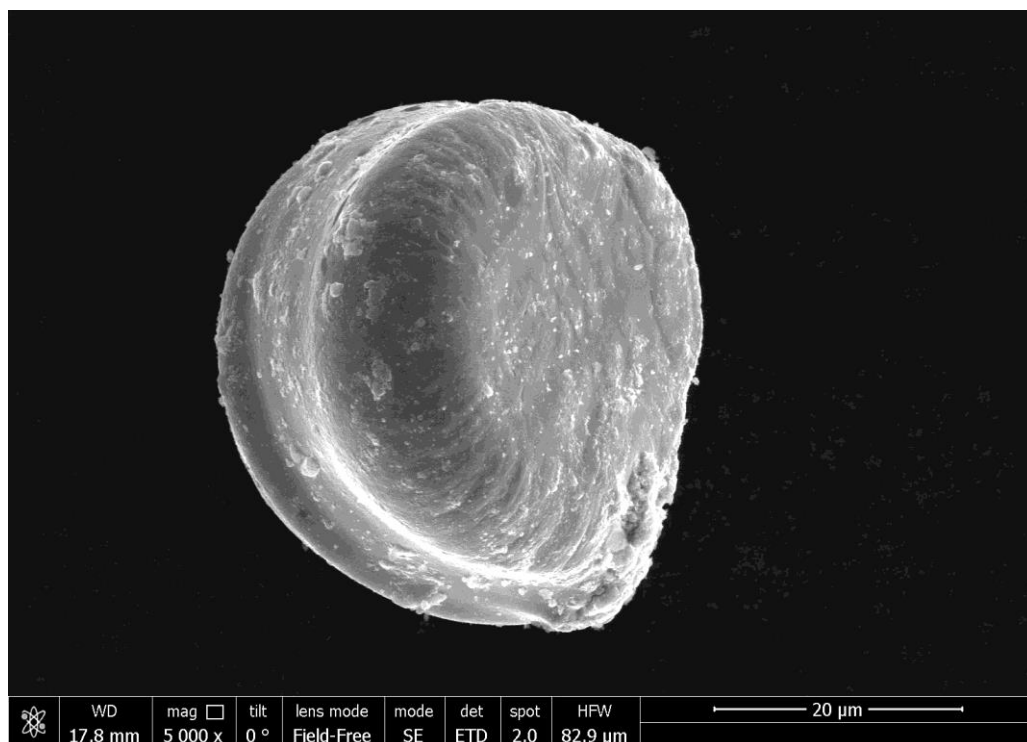


Рис.4 Фотография капли меди под электронным микроскопом

Литература

1. О.С. Ваулина, О.Ф. Петров, В.Е. Фортов, А.Г. Храпак, С.А. Храпак Пылевая плазма. Эксперимент и теория, Москва: Издательство физико математической литературы, 2009, 316 с