

## УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ УПОРЯДОЧЕННЫХ ПЛАЗМЕННО-ПЫЛЕВЫХ СТРУКТУР

А. А. Пискунов, А. Д. Хахаев

*В результате последних проведенных исследований были выяснены ключевые факторы для формирования упорядоченных плазменно-пылевых структур (УППС), с помощью которых можно управлять их свойствами. В результате проведенной исследовательской работы было, в частности, установлено, что в качестве управляющих факторов, которые определяют характерные свойства конкретного типа УППС, могут выступать род и давление плазмообразующего газа, плотность разрядного тока, а также плотность и физико-химический состав макрочастиц. Были установлены количественные зависимости характеристик УППС от указанных величин.*

**Ключевые слова:** плазменно-пылевая структура, макрочастица, кинетика, комплексная плазма, тлеющий разряд.

В результате последних проведенных исследований были выяснены ключевые факторы для формирования УППС, с помощью которых можно управлять свойствами упорядоченных плазменно-пылевых структур (УППС). Сегодня это является актуальной проблемой и имеет широкий спектр применения, особенно для получения новых материалов и веществ, для генерации и аккумуляции энергии.

УППС формируются в комплексной плазме при определенных условиях. Характерным является наличие макрочастиц (частиц конденсированной дисперсной фазы), размер которых может варьироваться от десятков нанометров до сотен микрон. Макрочастицы могут возникать в плазме самостоятельно или инжектироваться специально.

Благодаря тому, что каждая макрочастица приобретает в плазме большой электрический заряд, потенциальная энергия взаимодействия макрочастиц в плазме превышает

---

ГОУ ВПО "Петрозаводский государственный университет", НОЦ "Плазма", 185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33; e-mail: piskunov@plasma.karelia.ru

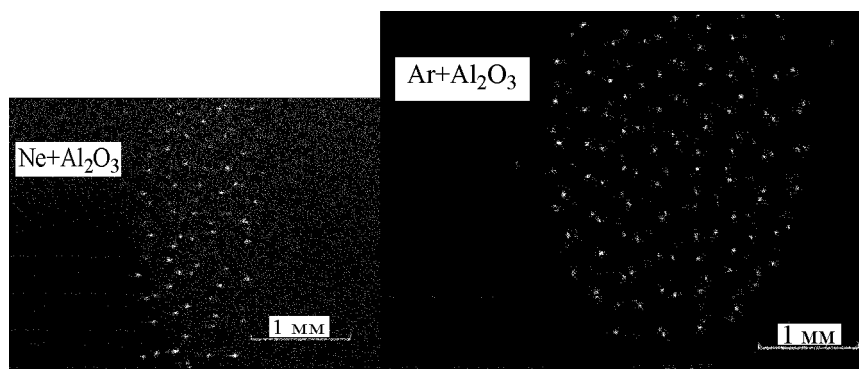


Рис. 1: Структуры получены при одинаковом количестве инъекций (давление 40 Па и ток 0.6 мА, радиус трубки  $15 \pm 0.1$  мм).

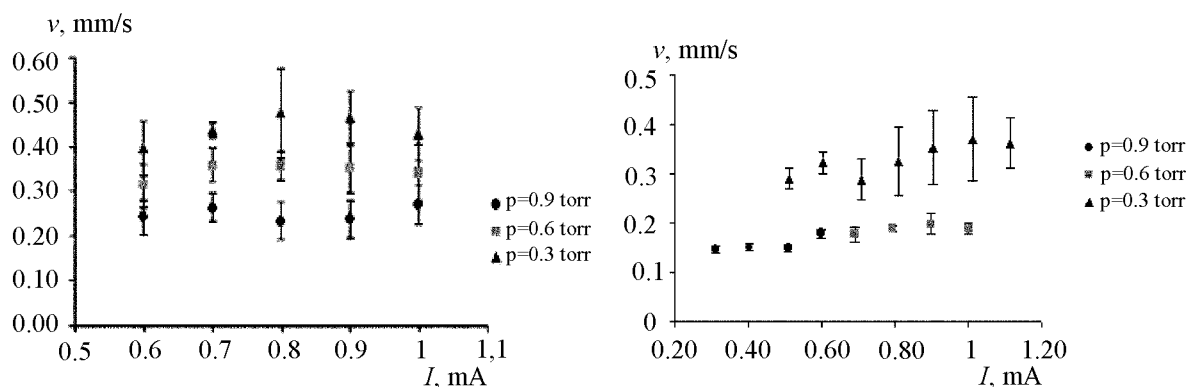


Рис. 2: Зависимость средней скорости движения макрочастиц от тока разряда в Ne (слева) и Ar (справа).

кинетическую энергию их движения, что приводит к их коллективизации и упорядочиванию [1].

Зачастую очень важно иметь стабильные структуры, которые можно получать, например, в стратах тлеющего разряда постоянного тока (рис. 1). Страта представляет собой электростатическую ловушку для захвата макрочастиц, которые способны удерживаться в ней достаточно длительное время (пока существует разряд), чтобы провести все необходимые исследовательские операции.

Варьируя плотность и физико-химические свойства материала макрочастиц, а также частиц газового наполнения, можно управлять плотностью (рис. 1) и размером структуры [2]. Уменьшая кинетическую энергию движения макрочастиц (рис. 2), мож-

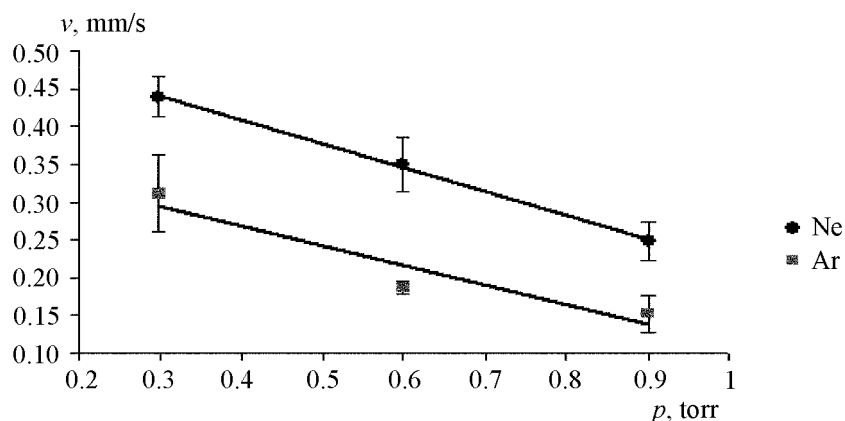


Рис. 3: Зависимость средней скорости движения частиц от давления.

но стабилизировать и изменять размеры области локализации движения отдельных макрочастиц. Область существования устойчивых структур ограничена значениями величины разрядного тока и давления плазмообразующего газа (т.е. соотношением между концентрацией электронов и макрочастиц). Это было установлено и подтверждено экспериментально.

Мониторинг строения и размеров структуры проводится с помощью системы машинного зрения (СМЗ), построенной на основе технологии IMAQ Vision [3]. Функция СМЗ заключается в том, чтобы фиксировать видеоизображение и определять положение отдельных макрочастиц, а также следить за изменением формы и объема УППС. Для определения условий в плазменно-пылевой среде используются методы волновой диагностики.

В результате проведённой работы было, в частности, установлено, что в качестве управляющих факторов, которые определяют характерные свойства конкретного типа УППС, могут выступать род и давление плазмообразующего газа, плотность разрядного тока, а также плотность и физико-химический состав макрочастиц [3, 4]. Были получены новые количественные зависимости характеристик УППС от указанных величин. При инъекции макрочастиц полидисперсного  $Al_2O_3$  ( $\langle r \rangle = 23$  мкм) было установлено, что скорость движения макрочастиц в структуре тем больше, чем больше атомная масса плазмообразующего газа. При увеличении давления газа скорость движения макрочастиц уменьшается, что, вероятно, вызвано диссипацией энергии в результате столкновений макрочастиц с нейтралами газа.

Существенной зависимости скорости от значения величины разрядного тока в данном диапазоне обнаружено не было.

Выражаем благодарность коллективу лаборатории комплексной плазмы ФТФ ПетрГУ. Персональная благодарность к.ф.-м.н. Луизовой Лидии Андреевне и к.ф.-м.н. Подрядчикову Сергею Федоровичу за консультации и обсуждение работы, а также ведущему инженеру кафедры Щербине Александру Ивановичу за помощь в подготовке экспериментальной установки. Работа была выполнена при поддержке АФГИР ГР. N RUX0-000013-PZ-06/B2M413; Министерством образования и науки РФ, правительством республики Карелия.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] О. С. Ваулина, О. Ф. Петров, В. Е. Фортов и др., *Пылевая плазма: эксперимент и теория* (М., Физматлит, 2009), 316 с.
- [2] A. D. Khakhaev et al., in: *Proc. of 5th International Conference on Physics of Dusty Plasma, Ponta Delgada (Azores), Portugal, 2008*. AIP Conf. Proc. **1041**, 309 (2008).
- [3] A. D. Khakhaev, L. A. Luizova, A. A. Piskunov, et al., in: *Proc. of XVI International Conference on Gas Discharges and their Applications*. Xi'an, China, 2006 (Local Organizing Committee for GD2006, Xi'an, China, 2006), Vol. 1, p. 341.
- [4] A. V. Bulba et al., in: *Proc. of 4th International Conference on Physics of Dusty Plasma, Orleans, France, 2005*. AIP Conf. Proc. **799**, 359 (2005).

По материалам 3 Всероссийской молодежной школы-семинара "Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики", Москва, ФИАН, октябрь 2009 г.

Поступила в редакцию 19 ноября 2009 г.