

На лабораторной установке «Экоплазма» были проведены экспериментальные исследования по определению влияния режимов работы сегментированного ВЧ разряда на распределение пылевых частиц, левитирующих в приэлектродной области. Основой лабораторной установки «Экоплазма» является плазменная камера «Zyflex» [С.А. Кнапек, et al., In AIP Conference Proceedings 1925, 020004 (2018)]. Эта большая цилиндрическая плазменная камера (Рисунок 1), в которой реализуется емкостной ВЧ разряд на частоте 13,56 МГц [С.А. Кнапек, et al., Rev. Sci. Instrum. 92, 103505 (2021)]. Типичная величина ВЧ напряжения, подаваемого на электроды U_{pp} составляет 20–200 В. Давление рабочего газа может варьироваться в пределах от 0,1 Па до сотен Па. Низкие давления позволяют получить систему, в которой можно реализовать ряд экспериментов, ранее невозможных из-за высокой диссипации энергии микрочастиц в результате трения о плазмообразующий газ (например, по определению сдвиговой вязкости, незадемпфированным волновым явлениям и т.д.). Электроды камеры имеют сегментированную конструкцию: внутренний электрод в форме диска окружен кольцом с внешним диаметром 114 мм; зазор между электродами составляет 2 мм. ВЧ напряжение подается на сегменты независимо. В плазменную камеру инжестировались микрочастицы меламинформальдегида диаметром 7,01 мкм, количество которых составляло несколько тысяч. Микрочастицы формировали двумерную структуру, расположенную в центре электрода и по форме близкую к диску (Рисунок 2). В ходе эксперимента проводилась видеосъемка частиц, подсвеченных лазером, развернутым в плоский луч. Для обеспечения видеодиагностики верхний ВЧ электрод был демонтирован, а верхняя металлическая фланцевая заглушка была заменена на стеклянную, что предусмотрено конструкцией камеры «Zyflex».

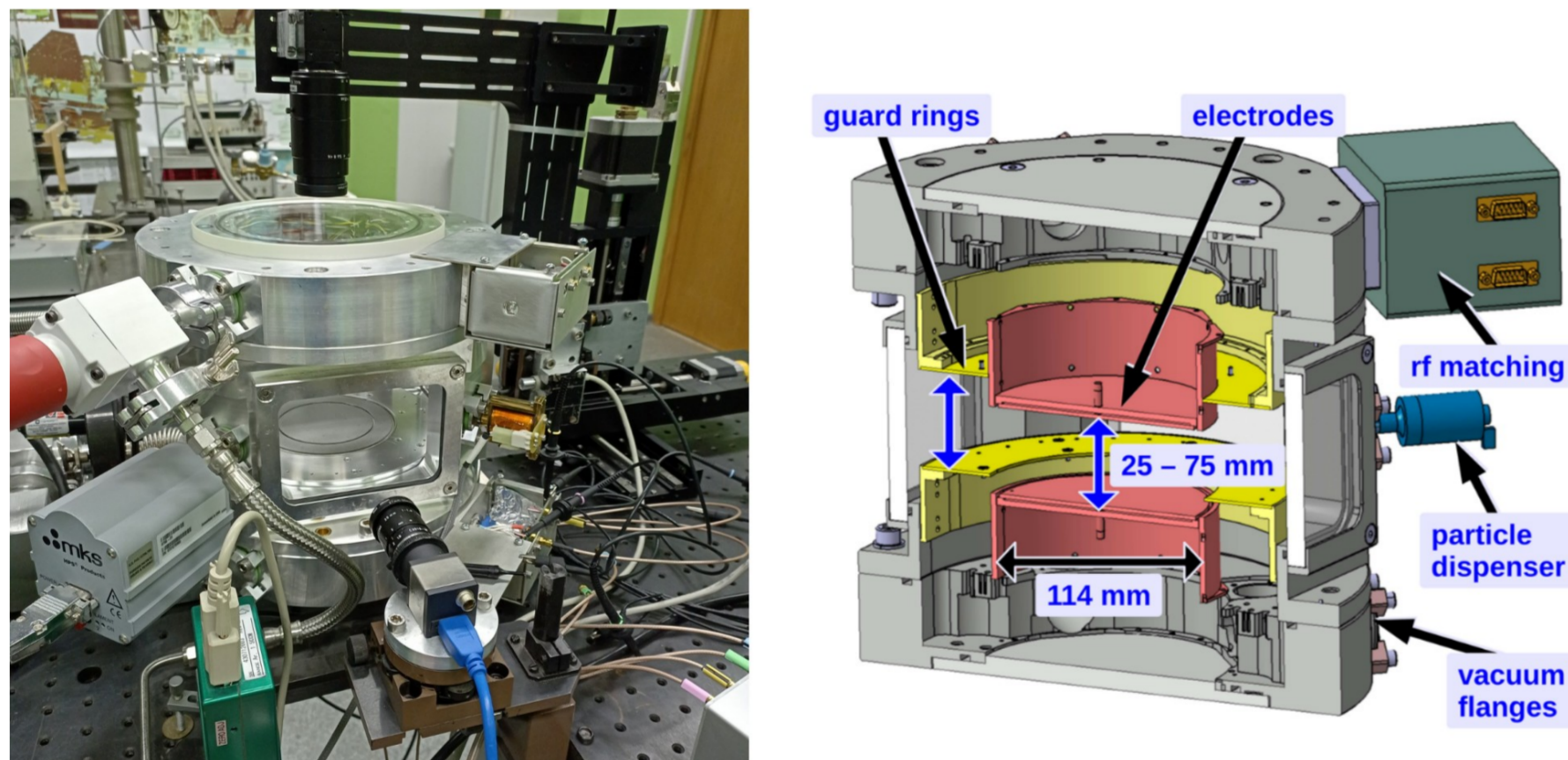


Рисунок 1. Фотография и схема плазменной камеры «Zyflex». Красным цветом обозначены электроды, желтым — заземленные охранные кольца. Как электроды, так и охранные кольца могут перемещаться независимо в вертикальном направлении.

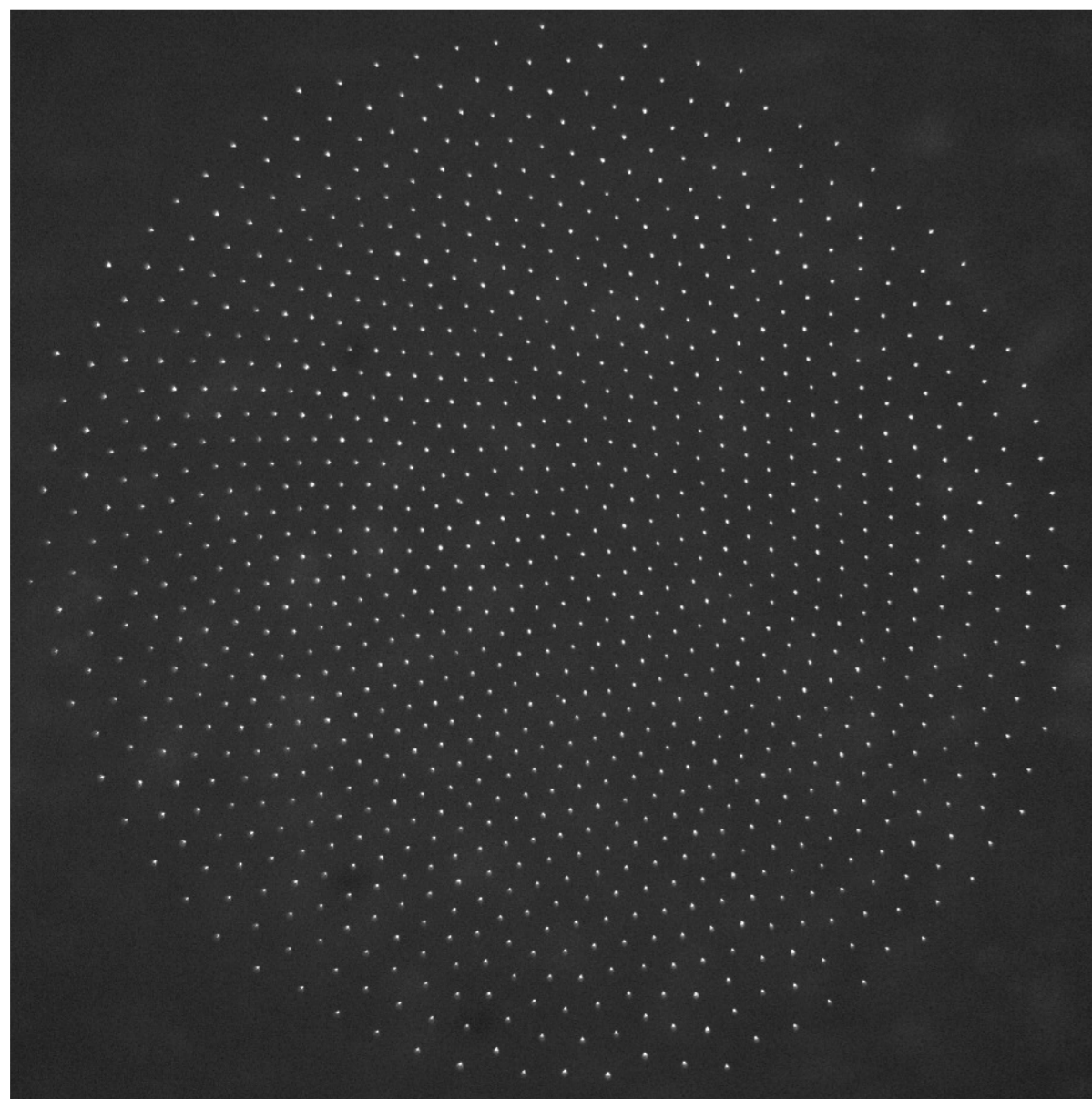


Рисунок 2. Фотография двумерной пылевой структуры в плазменной камере «Zyflex» при давлении 5 Па.

При инъекции микрочастиц в плазменную камеру размах ВЧ напряжения, подаваемого на внутренний электрод U_{int} составляла 100 В, в то время, как для внешнего электрода $U_{ext} = 20$ В. Затем амплитуда напряжения на внешнем электроде постепенно увеличивалась до 120 В. При 120 В на внешнем электроде происходил разлет пылевой структуры из центральной области к краям электрода. На Рисунке 3 представлены зависимости счетной плотности пылевой структуры от расстояния до центра диска для различных U_{ext} при давлениях 5 и 7 Па. Плотность вычислялась как отношение количества микрочастиц, попадающих в кольцевой слой, находящийся на некотором расстоянии от центра диска, к сумме площадей ячеек Вигнера-Зейтца, ассоциированных с этими частицами. Полученные данные указывают на то, что при увеличении U_{ext} максимальная плотность в центральной области уменьшается, а уменьшение плотности при приближении к периферии происходит медленнее. При некоторых режимах наблюдается немонотонность в поведении зависимости плотности ($P = 7$ Па, $U_{ext} = 20, 55$ В). В этом случае максимум смещен от центра структуры на расстояние около 2 мм. При давлении 7 Па перепад между максимальным и минимальным значением плотности несколько меньше для всех режимов.

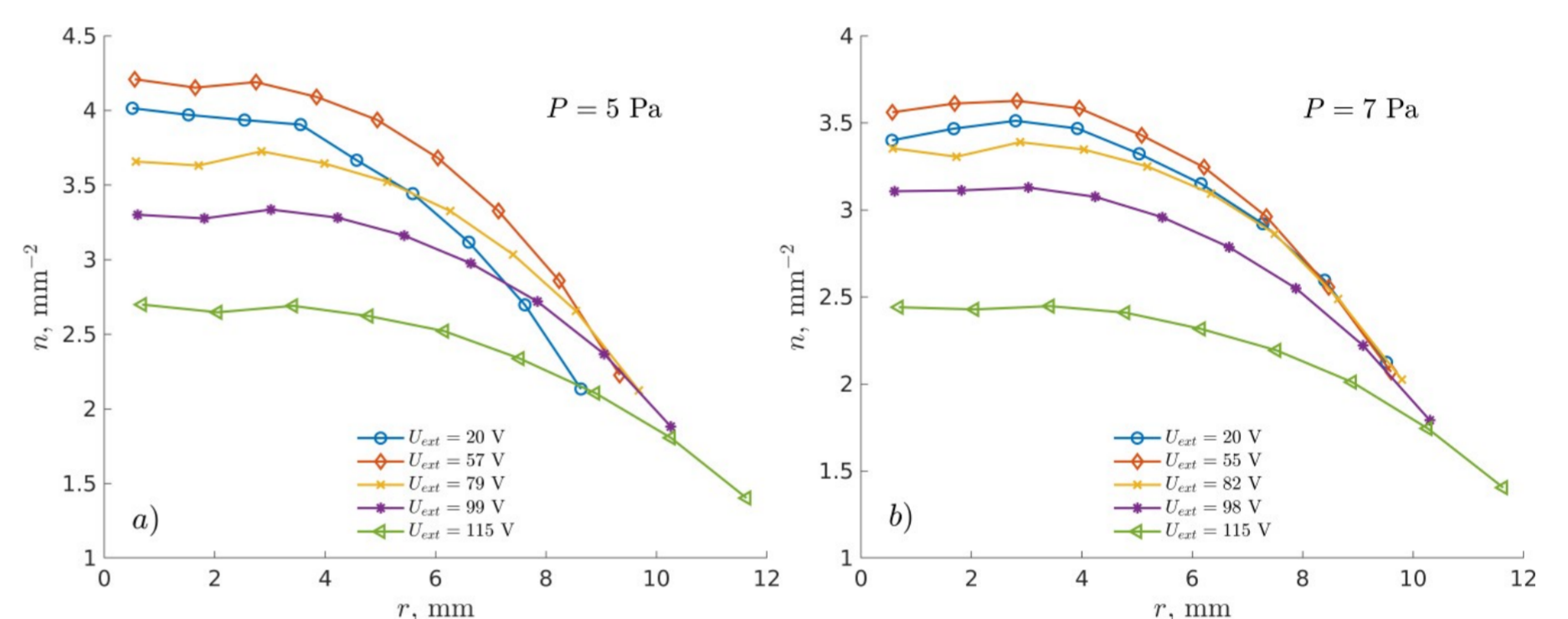


Рисунок 3. Зависимости счетной плотности пылевой структуры от расстояния от центра для $P = 5$ Па (а) и $P = 7$ Па (б). ВЧ напряжение на внутреннем электроде во всех случаях равно 100 В.

На Рисунке 4 представлена доля пылевых частиц p , число ближайших соседей которых отлична от шести (доля дефектов.) Для обоих значений давления доля дефектов уменьшается с увеличением U_{ext} и достигает минимума около 5,5 %. С точки зрения увеличения однородности распределения пылевых частиц и уменьшения количества дефектов целесообразно выбирать режимы с большей величиной ВЧ напряжения на внешнем электроде.

Определены режимы при которых область плазменно-пылевой структуры в которой плотность микрочастиц однородна достигает максимального размера. Показано, что эти же режимы соответствуют минимальному числу дефектов кристаллической решетки.

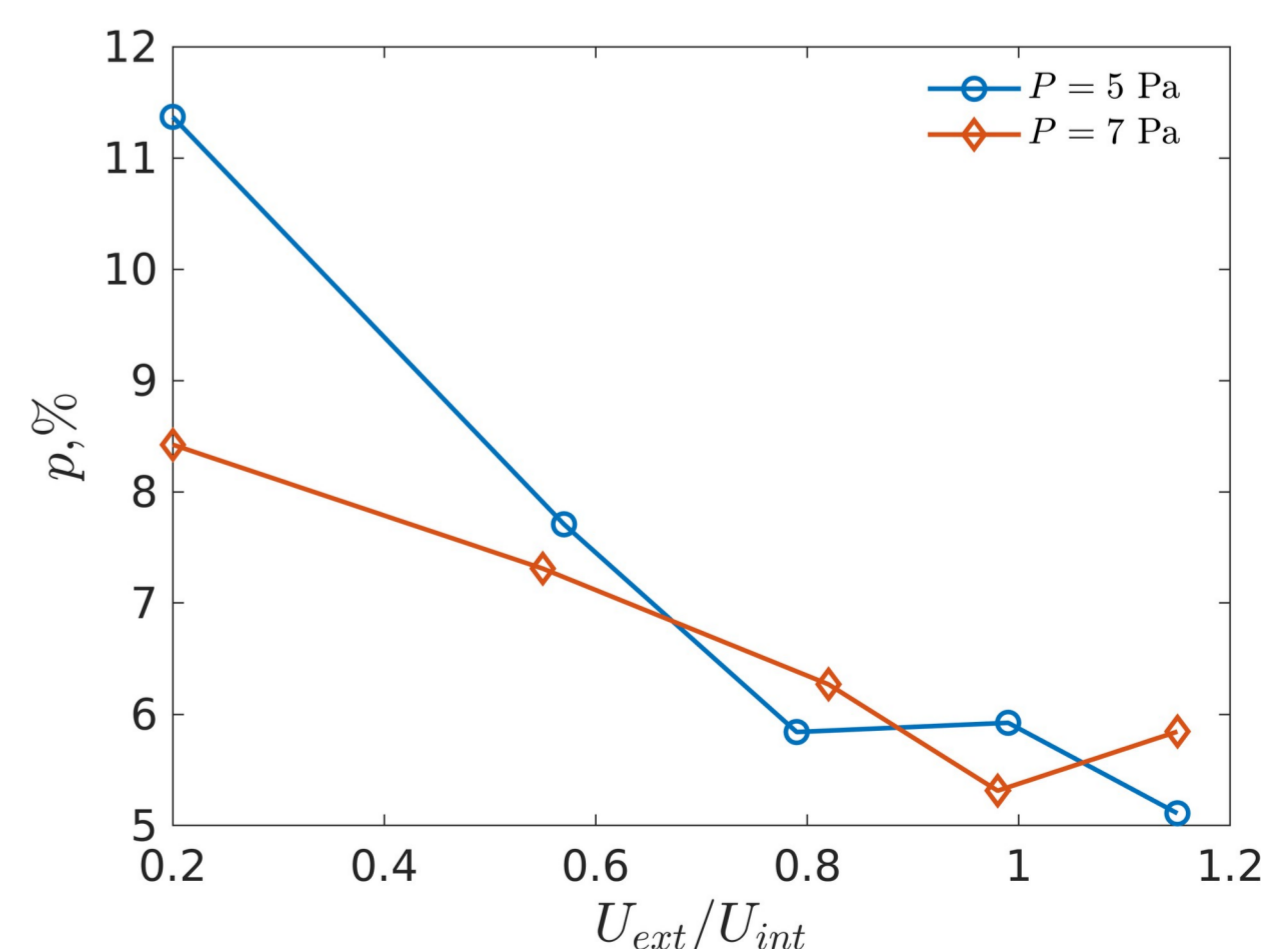


Рисунок 4. Зависимость доли дефектов кристаллической решетки от отношения величины ВЧ напряжения на внешнем и внутреннем электродах.