



УДК 537.525.1

М.М. Макар, Н.С. Афанасьева, Е.С. Дзлиева., В.Ю. Карасёв, С.И. Павлов.

Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия, plasmadust@yandex.ru

ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ В СТРАТИФИЦИРОВАННОМ РАЗРЯДЕ С ПОМОЩЬЮ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ

Исследовалась стратифицированная область тлеющего разряда в неоне в диапазоне давления $0,3 \div 0,7$ Торр с помощью зондирующих пылевых частиц. Использовались калиброванные частицы меланин формальдегида размером 1,1 мкм. По траекториям падающих частиц с учетом силы ионного увлечения определено значение электрического поля разряда в нескольких точках страты в зависимости тока разряда.

ПЫЛЕВАЯ ПЛАЗМА, ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД, СТРАТЫ.

ВВЕДЕНИЕ

Существует множество работ по исследованию плазменно-пылевых структур в стратифицированном тлеющем разряде [1, 2], где страта служит ловушкой для структуры. Для детального исследования сил взаимодействия между пылинками, фазового состояния пылевых структур, эффектов, вызванных наложением магнитного поля и др. необходимо знать распределение электрического потенциала страты.

В [3, 4] были сделаны попытки определить поле сил, действующих на пробные падающие частицы и исследовать электрическое поле в стратифицированном разряде. Эти работы носили предварительный характер. В них использовались частицы кварца и ниобата лития, в обоих случаях порошок был полидисперсным, а форма частиц отличной от сферической. Поэтому было невозможно точно знать заряд каждой зондирующей частицы, что делало результаты качественными.

В настоящей работе представлены первые результаты зондирования стратифицированного разряда калиброванными микросферами.

УСЛОВИЯ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальная установка в подробностях описана в [3]. Схема ее представлена на рис. 1.

Подсвеченные вертикальным лазерным ножом, частицы, падающие в диаметральной сечении трубки, снимались на видеокамеру, расположенную перпендикулярно этому сечению. Часть из них образовывала структуры, остальные, после заполнения ловушек, просыпались вниз, отклоняясь под действием сил разной природы. В эксперименте определялись скорости и ускорения этих частиц.

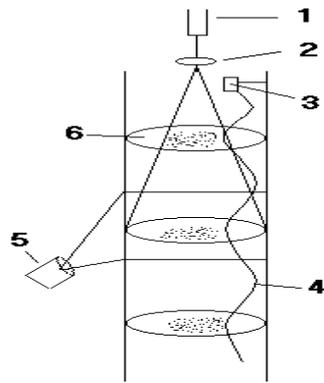


Рис. 1. Разрядная трубка:

1 – лазер, 2 – цилиндрическая призма, 3 – контейнер с порошком, 4 – траектория одной из падающих частиц, 5 – видеокамера, 6 – страта

В качестве зондирующих разряд частиц использовались частицы меланин формальдегида плотностью $1,5 \text{ г/см}^3$, сферической формы диаметром $1,1 \text{ мкм}$. Для определения дисперсности частиц измерялись их скорости вертикального падения в отсутствие тока разряда: разряд выключался, и частицы, образывавшие структуры в стратах, обрушались, пример приведен на рис. 2. Установившаяся скорость падающих частиц, а, следовательно, и их размер имеет разброс порядка 20%.

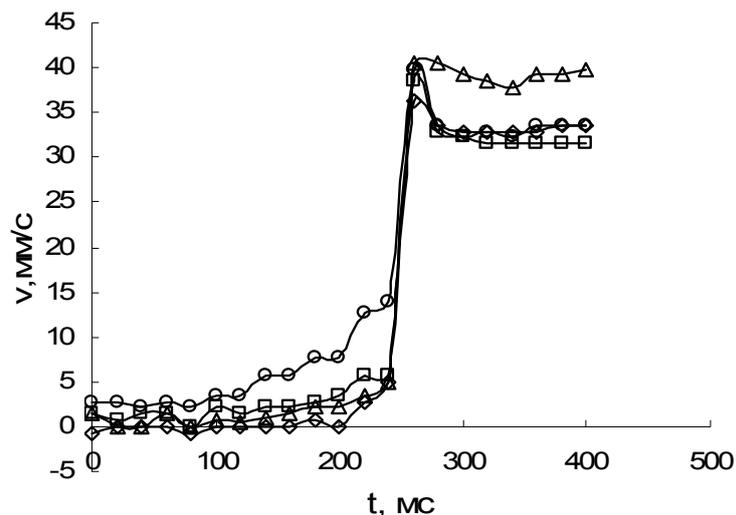


Рис. 2. Зависимость от времени скоростей частиц, падающих из ловушки при выключении разряда

Минимальная регистрируемая скорость частиц $0,1 \text{ мм/с}$, это связано с размером изображения частицы на матрице видеокамеры. Минимальное регистрируемое ускорение – 6 мм/с^2 .

Эксперименты проводились в разряде в неоне при давлении $0,3 - 0,7 \text{ Торр}$, токе $0,5 - 5 \text{ мА}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Полученные результаты представлены на рис. 3 – 5 для Ne при давлении $0,7 \text{ Торр}$. На графиках показаны координаты точек, в которых частицы имеют вертикальное ускорение (рис. 3, 4, 5). Из графиков видно, что области, в которых падающие частицы ускоряются в противоположные стороны, практически не перекрываются.

Для оценки силы сопротивления измерялись установившиеся скорости падения частиц при выключении разряда (см. рис. 2).

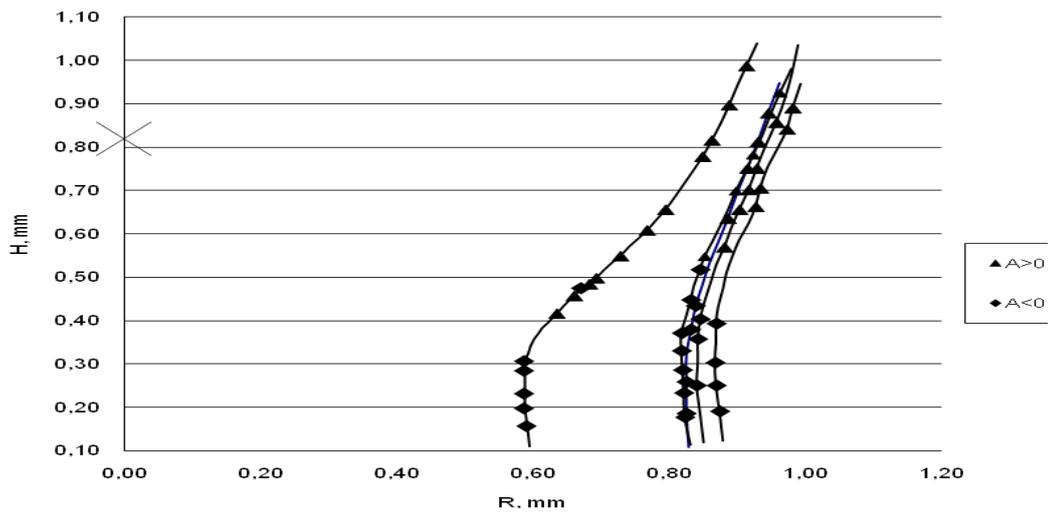


Рис. 3. Траектории падающих частиц при токе 1,4 мА. Схематически обозначены направления ускорений. Крестом обозначен центр светящейся части страты

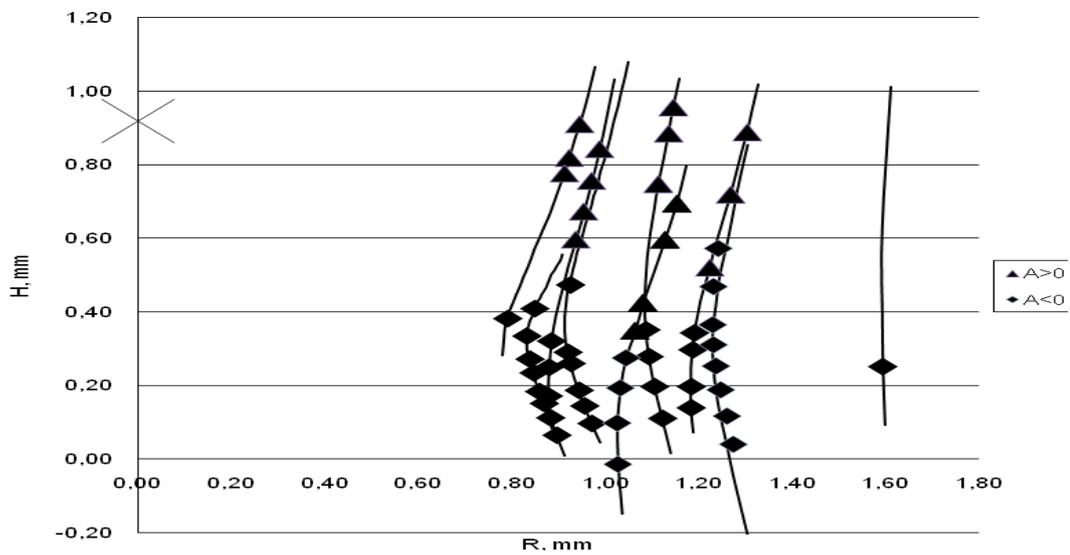


Рис. 4. Траектории падающих частиц при токе 2,4 мА. Схематически обозначены направления ускорений. Крестом обозначен центр светящейся части страты

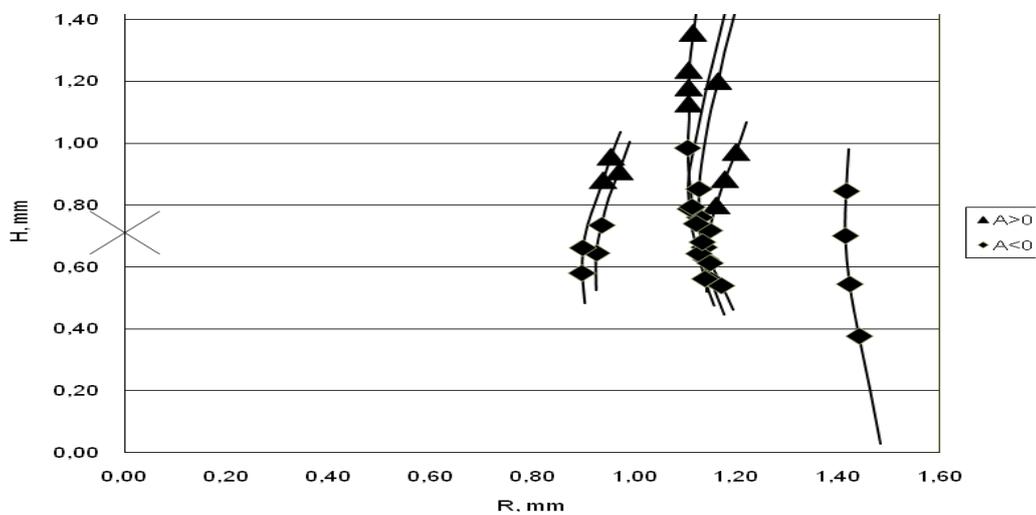


Рис. 5. Траектории падающих частиц при токе 3,4 мА. Схематически обозначены направления ускорений. Крестом обозначен центр светящейся части страты

При расчетах заряд зондирующей частицы предполагался неизменным при ее падении и равным $10^3 e$. Величина его была взята из работы [5], где заряд частиц измерялся в похожих условиях.

При оценке силы ионного увлечения принималось, что в областях, где пробные частицы испытывают ускорение вниз и вверх, концентрация ионов отличается в e раз.

Сила термофореза не учитывалась в предположении, что температура выровнена вдоль оси трубки.

С учетом сделанных предположений величина вертикальной составляющей электрического поля в середине области, где пробные частицы испытывают ускорение вверх, равна $5 \pm 0,2$ В/см, вниз – $8 \pm 0,2$ В/см.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены эксперименты по зондированию стратифицированного разряда калиброванными пылевыми частицами. Подтверждены результаты наблюдений, выполненных с полидисперсными частицами. Оценено электрическое поле в страте в области зондирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липаев А.М., Молотков В.И., Нефедов А.П. и др. //ЖЭТФ, 1997, Т.112, В.6(12), С. 2030 – 2044
2. Karasev V. Yu., Dzlieva E. S., Ivanov A. Yu., Eikhval'd A. I. Rotational motion of dusty structures in glow discharge in longitudinal magnetic field // Phys. Rev. E 2006. V.74. N.6. P.066403. 1–12
3. Карасев В.Ю., Эйхвальд А.И., Дзлиева Е.С. Применение зондирующих пылевых частиц для исследования стратифицированного разряда с плазменно-пылевыми структурами в магнитном поле // Опт. и Спектр. 2006. Т.101. N3. С. 521-527
4. Дзлиева Е.С., Карасев В.Ю., Эйхвальд А.И. Исследование распределения поля сил, действующих на пробные частицы в стратифицированном разряде // Оптические методы исследования потоков: Труды VIII Межд. науч.-техн. конф. М.: 2005. С. 166 –169.
5. Fortov V.E., Nefedov A.P., Molotkov V.I. et al. Dependence of the Dust Particle Charge on its Size in a Glow-Discharge Plasma // Phys. Rev. Lett.V.87.N.20. P. 205002.

Macar M.M., Pavlov S.I., Dzlieva E.S., Karasev V.Yu., Afanaseva N. S.

Saint-Petersburg State University, Russia, plasmadust@yandex.ru

DIAGNOSTICS OF PLASMA FLOWS IN THE STRATIFIED DISCHARGE BY MEANS OF THE DUST PARTICLES

The stratified area of the glow discharge in a neon in a range of pressure of 0,3-0,7 Torr by means of probing dust particles was investigated. The calibrated melanin formaldehyde particles 1,1 μm -sized were used. The electric field value in several points of striation current was defined.

DUSTY PLASMA, MAGNETIC FIELD, STRATA