

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ЕМКОСТНОМ РАЗРЯДЕ АРГОНА

А.Н. Джумабеков, Т.Т. Данияров, М.Н. Джумагулов, М.К. Досболаев,
К.М. Ибраимов, С.К. Коданова, С.А. Оразбаев,

^{*)} В.В. Ажаронок, ^{*)} И.И. Филатова, Т.С. Рамазанов

НИИЭТФ, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы

^{*)} *Институт физики НАН Беларуси, г. Минск*

В работе приведены результаты экспериментального исследования оптических свойств пылевой плазмы высокочастотного емкостного разряда в аргоне. На основе анализа пространственного распределения спектральных линий показано влияние пылевой компоненты на интенсивность свечения плазмы. Наличие пылевых частиц приводит к уменьшению интенсивности свечения в области заземленного электрода, что может быть следствием поглощения электронов пылевыми частицами. Результаты данной работы могут быть использованы для создания методики бесконтактной диагностики плазменно-пылевых структур.

Введение

Пылевая плазма – это ионизованный газ, содержащий частицы твердого вещества микронного размера. Изучение физических свойств пылевой плазмы вызывает большой интерес, так как она находит практическое приложение при создании композиционных наноматериалов, в микроэлектронике, в космических технологиях, при термоядерном синтезе [1-5].

Пылевые макрочастицы, внесенные в плазменную среду или появившиеся самостоятельно за счет эрозии электродов или стеночного материала плазменного реактора, заряжаются электрически. Зарядка пылевых частиц осуществляется за счет поглощения электронных и ионных потоков. Ввиду высокой подвижности электронов пылевые частицы, как правило, приобретают отрицательный заряд (порядка 10^4 элементарных зарядов). Наличие большого заряда у пылевых частиц, которое определяет сильное взаимодействие между ними, приводит в лабораторных условиях к формированию упорядоченных структур – кулоновских кристаллов [1-8].

Исследование оптических свойств пылевой плазмы является важной научной задачей, так как позволяет получить обширную информацию о параметрах пылевой плазмы (температура и концентрация частиц плазмы) и достичь углубленного понимания физических процессов в системе. В данной статье оптические свойства пылевой плазмы, созданной в емкостном высокочастотном разряде (ВЧЕР) аргона, исследуются на основе оптико-спектрометрического анализа свечения плазмы. Особенность данного метода заключается в том, что он позволяет получать информацию без внесения возмущений. Полученные спектры используются для выявления влияния пылевой компоненты на спектральные характеристики буферной плазмы.

Эксперимент

Для исследования оптических свойств пылевой плазмы была использована экспериментальная установка на основе емкостного высокочастотного разряда и пространственного спектрометра SDH-1 [9-10]. Принципиальная схема эксперимента представлена ниже на рис. 1 [9].

Плоскопараллельные электроды располагаются в высокочастотной (ВЧ) камере. Диаметр электродов составляет 19 см. Расстояние между электродами составляет 2 см. На

нижний электрод подается ВЧ напряжение с частотой 13,56 МГц. Верхний электрод остается заземленным. Энергетический вклад в ВЧЕР в условиях эксперимента составляет величину порядка $0,02 \text{ Вт}\cdot\text{см}^{-3}$. В качестве рабочей среды используется аргон, давление которого варьируется в пределах 0,05–2 Торр. В качестве пылинок используются полидисперсные частицы Al_2O_3 средним радиусом 4 мкм.

Исследования оптических свойств пылевой плазмы ВЧЕР проводились путем регистрации свечения разряда аргона в области 700-800 нм. Наблюдение плазмы велось через боковое окно ВЧ камеры. С помощью оптической системы, состоящей из нескольких линз, на входной щели спектрометра SDH-1 создавалось четкое изображение межэлектродного пространства ВЧЕР. После зажигания разряда происходил сброс пылевых частиц, которые формируют плазменно-пылевые структуры. Регистрация спектров осуществлялась с помощью цифровой видеокамеры, информация с которой сохранялась в памяти компьютера для последующей обработки.

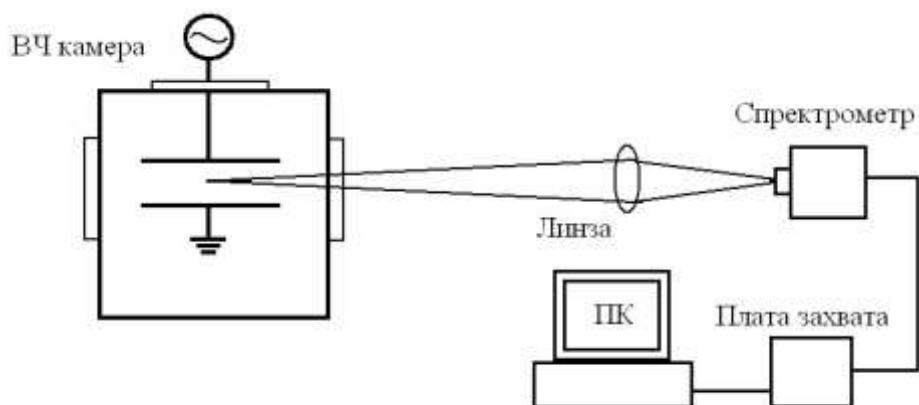


Рис.1. Принципиальная схема экспериментальной ВЧ установки для исследования оптических свойств плазменно-пылевых структур

В эксперименте реализуется α -фаза ВЧЕР [11-14]. Характерная особенность α -фазы ВЧЕР заключается в том, что в ней существуют четко выраженные области свечения плазмы, расположенные вблизи электродов. Эти области отличаются также по составу плазмы: в них наблюдаются слои положительного пространственного заряда (СППЗ) [13-14].

Результаты

Характерные пространственные спектры плазмы ВЧЕР в диапазоне от 700 до 800 нм для чистого аргона при давлениях рабочего газа $p=0,340$ Торр и мощности разряда $P=2,75$ Вт. показаны на рис.2.

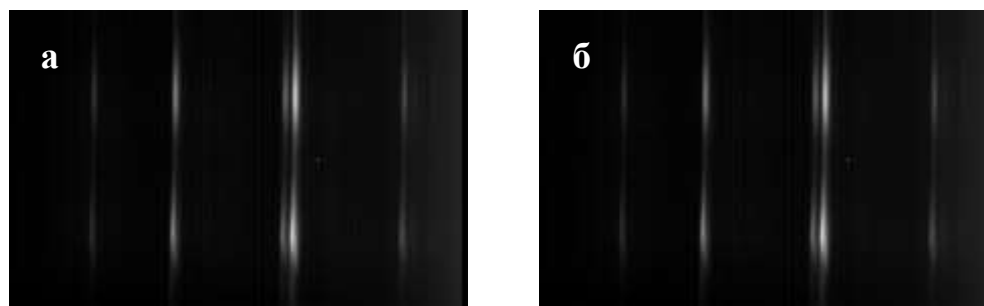


Рис.2. Изображения пространственных спектров плазмы ВЧ разряда при давлении рабочего газа $p=0,340$ Торр и мощности разряда $P=2,75$ Вт. а) спектр чистой (буферной) плазмы; б) спектр пылевой плазмы

На рис.2 верхняя часть пространственного спектра соответствует свечению в области верхнего электрода, а нижняя часть соответствует свечению в области нижнего электрода; длина волны возрастает от правой стороны рисунка к левой стороне.

Характерные зависимости пространственного распределения интенсивности света в области 750,4 нм, полученные для условий разряда, соответствующих рисункам 2а и 2б, показаны на рис.3. Промежуток между точками *A* и *B* на рис.3 вблизи нижнего электрода является областью левитации пылевых частиц. Точка *C* соответствует максимуму свечения СППЗ верхнего электрода.

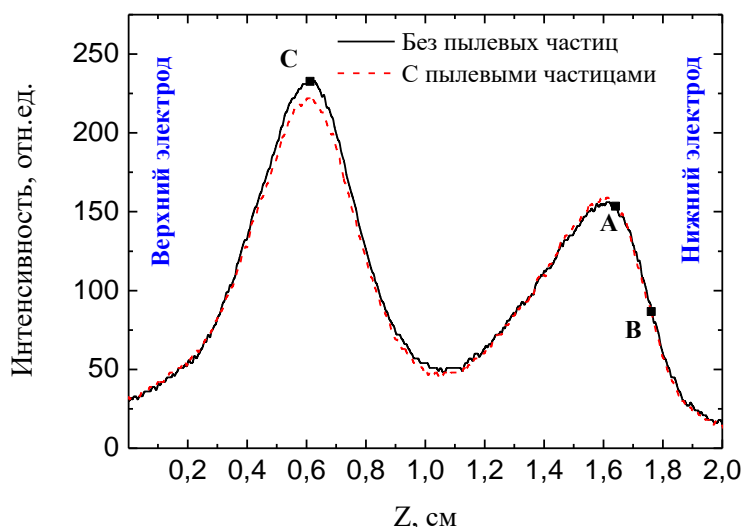


Рис. 3. Сравнение распределения интенсивности линии аргона $\lambda=750,4$ нм при давлении рабочего газа $p=0,340$ Торр и мощности разряда $P=2,75$ Вт. Сплошная кривая соответствует распределению интенсивности по сечению разрядного промежутка в отсутствии пылевых частиц; пунктирная – в присутствии пылевых частиц

Из рис.3 видно, что в обоих случаях при одних и тех же условиях разряда существуют два четких максимума интенсивности свечения аргона, которые соответствуют приэлектродным СППЗ. Отметим, что наблюдаемая асимметрия распределения интенсивности по сечению разрядного промежутка объясняется тем, что ширина СППЗ вблизи заземленного электрода несколько больше, чем у электрода, соединенного с ВЧ генератором [11-14].

Присутствие пылевых частиц в плазме не оказывает существенного влияния на спектральную характеристику плазмы в области их левитации (промежуток между *A* и *B* на рис.3). В то же время в распределениях интенсивности свечения, относящихся к СППЗ верхнего электрода, для случаев чистой плазмы и плазмы с пылевыми частицами заметны расхождения (область *C* на рис.3).

Одно из возможных объяснений этого эффекта заключается в том, что процесс ионизации и возбуждения атомов рабочего газа (аргон) пропорционален локальной концентрации электронов. При внесении пылевых частиц в плазму, поток электронов от нижнего электрода к верхнему электроду уменьшается за счет поглощения электронов пылевыми частицами, что приводит к уменьшению концентрации электронов в области

верхнего электрода. Более детальное исследование данного вопроса выходит за рамки данной работы и будет проведено в дальнейшем.

Обнаруженный эффект подтверждает наличие влияния пылевых частиц на интенсивность спектральных линии аргона в ВЧЕР. Одно из его возможных применений состоит в разработке методики бесконтактной диагностики пылевых частиц, что представляет значительный интерес с технологической точки зрения.

Заключение

В данной работе проведены эксперименты по исследованию оптических свойств пылевой плазмы в емкостном высокочастотном разряде аргона. На основе изучения пространственных спектров свечения плазмы ВЧЕР получены зависимости пространственного распределения интенсивности линии аргона 750,4 нм. Выявлено влияние пылевой компоненты на пространственное распределение интенсивности спектральных линий.

Результаты данной работы служат основой для дальнейшего изучения оптических свойств пылевой плазмы. Эти результаты могут быть использованы для разработки методики бесконтактной диагностики не только буферной плазмы, но и плазменно-пылевых структур.

Данная работа выполнена за счет средств гранта МОН РК МП-1/2009.

Литература

1. Thomas H., Morfill G., Demmel V., Goree J., Feuerbacher B., and Mohlmann D. // Phys. Rev. Lett. 73, 652. 1994.
2. Chu J.H., and Lin I. // Physica A 205, 183. 1994.
3. Цытович В.Н. // УФН. 1997. Т.197. С.57.
4. Фортон В.Е., Храпак А.Г., Храпак С.А., Молотков В.И., Петров О.Ф. // УФН. 2004. Т.174. №5. С.495-543.
5. Thoma M.H., Kretschmer M., Rothermel H., Thomas H.M., and Morfill G.E. // Am. J. Phys. 73, 420 (2005).
6. Quinn R.A., Cui C., Goree J., Piper J.B., Thomas H., and Morfill G.E. // Phys. Rev. E 53, R2049 (1996).
7. Kersten H., Thieme G., Fröhlich M., Bojic D., Tung D.H., Quaas M., Wulff H., and Hippler R. Pure Appl. Chem., Vol. 77, No. 2, pp. 415–428, 2005.
8. Hayashi Y. and Tachibana K. // Jpn. J. Appl. Phys., Part 1 33, 804 (1994).
9. Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N., Jumabekov A.N., and Dosbolayev M.K., // Phys. Plasmas 15, 053704. 2008.
10. Maiorov S.A., Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N., Jumabekov A.N., and Dosbolayev M.K., // Phys. Plasmas 15, 093701. 2008.
11. Орлов Л.Н., Ажаронок В.В. // Журн. прикл. спектр., 66, 715. 1999.
12. Ажаронок В.В., И.И. Филатова, Шиманович В.Д., Орлов Л.Н. // J. Appl. Spectroscopy 69, №5, 658. 2002.
13. Райзер Ю.П., Шнейдер М.Н., Яценко Н.А. Высокочастотный емкостной разряда, - Москва. 1995.
14. Райзер Ю.П. Основы современной физики газоразрядных процессов. - М.: Наукаб 1980.

АРГОННЫҢ ЖОҒАРЫ ЖИІЛІКТІ СИЫМДЫЛЫҚТЫҚ РАЗРЯДЫНДАҒЫ ТОЗАҢДЫ ПЛАЗМАНЫҢ ОПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

**А.Н. Жұмабеков, Т.Т. Данияров, М.Н. Жұмағұлов, М.К. Досболаев,
Қ. М. Ибраимов, С.Қ. Қоданова, С.А. Оразбаев, В.В. Ажаронок,
И.И. Филатова, Т.С. Рамазанов**

Жұмыста жоғары жиілікті сиымдылықтық разрядтағы тозаңды плазманың оптикалық қасиеттерін тәжірибелік зерттеу жұмыстарының нәтижелері келтірілген. Жоғары жиілікті тозаңды плазманың кеңістіктік спектрлерін талдау негізінде тозаңды құраушының плазманың спектрлік сызықтарының интенсивтігіне әсер ететіндігі көрсетілген. Берілген жұмыстың нәтижелері жоғары жиілікті сиымдылықтық разрядтағы тозаңды плазмаға оптикалық диагностика жүргізуге негіз бола алады.

INVESTIGATION OF OPTICAL PROPERTIES OF DUSTY PLASMA IN CAPACITIVE RADIO FREQUENCY DISCHARGE OF ARGON

**A.N. Jumabekov, T.T. Danyarov, M.N. Dzhumagulov, M.K. Dosbolayev, K. M. Ibraimov,
S.K. Kodanova, S.A. Orazbaev, V.V. Azharonok,
I.I. Filatova, T.S. Ramazanov**

In present paper the results of the experimental investigations of optical properties of dusty plasma in capacitive radio frequency discharge were presented. The influence of dust component on intensity of spectral lines was shown on the basis of analysis of spatial spectra of radiofrequency discharge plasma. Results of present work can be basis in optical diagnostics of plasma of capacitive radiofrequency discharge.