

Устойчивость сферической формы страт

© С.А. Новопашин, С.З. Сахапов

Институт теплофизики СО РАН,

630090 Новосибирск, Россия

e-mail: sanov@itp.nsc.ru, sakhapov@gmail.com

(Поступило в Редакцию 21 октября 2009 г. В окончательной редакции 30 декабря 2009 г.)

Экспериментально обнаружено, что сферическая форма страт в объемных тлеющих разрядах низкого давления является устойчивой. Измерения проведены для разряда с цилиндрическим анодом. Распределение плавающего потенциала свидетельствует о том, что страты представляют собой двойные электрические слои.

Стратификация положительного столба газового разряда постоянного тока в трубках известно и описанное явление [1]. В работе [2] экспериментально зарегистрировано явление сферической стратификации в объемном тлеющем газовом разряде. Экспериментальные и теоретические исследования в этом направлении продолжают-ся до настоящего времени [3–12].

В [2] сферическая стратификация наблюдалась вокруг малого анода сферической формы, расположенного в центральной области разрядной камеры, стенки которой служили катодом. В этих экспериментах размер разрядной камеры значительно превышал как диаметр анода, так и характерный размер области стратификации, что, естественно, приводило к сферической симметрии страт. В работе [12] исследовалось влияние геометрии катода на форму страт. Было показано, что при различных формах катода (цилиндрической, кольцеобразной) стратификация разряда оставалась сферической. При этом площадь анода была на несколько порядков меньше площади катодов. Цель настоящей работы состоит в экспериментальной проверке устойчивости сферической формы страт от геометрии анода. Для этой цели использован анод цилиндрической формы.

Эксперименты проведены в стальной цилиндрической вакуумной камере 60 см высотой и 50 см в диаметре. По оси камеры, симметрично по отношению к торцам камеры, натянута вольфрамовая проволока диаметром 0,3 мм и длиной 40 см. На этот электрод подавалось положительное напряжение, а катодом являлся корпус разрядной камеры. Эксперименты проведены в смеси азота и ацетона. Количество, размеры и форма страт зависят от давления и состава исходной смеси, тока разряда. Содержание ацетона в смеси выбрано минимально возможным для уменьшения загрязнения зонда и составляло 10%. При меньшем парциальном давлении паров ацетона страты нестабильны.

На рис. 1 приведена фотография свечения разряда при давлении 13 Па и содержании паров ацетона 10%. Страты имеют форму, близкую к сферической. Анодное свечение полностью охватывается внутренней стратой. Радиус внешней страты составляет около 7 см. При понижении давления сферическая форма страт становится более совершенной, а их размеры увеличиваются.

Увеличение давления приводит к нарушению сферической симметрии. Парадоксальность зарегистрированного явления состоит в том, что разряд имеет сферическую симметрию при цилиндрической симметрии как анода, так и разрядного промежутка в целом. Для получения количественной информации о параметрах плазмы в области стратификации проведено измерение плавающего потенциала. Для этого был использован перемещаемый одиночный электрический зонд. Напряжение измерялось статическим вольтметром. Параметры разряда выбраны так, чтобы страты были устойчивыми, а их размеры максимальными. Как показали измерения, распределение плавающего потенциала также обладает сферической симметрией. Распределение плавающего потенциала для случая трех страт приведено на рис. 2. Зонд перемещался параллельно аноду на расстоянии 1 см от него. Штриховыми линиями отмечены визуально наблюдаемые границы страт. Напряжение на разряде 429 В, ток разряда 24 мА, давление 13 Па, содержание паров ацетона — 10%.

Отметим следующие особенности полученной зависимости: во-первых, наблюдается немонотонное поведение плавающего потенциала; во-вторых, падение потенциала на одной страте составляет около 15 В, что близко к потенциалу ионизации азота; в-третьих, центральная

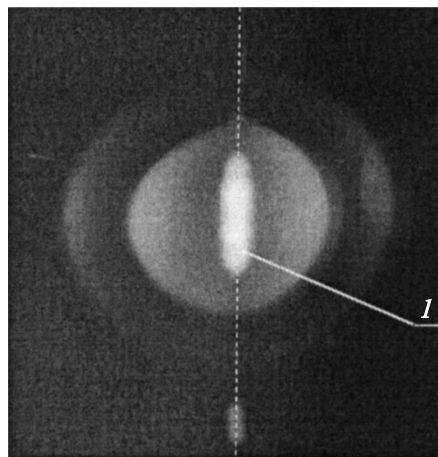


Рис. 1. Сферические страты вокруг цилиндрического анода (I — анодное свечение, пунктир — анод).

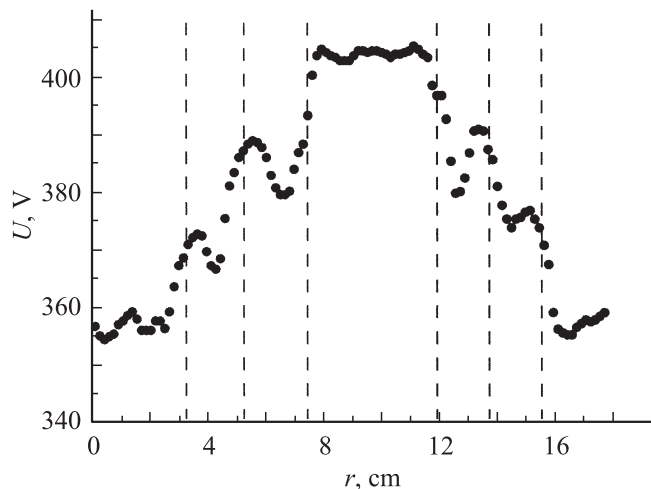


Рис. 2. Распределение плавающего потенциала в области стратификации разряда.

область, ограниченная внутренней стратой, имеет примерно постоянный потенциал.

Немонотонное поведение плавающего потенциала свидетельствует о разделении зарядов и фактически — формировании двойных электрических слоев. В стационарных условиях, в которых и проведены исследования, формирование объемного заряда связано с балансом процессов рождения и гибели заряженных частиц и потоками этих частиц за счет дрейфовых и диффузионных процессов. Как показали настоящие эксперименты, именно диффузионные процессы определяют устойчивость сферической формы страт в объемном разряде.

В заключение отметим, что для строгого описания рассматриваемых процессов необходимо решать самосогласованную задачу с учетом влияния объемного разряда на формируемое электрическое поле, которое, в свою очередь, определяет протекание процессов возбуждения и ионизации.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 07-03-01065, фонда CRDF № CGP RUP1-2847-NO-06 и грантов Федерального агентства по науке и инновациям, ГК № 02.513.12.3099 и ГК № 02.740.11.0109.

Список литературы

- [1] Райзер Ю.П. // Физика газового разряда. М.: Наука, 1992.
- [2] Нерушев О.А., Новопашин С.А., Радченко В.В. и др. // Письма ЖЭТФ. 1997. Т. 66. № 11. С. 679–682.
- [3] Conde L., Leon L. // IEEE Trans. Plasma Sci. 1999. Vol. 27(1). P. 80–81.
- [4] Sigenefer F., Sukhinin G.I., Winkler R. // Plasma Chem. and Plasma Proc. 2000. Vol. 20. N 1. P. 87–110.
- [5] Нерушев О.А., Новопашин С.А., Радченко В.В. и др. // Физика плазмы. 2000. Т. 26. № 1. С. 81–86.
- [6] Conde L., Ibanez L.F., Ferro-Fontan C. // Phys. Rev. E. 2001. Vol. 64. N 4. P. 6402–6404.

- [7] Hoshi Y., Yoshida H., Tsutsui Y. // J. Appl. Phys. 2002. Vol. 92. N 10. P. 5668–5672.
- [8] Aflori M., Amarandei G., Ivan L. et al. // IEEE Trans. Plasma Sci. 2005. Vol. 33. P. 542–543.
- [9] Hoshi Y., Yokota A., Yoshida H. et al. // J. Appl. Phys. 2006. Vol. 100. P. 016 101.
- [10] Новопашин С.А., Поляков А.А., Радченко В.В., Сахапов С.З. // Письма ЖТФ. 2007. Т. 33. Вып. 54. С. 26–30.
- [11] Dimitriu D.G., Aflori M., Ivan L.M. et al. // Plasma Phys. Control. Fusion. 2007. Vol. 49. P. 237–248.
- [12] Novopashin S.A., Radchenko V.V., Sakhapov S.Z. // IFFF Trans. Plasma Sci. 2008. Vol. 36 (4). P. 998–999.