

04

## Обратное поле в сферических стратах

© С.А. Новопашин, А.А. Поляков, В.В. Радченко, С.З. Сахапов

Институт теплофизики СО РАН, Новосибирск

E-mail: sanov@itp.nsc.ru

Поступило в Редакцию 31 августа 2006 г.

Проведены экспериментальные исследования распределения плавающего потенциала в сферическом стратифицированном разряде. Показано, что в области страт реализуется немонотонное распределение потенциала, которое свидетельствует о наличии обратного электрического поля.

PACS: 52.80.Tn

Явлению стратификации положительного столба газового разряда постоянного тока в различной геометрии посвящено большое число экспериментальных и теоретических работ [1–11]. Геометрические различия разрядов в трубках и в сферической геометрии приводят к отличиям плазменных характеристик, основные из которых отмечены в [12]. Для настоящей работы наиболее важным отличием является радиальная неоднородность сферического разряда. В этих условиях полный ток определяется не только дрейфом электронов в электрическом поле, но и их диффузией. Именно диффузионный ток играет важную роль в формировании страт, определяя непрерывность тока в стационарных условиях [4,12]. Природа возникновения обратного поля для стратифицированного разряда в трубках состоит в том, что в электрическом поле страты происходят ускорение электронов, интенсивные процессы ионизации и, как следствие, рост концентрации электронов. Возрастные концентрации электронов приводит к увеличению диффузионного тока по направлению их дрейфовой скорости вплоть до состояния, когда для сохранения непрерывности тока требуется возникновения обратного (тормозящего) электрического поля. Для тлеющего разряда в сферической геометрии диффузионный ток вносит существенный вклад даже в не стратифицированном разряде. Для любой полярности не стратифицированного разряда концентрация электронов возрастает с уменьшением радиуса, что приводит к тому, что диффузионное

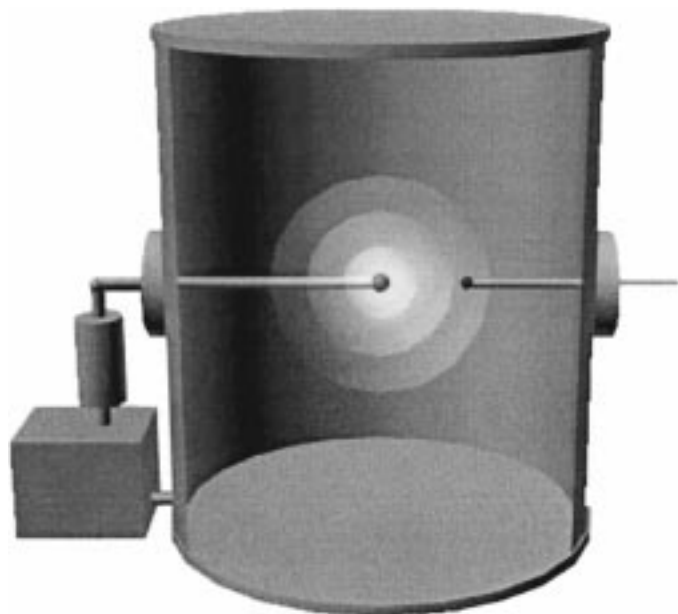


Рис. 1.

движение всегда направлено от центра к стенкам. Для положительного разряда (в центре анод) дрейфовое движение электронов направлено к центру, т.е. противоположно диффузионному движению. В то же время для стратифицированного разряда в трубках направление диффузионного тока совпадает с направлением дрейфа. Поэтому обратные поля могут не реализоваться в сферической геометрии. Настоящее исследование направлено на проверку возможности существования обратного поля в сферическом стратифицированном разряде.

Эксперименты проводились в стальной цилиндрической вакуумной камере высотой 60 см и диаметром 50 см с окнами для визуального и фотонаблюдения газового разряда (рис. 1). В центр камеры помещался сферический медный электрод диаметром 0.5 см, на который подавалось положительное напряжение. Ввод центрального электрода в камеру осуществлялся через стенки камеры внутри кварцевой трубки, которая служила изолятором. Заземленные стенки камеры выполняли функ-

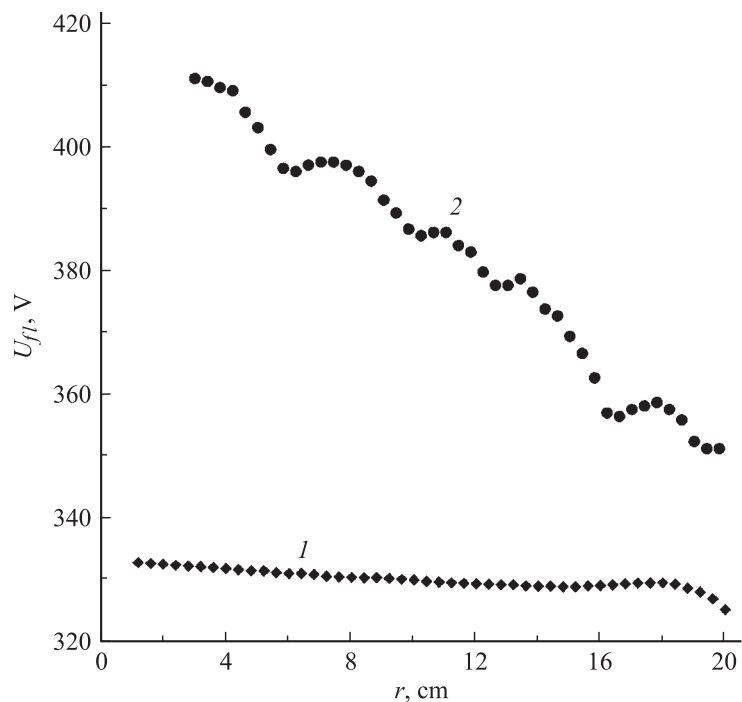


Рис. 2.

цию катода. Ток разряда ограничивался балластным сопротивлением  $R = 48 \text{ К}\Omega$ . Перед проведением зондовых измерений камера откачивалась до давления  $10^{-3} \text{ Торр}$ , после чего в нее напускался исследуемый газ. Эксперименты проводились при давлении рабочего газа  $10^{-1} \text{ Торр}$ . Измерение радиального распределения плавающего потенциала плазмы разряда проводилось с помощью подвижного одиночного сферического электрического зонда диаметром  $0.35 \text{ см}$ , который перемещался вдоль радиуса камеры на высоте центрального электрода.

Поведение плавающего потенциала в нестратифицированном сферически симметричном газовом разряде в среде азота показано на рис. 2 (кривая 1). Видно, что плавающий потенциал монотонно падает от анода к стенкам камеры. Принципиально другое поведение плавающего потенциала наблюдается в случае сферически стратифицированного

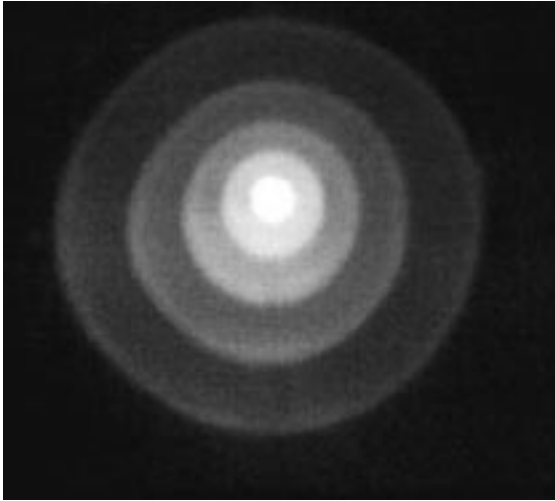


Рис. 3.

газового разряда в (50:50 смесь азота и ацетона) рис. 2 (кривая 2). В этом случае радиальное распределение плавающего потенциала имеет немонотонный характер, что проявляется в наличии резко выраженных локальных максимумов потенциала. Как видно из сопоставления с фотографией разряда (рис. 3), области максимума потенциала соответствуют положению страт. Для оценки величины эффекта предположим, что отличие плавающего потенциала от реального потенциала плазмы постоянно в рассматриваемой области. Отметим, что величина плавающего потенциала меньше потенциала плазмы на величину, пропорциональную температуре электронов [4]. Дифференцирование потенциала дает оценочную величину электрических полей, реализующихся в стратифицированном разряде. Радиальные распределения электрических полей для стратифицированного и нестратифицированного разрядов, полученные из дифференцирования плавающего потенциала, приведены на рис. 4. Эти графики позволяют сделать следующие выводы:

1. Величина электрического поля для нестратифицированного разряда имеет величину порядка  $0.5 \text{ V/cm}$ , что существенно ниже величин, которые достигаются в стратифицированном разряде  $5 \text{ V/cm}$ .

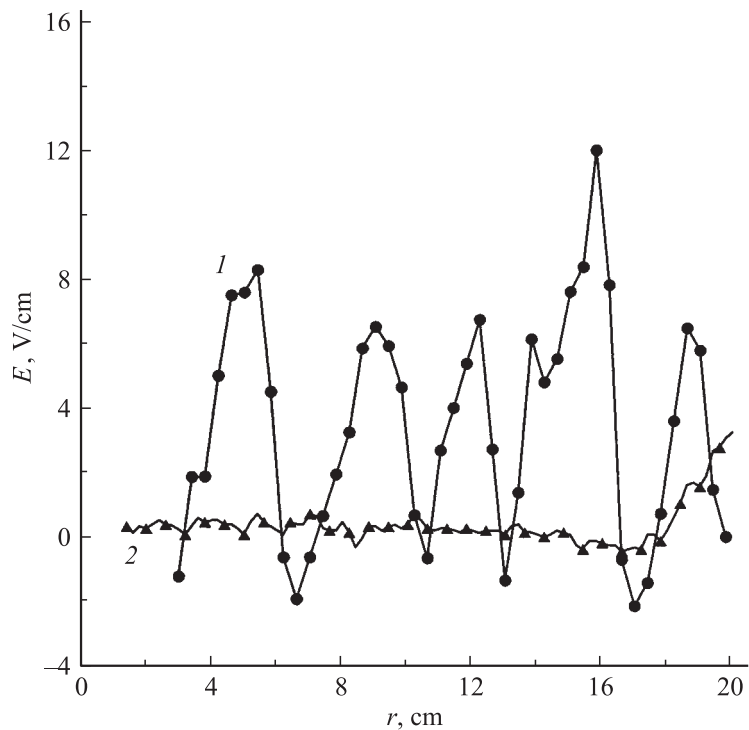


Рис. 4.

2. В областях страт может реализоваться обратное направление электрического поля, которое может достигать значений  $2 \text{ V/cm}$ .

3. Сохранение тока в области страт оказывается возможным вследствие вклада диффузии электронов и тока ионов.

Приведенные выше выводы и оценки основаны на предположении о том, что плавающий потенциал отличается на постоянную величину от реального потенциала плазмы. Реальное распределение параметров плазмы может внести существенные количественные коррективы. Однако, как видно из распределения потенциала в стратифицированном разряде, амплитуда изменения потенциала может достигать  $20 \text{ V}$ . Полагая, что температура электронов имеет величину несколько электрон-вольт, явление возникновения обратного поля в стратах сферического

тлеющего разряда можно считать достоверным явлением. Для более строгого анализа распределения параметров плазмы необходимо измерение распределения концентраций и температуры электронов. В заключение отметим, что вследствие немонотонного поведения потенциала и электрического поля распределение объемного заряда является также знакопеременным; это дополнительное свидетельство того, что сферическая стратификация представляет собой набор вложенных друг в друга двойных слоев.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ № 05-08-01476 и Госконтрактов № 02.445.11.7293 и № 02.438.11.7027.

## Список литературы

- [1] Пекарек Л. // УФН. 1968. Т. 94. С. 463.
- [2] Недоспасов А.В. // УФН. 1968. Т. 94. С. 439.
- [3] Ланда П.С., Мискинова Н.А., Пономарев Ю.В. // УФН. 1980. Т. 132. С. 601.
- [4] Райзер Ю.П. // Физика газового разряда. М.: Наука, 1987. 592 с.
- [5] Нерушев О.А., Новопашин С.А., Радченко В.В. и др. // Письма ЖЭТФ. 1997. Т. 66. № 11. С. 679.
- [6] Nerushev O.A., Novopashin S.A., Sukhinin G.I. et al. // Phys. Rev. E. 1998. V. 58. N 4. P. 4897–4902.
- [7] Conde L., Leon L. // IEEE T Plasma SCI. 1999. V. 27 (1). P. 80–81.
- [8] Conde L., Ibanez L.F., Ferro-Fontan C. // Phys. Rev. E. 2001. V. 64. N 4. P. 6402–6404.
- [9] Sigeneger F., Sukhinin G.I., Winkler R. // Plasma Chem. and Plasma Proc. 2000. V. 20. N 1. P. 87–110.
- [10] Hoshi Y., Yoshida H., Tsutsui Y. // J. Appl. Phys. 2002. V. 92. N 10. P. 5668–5672.
- [11] Нерушев О.А., Новопашин С.А., Радченко В.В. и др. // Физика плазмы. 2000. Т. 26. № 1. С. 81.
- [12] Нерушев О.А., Новопашин С.А., Радченко В.В., Саханов С.З. // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. № 3. С. 47–53.